

# ARCHIVO

DE LA

# ESCUELA DE INGENIEROS

CORRESPONDIENTE AL No. *57*

XXXIII AÑO ESCOLAR



## CONTIENE:

*Cursos seguidos en la Escuela por el  
alumno Don Carlos E. Corpancho R.  
para optar el título de Ing. de C. Civiles.*

---

ESCUELA ESPECIAL DE INGENIEROS

PROYECTO DE PUENTE DE PIEDRA

LIMA, julio 19 de 1909

Carlos E Corpancho R.



A handwritten signature in dark ink, appearing to read "C. E. Corpancho R.", written in a cursive style.

PROYECTO DE PUENTE DE ALBANILERIA  
No. 15

Se pide formar un proyecto de puente de piedra, para una carretera principal, a la entrada de una ciudad de 50,000 habitantes.

La velocidad actual de las aguas es la de 2 mts. por segundo, en época de avenidas ordinarias, cuyo nivel se encuentra a 1, 20 m. sobre el nivel de aguas mas bajas (estáje) y a 2 m 90 alcanzan las avenidas extraordinarias.

La distancia entre cada dos perfiles consecutivos, desde el No. 3 hasta el No. 9 (Lamina I) es constante e igual a 1 m 70.

Las caras del puente se presentaran con ladrillos.

Los angulos de los machones y el faldon de la boveda se construiran con sillares. El nivel de la calzada puede elevarse, en caso necesario hasta 0 m 60.

Se debe presentar:

10.--- El plano y la elevacion general del puente y sus accesos a la escala de 0,01 por metro

20.--La elevacion general del estribo izquierdo, con el semi-arco adyacente sobre el que se indicara la division de las dovelas.

30. El corte longitudinal segun el eje del puente, del estribo de recho en el que se indicara el corte longitudinal de los cimientos.

40. El corte transversal segun el eje de la boveda.

50. El depurado de la curva de intrados.

60° El trazado de la curva de presiones segun el metodo de Mery y la medida geometrica de las presiones segun el metodo de Lamé y Clapeyron.

70° La elevacion general y un corte longitudinal de la cimbra de un arco.

Los dibujos 2,3,4,5,6 y 7 seran a la escala de (1/20) por metro.

80° a) La presion en la clave de la boveda; b) El momento de resistencia de los estribos; c) La altura del remanso en tiempo de las avenidas extraordinarias.

Se proyecta el puente para resistir carros electricos de 16 Tons. de peso sobre dos ejes distantes 2,10 mts.; el ancho del carro es de 2,20 mts..

Se tomara como limite las presiones siguientes:

10°	Concreto (hormigon)-----	5	kgs. por ctm cuadrado
20°	Albañileria de estribos-----	8	" " " "
30°	Albañileria de la boveda-----	10	" " " "
40°	Albañileria de ladrillos-----	6	" " " "

Esta resistencia suponiendo las presiones uniformemente repartidas.

El peso del metro cubico de albañileria es como sigue:

Sillares-----	2500	Kls.	Concreto-----	2000	Kls.
Sillarejos----	2200	"	Calzada-----	1800	"
Ladrillos-----	1800	"			

## Consideraciones generales

Al estudiar un proyecto de puente debe principiarse por examinar detenidamente las diversas circunstancias que su construcción va a ocasionar desde que disminuye un espacio reservado al paso de las aguas.

Las principales cuestiones que deben preocupar la atención del ingeniero son pues las siguientes:

- 1o. La situación o emplazamiento que conviene dar al puente.
- 2o. La desembocadura necesaria para dar pasaje a las aguas en las mayores crecientes.
- 3o. La altura libre que es conveniente dar a los arcos o tramos encima del nivel de las aguas en los diversos estados del río.
- 4o. La abertura o distancia entre los apoyos y también el número de arcos o tramos.
- 5o. El ancho más conveniente para el puente, teniendo en cuenta su destino y la circulación, tanto presente como futura que tiene que recibir.
- 6o. El género de cimentación que conviene emplear y
- 7o. Sistema de construcción y dimensiones de las partes principales.

### EMPLAZAMIENTO

Hay ocasiones en que el emplazamiento está fijado de antemano por consideraciones independientes de las condiciones técnicas de la obra, y en este caso no hay más que aceptar como bueno el emplazamiento obligado, mejorándolo en cuanto sea posible, si no satis-

face cumplidamente, pero ajustando siempre a él la obra, como sucede, por ejemplo, en el presente proyecto en el cual debe ubicarse la obra a la entrada de una ciudad populosa cuyas necesidades de todo orden no serian satisfechas si se construyera la obra un poco aguas arriba o aguas abajo del sitio señalado como entrada a la mencionada poblacion.

Cuando puede variarse el emplazamiento, dentro de ciertos límites, debemos tener presente que el elegido ha de satisfacer ciertas condiciones que dependen unas de la naturaleza del suelo y sub-suelo para obtener una cimentacion solida, facil y economica y otras de la direccion relativa de la corriente y de la via que la cruza, procurando que el pasaje se haga normalmente, pues la construccion de puentes oblicuos lleva multitud de inconvenientes tanto economicos como de ejecucion; otra de las condiciones es la firmeza que debe tener el cauce, pues si este cambiase de zona, haria inutil y algunas veces, hasta perjudicial la obra, por lo que deben escojerse los puntos en que el rio vaya encajonado o encerrado en su lecho de una manera perfectamente determinada, sin que haya temor a alteraciones, ya por la naturaleza y consistencia del terreno, ya por sus condiciones topograficas y cuanto esto no suceda habra que establecer las obras necesarias para su encauzamiento; por ultimo, debe procurarse que la obra se coloque en un punto en que esten ya reunidas las aguas de todos los afluentes proximos; no conviene, sin embargo, situar la obra en el mismo punto de confluencia, porque en dicho punto hay una notable alteracion del regimen

de ambas corrientes que produce socavaciones y depositos perjudiciales. Tampoco debe ubicarse la obra en un estrechamiento brusco, porque hay choques, elevacion brusca de la corriente, aumento de velocidad en la obra y luego a la salida formacion de un cono de deyeccion que reúne todos los materiales arrastrados y que elevando el fondo va enterrando poco a poco la obra disminuyendo el desagüe. Este ultimo, hemos tenido oportunidad de verlo desgraciadamente comprobado en la ubicacion que se le dió al puente metalico sobre el rio de Pisco establecido entre un contrafuerte saliente sobre el rio del Cerro de Tiza (Caucato) y la continuacion en la ribera opuesta del mismo contrafuerte (El Molino). El resultado fue que en la avenida de 1908 se produjeron enormes corrientes que socavando el pilar central hicieron tomar al tablero una inclinacion peligrosa, teniendo que suspenderse el trafico hasta que el Supremo Gobierno atendió a su reparacion otorgando a la empresa un credito para ello.

#### DESEMBOCADURA

Se llama asi a la seccion transversal que ofrece espacio libre al paso de la corriente en las mayores avenidas conocidas.

No es menos importante que la cuestion anterior la determinacion de este desagüe o paso que la obra que se proyecta debe dejar a la corriente. Si la desembocadura es muy pequeña, la velocidad del agua a su pasaje entre los estribos o entre los pilares

Puede ser suficientemente grande para producir socavaciones que comprometen la solidez de del puente; al mismo tiempo el remanso que se produce aguas arriba puede causar la inundacion de las propiedades ribereñas. Si la desembocadura es muy grande puede suceder que se produzcan, durante las aguas bajas, depositos que en la epoca de la crecientes ofrecen todos los inconvenientes de una desembocadura pequeña. No obstante conviene mas aumentar la superficie de desague, entre limites razonables, que incurrir en una disminucion todavia mas peligrosa.

El metodo seguido en la determinacion de la desembocadura varia con los datos del proyecto. Asi puede determinarse por comparacion con otros puentes construidos en las proximidades del que se proyecta, aunque este metodo rara vez se usa; bien por el conocimiento de la superficie de las cuencas a las cuales el puente va a servir; la constitucion geologica del suelo, las pendientes de los flancos y el modo como se realizan los fenomenos meteorologicos en la region.

Segun los datos del problema que motiva el presente trabajo es conocida la velocidad actual de las aguas que es de 2 mts por segundo; se nos da ademas la altura del nivel de avenidas ordinarias sobre el estiaje, que es de 1 m 2<sup>o</sup> y la altura del nivel de a venidas extraordinarias que es de 2 m. 9<sup>o</sup> ctm Como cocemos ademas la distancia que hay entre los perfiles consecutivos del 3 al 9 la cual es constante e igual a 1 m 7<sup>o</sup> ctms podemos pues

Calcular el area comprendida entre el lecho del rio y el nivel de estiaje dibujando sobre papel cuadrillado y a la escala de 1 cm<sup>o</sup> por metro el perfil de ensayo de la lina I descomponiendo dicha seccion en dos triangulos 1 3 y un rectangulo 2 lo que nos ha dado:

$$\begin{array}{l} \text{T}riangulo\ 1\ \text{-----}\ \frac{4 \cdot 1,80}{2} = 3,60 \quad \text{mts. cuad.} \\ \text{Rectangulo}\ 2\ \text{-----}\ 3 \cdot 1,80 = 5,40 \quad \text{" " } \\ \text{T}riangulo\ 3\ \text{-----}\ \frac{3,30 \cdot 1,80}{2} = 2,97 \quad \text{" " } \\ \hline \text{T}otal\ \text{-----}\ 11,97 \quad \text{met cuad} \end{array}$$

Ahora sabiendo segun los datos del proyecto que las aguas en epoca de avenidas ordinarias ocupan un nivel que esta a 1 m 20 en cima del estiaje podemos tambien calcular el area respectiva midiendo el area del trapecio 4 o sea:

$$\text{Trapezio}\ 4\ \text{-----}\ \frac{13,80 + 10,20}{2} \times 1,20 = 14,40 \quad \text{mets cuads } E_n$$

tonces el area total en tiempo de avenidas ordinarias sera la suma de estas dos areas o sea 26,37 mets cuads.

Conocida esta area pasemos a determinar el perimetro mojado en avenidas ordinarias cuyo valor encontramos del modo siguiente:

$$AC = \sqrt{5,50^2 + 3^2} = 6,26$$

$$CD = 3,00$$

$$DE = \sqrt{5,20^2 + 3^2} = 6,03$$

$$\chi = 15,29$$

En contraremos ahora el radio medio R por la formula  $R = \frac{A}{\chi}$  o sea sustituyendo los valores anteriores:  $R = \frac{26,37}{15,29} = 1,72$

En seguida determinemos la pendiente por la formula de Bazin  
 $\frac{RI}{V^2} = 0,00028 \left( 1 + \frac{1,25}{R} \right)$  en la cual  $V$  es la velocidad media que s  
 bemos es el 80 % de la velocidad de 2 mts. que se nos da como dato  
 del proyecto; así pues tenemos que :  $V = 0,80 \times 2 = 1,60$  sustituy  
 yendo pues los valores de  $R$  y  $V$  en la mencionada formula de Baz  
 zin tendremos:

$$\frac{1,72 I}{(1,60)^2} = 0,00028 \left( \frac{2,97}{1,72} \right) = \frac{0,0008316}{1,72} \quad \text{o tambien:}$$

$$\frac{1,72 I}{(1,60)^2} = 0,000483 \quad \text{de donde}$$

$$1,72I = 0,00123648 \quad \text{y despejando } I \text{ se tiene:}$$

$$I = \frac{0,00123648}{1,72} = 0,00072 \quad \text{o lo que es lo}$$

mismo mas o menos  $0,0010$  o  $I$  igual 1 metro por kilometro

Determinemos ahora la seccion transversal del rio en aveni-  
 das extraordinarias para lo cual dbemos agregar al area anterior  
 de 26,37 met cuad la superficie del trapecio 5 o lo que es igual  
 Trapecio 5-----  $\frac{(17 + 13,70) \times 1,70}{2} = 26,095$  met cd

Asi pues la seccion total entre avenidas extraordinarias y  
 el lecho del rio sera:  $\Omega = 52,465$  mets cds. y en cuanto al pe-  
 rimetro mojado no habra mas que agregar al valor 15,29 los valo-  
 res siguientes:

$$A'A = \sqrt{1,70^2 + 2^2} = 2,62$$

$$E'E = \sqrt{2,10^2 + 1,70^2} = 2,70$$

5,32 es decir que el perimetro mojado es:

$$K = 20,61 \quad \text{El radio medio } R = \frac{52,465}{20,61} = 2,54.$$

De la formula de Bazin que ya conocemos despejamos el valor de la velocidad lo que nos da :

$$V = \frac{RI}{0,00028 \left(1 + \frac{1,25}{R}\right)}$$

y sustituyendo los va-

lores encontrados tendremos:

$$V^2 = \frac{2,54 \cdot 0,001}{0,00028 \left(1 + \frac{1,25}{R}\right)} = \frac{2,54 \cdot 2,54 \cdot 0,001}{0,00028 \cdot 3,79} \text{ de donde}$$

$$V^2 = 6,08 \text{ o tambien } V = 2,4657$$

Ya podemos encontrar el valor de la desembocadura mediante la formula  $S = \frac{\Omega U}{mV}$  en la que S designa la superficie de desague buscada;  $\Omega$  el area comprendida entre avenidas extraordinarias y el lecho del rio; U la velocidad que tendra la corriente bajo el puente; m un coeficiente de estrechamiento y V la velocidad 2,46 ctms.

Antes de aplicar la formula indicaremos las consideraciones que median para su establecimiento. En efecto, en el supuesto de que no hubiera estrechamiento de la seccion una vez construido el puente el producto SV nos daria el gasto por debajo del puente; pero, por consecuencia de la contraccion de la corriente es preciso afectar este gasto de un coeficiente de contraccion que llamamos m. Asi pues el mencionado gasto estara representado por  $mSV$  y como los gastos totales aguas arriba y aguas abajo del puente deben ser iguales al que tiene lugar debajo del puente la ecuacion  $\Omega U = mSV$  nos dara despejando S la formula anteriormente indicada.

El valor de  $V$  no debe sobrepasar el limite por el cual el fondo del lecho seria atacado. No obstante es necesario advertir que en realidad no es esta velocidad media acelerada la que se considera con respecto a la posibilidad de la socavacion del lecho sino la velocidad en el fondo que representamos por  $v$  y cuya relacion con la velocidad  $V$  es  $\approx 0,75V$  de donde  $V = 1,33v$ ; dando pues a  $v$  un valor inferior a aquel en que el lecho es socavado o sea 2 mts que es un valor inferior al asignado en la tabla correspondiente para lechos de rocas duras hasta donde llevaremos los cimientos, tendremos :  $V = 1,33 \cdot 2 = 2,66$

Sustituyendo los valores indicados en la formula  $\frac{S}{mV} = \frac{U}{mV}$  tendremos:

$$S = \frac{52,47 \cdot 2,47}{0,90 \cdot 2,66} = 54,13 \text{ mets cds.}$$

**REMANSO...** Por causa de los estribos que penetran mas o menos en las riberas inundadas por las aguas en tiempo de avenidas extraordinarias se contraen estas produciendo debajo del puente un aumento de velocidad y aguas arriba una sobre-elevacion del nivel de dichas aguas las cuales como consecuencia de este fenomeno pueden desbordarse ocasionando perjuicios a las propiedades que estan situadas en ambos margenes del rio y a inmediaciones de la obra proyectada

Para la determinacion del remanso tenemos dos formulas que permiten calcular con suficiente exactitud la altura a la cual se elevaran las aguas. La primera es la establecida por el metodo de

Bresse cuya expresion analitica es:

$$z = \frac{Q^2}{2g} \left[ \frac{1}{m^2 l^2 h^2} - \frac{1}{L^2 (h+z)^2} \right]$$

en la que  $L$  es el ancho medio del rio antes de la construccion del puente,  $h$  la altura de las aguas en tiempo de avenidas extraordinarias;  $Q$  el gasto por segundo;  $l$  el ancho de la desembocadura una vez construido el puente y  $m$  un coeficiente de contraccion del agua bajo los arcos siendo  $z$  la altura del remanso que se trata de determinar.

Damos a continuacion el valor de estas cantidades en nuestro proyecto:

$$l = 15 \text{ mts.}$$

$$m = 0,80$$

$$h = 4,70 \text{ mts.}$$

$$L = 17 \text{ mts.}$$

$$Q = 17 \cdot 4,70 \cdot 2 = 159,80 \text{ mts cub}$$

Ademas como la altura del remanso es pequena se puede dar a  $z$  un valor y calcular en estas condiciones el segundo miembro de la formula; nosotros le hemos dado el valor  $z = 0,20$  y al coeficiente de contraccion le hemos dado el valor  $0,80$  por tratarse de un arco pequeño.

Sustituyendo pues los valores anteriores y efectuando las operaciones indicadas hemos encontrado:

$$z = 1301 \left( \frac{1}{3180,96} - \frac{1}{6918,89} \right) \text{ o tambien;}$$

$z = (0,40 - 0,18) = 0,22$  poco diferente del valor  $0,2$  asignado en el primer miembro.

#### ALTURA LIBRE ENCIMA DEL NIVEL DE LAS AGUAS

Al proyectar un puente y una vez conocida la superficie de desagüe es de vital importancia determinar la altura que debe haber entre el nivel de las aguas, en las mayores avenidas y la curva de intrados de los arcos, porque esta altura esta intimamente ligada con la desembocadura y depende ademas de las condiciones de navegabilidad que presenta el rio. Es indudable pues que si el rio es navegable, la altura de que tratamos, debe asegurar el libre paso de las embarcaciones que en él trafican teniendo desde luego en cuenta su calado.

Tratandose de un rio de escasa importancia como el que debemos atravesar con nuestro puente, debe bastarnos para fijar dicha altura la consideracion de que por debajo del unico arco que lo constituye solo van a pasar los troncos, ramas de arboles y demas cuerpos extraños que siempre arrastran las avenidas.

En nuestro proyecto habiendose fijado en  $1,60$  mt. el maximum a que puede elevarse la calzada del camino que suponemos nosotros cruza el rio debemos tener presente este limite pues una de las condiciones que determina la altura de los arcos es la señalada por la que tienen los accesos del puente y en nuestro caso, como llevamos dicha altura es de  $1,60$  lo que nos ha obligado a dar al arco una altura de  $0,95$  ctms. (Perfil de ensayo) no obs-

ante de que el limite minimo es de 1 metro pero hemos procedido asi teniendo en cuenta la pendiente de la rasante la cual no debemos exajerar mas alla del 4% pues hemos combado nuestro puente dandole al perfil longitudinal al partir del vertice del arco una pendiente del 3% <sup>aproximadamente</sup> asegurando asi el facil desague de la calzada y teniendo en cuenta la comodidad del trafico.

ABERTURA O DISTANCIA ENTRE LOS APOYOS...NUMERO DE ARCOS  
SU FORMA

Depende la distribucion de claros y apoyos de la naturaleza del terreno de cimentacion y del regimen del rio; atendiendo a esta circunstancia, solamente, el numero de apoyos debe ser lo menor posible, pues cuanto mas apoyos haya, mas trabas se ponen a la marcha de la corriente, y, sobre todo, si el terreno es male como el de la mayor parte del lecho del rio que estudiamos que esta constituido por cascajo grueso socavable, cascajo menudo y arcilla, la construccion de pilares intermedios dejando a un lado la consideracion de la desembocadura nos ocasionaria una cimentacion cara y dificil.

Por otra parte teniendo presente que pasando de ciertos limites el costo de construccion aumenta rapidamente, ya porque las presiones propias de la obra y los empujes de los arcos crecen considerablemente y se necesita aumentar los espesores de las dovelas y de los macizos de apoyo, asi como tambien aumenta la presion sobre el terreno, y, ademas que creciendo las luces, los arcos se elevan mucho, y pudiera haber necesidad de elevar la rasante, lo

que tambien aumenta la carga y el costo de la obra; convendra pues entre las soluciones que parezcan aceptables, un calculo comparativo de los costos decidiendose por el que resulte menor.

Comparando pues el costo y las dificultades que debemos vencer entre un puente con dos pilares intermedios y otro de un solo arco es indiscutible la ventaja que obtenemos con esta ultima solucion pues aparte de la facil desembocadura la luz de 15 metros no es de ningun modo exajerada correspondiendo segun la clasificacion de nuestro curso a una dimension de mediana longitud.

Restanos ahora discutir la forma mas conveniente que debemos dar a dicho arco y si lo debemos construir con los arranques sumergidos o elevandolos una cierta longitud.

Teniendo presente la condicion impuesta de que el nivel de la calzada del camino solo puede elevarse  $0,6^{\circ}$  debemos desechar la forma de medio-punto pues aunque esta forma es la que mejor reparte las presiones y la mas facil de construir, no olvidaremos que las formas peraltadas aumentan mucho la altura de la rasante, mientras que por el contrario, las rebajadas la disminuyen;; pero debemos tener presente que en estas la relacion de la flecha a la luz o "rebaje de la boveda" no puede descender mucho sin grave riesgo para la estabilidad de la obra, por esto hemos elegido un arco escarzano nos permite conservar la rasante dentro de un limite razonable ademas de producirnos economia en la mamposteria de

la boveda.

Respecto al segundo punto diremos que basta la simple inspeccion del perfil de ensayo para convencerse de que la linea de puntos trazada con un rebaje de  $\frac{1}{15}$  no nos da una desembocadura suficiente; es por esto que hemos elevado los arranques 0,60 por encima del nivel de avenidas ordinarias y adoptando el rebaje de  $\frac{1}{8}$  de la luz o sea una flecha de 1,88 met. En cuanto al radio de dicho arco lo hemos determinado sirviendonos de la formula respectiva:  $R = \frac{l^2 + f^2}{2f}$  en la que l es la semi-luz y f la flecha; sustituyendo los valores respectivos hemos encontrado para el valor de R, 15,90 mts. con el cual y a la escala de 0m01 por metro hemos trazado el arco de linea llena que nos da desembocadura pues la suma de las areas de los triangulos t y t' es menor que el area de los dos triangulos T y T'.

CURVA DE PRESIONES SEGUN EL METODO DE MERY.-- Para verificar la esabilidad del arco que hemos propuesto debemos ante todo darnos un valor para el espesor tanto en la clave como en los arranques y comprobar segun estos valores las tres condiciones de estabilidad establecidas por el metodo grafico de Mery.

Para la determinacion del espesor en la clave hemos aplicado la formula empirica de Dupuit  $e = 0,20 \sqrt{L}$  que nos da un espesor de 0,6012 y la de Gauthey para  $L < 16$  que es  $e = 0,33 + 0,021 L$  que nos ha dado un espesor de 0,6462 y aumentando un 5% para mayor seguridad tenemos para  $e$  0,6785 o aproximadamente 0,70 que es el espesor en la clave.

Para los arranques hemos hecho  $e = 0,90$  ctms. en vista de que la junta de fractura, en las bóvedas escarzanas, coincide con los arranques, de suerte pues que el perfil de la bóveda tiene la curva de extrados no concentrica con la de intrados.

Con estos datos hemos descompuesto el perfil de la bóveda en ocho dovelas, desde los arranques a la clave. Ahora, para trazar las verticales que limitan las sobrecargas fijas que soporta cada dovela hemos tenido en cuenta la relacion que existe entre el peso por metro cubico de concreto o sea  $2000$  kilos y el peso por metro cubico de sillares que es  $2500$  kls relacion que es igual a  $0,8$ . En cuanto a la carga rodante constituida por tranvias electricos de  $16$  tons. de peso, sobre dos ejes distantes de  $2,10$  m. y siendo el ancho del carro de  $2,20$  m. hemos encontrado en primer lugar la superficie presionada o sea  $4,62$  met. cuad., luego en  $1$  met. cuadrado sera  $\frac{16000}{4,62} = 3463$  kilos por met. cuad y como con sideramos una porcion de  $1$  met. de espesor para la longitud de la bóveda sera tambien  $3463$  kilos por met. cubico. La relacion en que estan  $3463$  y  $2500$  es de  $1,38$ .

De esta manera reducimos las verticales que representan tanto las sobrecargas fijas como las rodantes en relacion con la densidad de la mamposteria que debemos usar o mejor dicho toda la sobrecarga total pesa  $2500$  kilos por met. cubico.

En seguida para determinar el centro de gravedad de las sobrecargas y de las dovelas separadamente hemos trazado las dos diagonales, hemos tomado la mitad de una de ellas y uniendo este

punto con el punto determinado tomando la magnitud menor de la otra diagonal sobre la magnitud mayor hemos obtenido una línea que dividimos en tres partes; el centro de gravedad se encuentra sobre esta línea a la tercera parte partiendo de la mitad de la primera diagonal.

En seguida hemos encontrado el valor de las áreas de las dovelas y de las sobrecargas también separadamente conforme se ve a continuación:

Dovela	Calculo	Area
1	$\frac{1 + 1,050}{2} \cdot 0,70$	0,73 M cd
2	$\frac{0,26 + 1,100}{2} \cdot 0,72$	0,75 " "
3	$\frac{0,98 + 1,04}{2} \cdot 0,73$	0,74 " "
4	$\frac{1 + 1,04}{2} \cdot 0,75$	0,77 " "
5	$\frac{1 + 1,05}{2} \cdot 0,81$	0,83 " "
6	$\frac{1 + 1,05}{2} \cdot 0,85$	0,88 " "
7	$\frac{0,90 + 0,92}{2} \cdot 0,87$	0,79 " "
8	$\frac{0,90 + 0,97}{2} \cdot 0,90$	0,85 " "
		6,34 m <sup>2</sup> cd.

Multiplicando estas áreas por 2500 nos ha dado:

Dovela	peso
1	1825 kls.
2	1875 "
3	1850 "
4	1925 "
5	2075 "
6	2200 "
7	1975 "
8	2125 "
<u>15850 Kls.</u>	

S. cargas	Calculo	Areas
1	$\frac{0,60 \cdot 1,05}{2}$	0,63 M. cd
2	$\frac{0,50 + 0,55}{2} \cdot 1,05$	0,56 " "
3	$\frac{0,55 + 0,65}{2} \cdot 1,05$	0,60 " "
4	$\frac{0,65 + 0,80}{2} \cdot 1$	0,73 " "
5	$\frac{(0,80 + 1) \cdot 1}{2}$	0,90 " "
6	$\frac{1 + 1,30}{2} \cdot 1$	1,15 " "
7	$\frac{1,30 + 1,65}{2} \cdot 0,85$	1,26 " "
8	$\frac{1,65 + 2,05}{2} \cdot 0,85$	1,57 " "
		7,46 m. cd.

Multiplicando estas areas por 2500 nos ha dado:

S. cargas	peso
1	1575 kls.
2	1400 "
3	1500 "
4	1975 "
5	2250 "
6	2875 "
7	3150 "
8	3925 "
	18650 kls.

Como conocemos el centro de gravedad de las dovelas y sus sobrecargas separadamente podemos una vez conocido tambien el peso de las mismas encontrar el centro de gravedad de cada dovela con su sobrecarga en conjunto y para esto hemos aplicado la formula:

$$x = \frac{gg' \cdot p}{p + p'}$$

Asi por ejemplo para la primera dovela con su sobrecarga tenemos  $x = \frac{1825 \cdot 0,62}{3400} = 0,33$  que debemos tomar al partir del centro de gravedad en que esta aplicado el peso menor.

Si guiendo igual procedimiento hemos determinado el centro de gravedad de toda la semi-boveda componiendo el peso de la primera dovela mas su sobrecarga con el peso de la segunda dovela tambien con su sobrecarga los que nos ha dado el centro de gravedad de la s dovelas y de las sobrecargas 1 y 2; en seguida entre este centro de gravedad y el de la dovela 3 con su sobrecarga hemos determinado el centro de gravedad de las dovelas y sobrecargas 1, 2 y 3 y asi sucesivamente hasta componer el peso de las dovelas y sobrecargas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 con la dovela y sobrecarga 8 lo que nos ha dado el centro de gravedad total. Para la determinacion de todos los centros de gravedad sucesivos hemos usado la formula ya mencionada.

En seguida hemos trazado el poligono de fuerzas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 eligiendo la escala de 2 mm. por 1000 kls. y tomando un polo arbitrario hemos trazado los radios polares con tinta roja y poligono funicular respectivo (tinta roja); ahora por el tercio de la juntura en la clave al partir del extrados hemos trazado la horizontal que representa la direccion del empuje hasta encontrar a la prolongacion de la linea que representa la direccion del peso total y este punto lo hemos unido con el tercio de la juntura en los arranques al partir del intrados lo que nos da la direccion de la reaccion. En el poligono de fuerzas hemos trazado por los extremos de la vertical 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 la horizontal paralela al empuje y por el otro extremo la oblicua paralela a la reaccion

to que nos ha hecho conocer la magnitud del empuje en la clave o sean 5<sup>0</sup>,000 kilos a la escala que hemos adoptado.

Por el punto en que la reaccion total corta al empuje trazamos en el poligono de fuerzas las reacciones correspondientes (tinta azul) 1,2,3,4,5,6,7 y 8 y para obtenerlas en su verdadera posicion basta trazar las paralelas correspondientes por los puntos en que las resultantes parciales de los pesos cortan a la direccion del empuje. Los puntos en que estas paralelas cortan a las juntas correspondientes nos determinan puntos de la curva de presiones y uniendo todos estos puntos <sup>por</sup> la linea de puntos y rayas rojas tenemos la curva de presiones que como vemos esta contenida en el tercio central del espesor de toda la boveda.

La segunda condicion es que dividiendo cada una de las reacciones por la superficie de junta correspondiente, lo que da la presion media o por metro cuadrado se obtenga un resultado a lo mas igual a la presion que los materiales pueden soportar sin inconveniente; este limite es de 5<sup>0</sup>,000 kilos para las piedras de talla. Asi para el empuje que hemos hallado de 5<sup>0</sup>,000 como hemos adoptado 0,7<sup>0</sup> ctms de espesor en la clave y consideramos una porcion de 1 m de longitud de la boveda sera la presion en la clave de  $\frac{50,000}{7000} = 7,14$  kls. por ctm cuadrado inferior al limite de 1<sup>0</sup> kils. que se nos ha impuesto. En cuanto a la reaccion tenemos tambien  $\frac{60,500}{9000} = 6,7$  kls por ctm. cuad.

La tercera condicion es que la direccion de cada una de las

reacciones haga con la superficie de junta un angulo poco diferente de un angulo recto pues de lo contrario seproduciria el resbalamiento. Siendo el coeficiente de frotamiento de piedra sobre piedra 0,76 la reaccion puede formar con la normal a la superficie de junta un angulo hasta de 37 grados sin que se produzca el resbalamiento; pero, este limite maximo no nos parece conveniente habiendo logrado que las reacciones formen angulos menores de 27 grados que dan mayor seguridad.

CURVA DE PRESIONES EN EL ESTRIBO.---Conociendo el espesor de la bo-  
da en los arranques que es de 090 ctms. y la profundidad a la cual  
llevaremos el estribo de la margen derecha que es de 4m 90 hemos  
aplicado para la determinacion del espesor del estribo en la ba-  
se dos formulas empiricas; la de los ingenieros alemanes y rusos  
 $x = 0,305 + \frac{a}{4} \left( \frac{6a - b}{2a + b} \right) + \frac{h}{6} + \frac{c}{12}$  que nos ha dado  $x = 6,35$  y la  
formula empirica de Leveille:  $x = 0,33 + 0,424 a \sqrt{\frac{gha}{H(b+e)}}$  la  
que nos ha dado  $x = 6,31$ .

Como comprobacion de estos resultados y despues de haber  
os examinado hemos aplicado la formula conocida para los estribos  
de igual resistencia:

$$\frac{Qh}{K} = \frac{Px}{H} + \frac{Slhd}{2K} + \frac{Slhx^2}{2K} - \left( Pv + (x-s) \frac{Slh(d+x)}{2} \right)$$

puesta bajo la forma siguiente:

$$\left( \frac{Slh}{2K} - \frac{Slh}{2} \right) x^2 + \left( \frac{Slhd}{2K} - \frac{Slhd}{2} + \frac{Slhs}{2} + \frac{P}{K} \right) x - Pv + \frac{Slhd}{2} - \frac{Qh}{K} = 0$$

y adoptando para k el coeficiente 1,5 de estabilidad. Resolviendo  
las ~~seis~~ <sup>cinco</sup> ecuaciones que resultan para las ~~seis~~ <sup>cinco</sup> secciones en las

que hemos supuesto dividido el perfil de ensayo del estribo hemos obtenido los siguientes valores:

$$\begin{aligned} x_1 &= 2,75 \\ x_{\frac{1}{2}} &= 3,50 \\ x_{\frac{1}{3}} &= 4,25 \\ x_{\frac{2}{3}} &= 5,70 \\ x_2 &= 6,38 \end{aligned}$$

Dibujado así el perfil del estribo hemos trazado la curva de presiones siguiendo idéntico método al expuesto anteriormente para la semi-boveda y hemos comprobado de esta manera que la curva de presiones en el estribo no sale tampoco del tercio central.

Damos a continuación las áreas de las secciones del estribo y sus pesos respectivos

Secciones	Calculos	Areas
1-----	$\frac{0,9 + 2,75}{2} \cdot 1$	-----1,83 m cd°
2-----	$\frac{2,75 + 3,50}{2} \cdot 1$	-----3,17 " "
3-----	$\frac{4,25 + 5,70}{2} \cdot 1$	-----4,98 " "
4-----	$\frac{3,50 + 4,25}{2} \cdot 1$	-----3,88 " "
5-----	$\frac{5,70 + 6,05}{2} \cdot 0,50$	-----2,93
6-----	$\frac{6,05 + 6,38}{2} \cdot 0,40$	-----2,49 " "

Multiplicando estas áreas por 2500 tenemos los pesos:

Secciones	Pesos
1-----	4575 kls°
2-----	7925 "
3-----	9700 "
4-----	12450 "
5-----	7325 "
6-----	6225 "

48200 Kilos

A estos 452<sup>00</sup> kls. tenemos que agregar los 34500 del peso de la boveda o sea en todo 827<sup>00</sup> kilos y como el limite que nos han dado para la resistencia de la mamposteria en los estribos es de 8 kls. por ctm. cuad. tendremos  $\frac{82700}{63800} = 1,25$  kls. los que demuestran la estabilidad del estribo.

#### ANCHO DEL PUENTE

Depende la anchura de un puente de la importancia y destino de la obra; en las poblaciones, siendo el puente una calle de primero, segundo o tercer orden segun el trafico que tenga debe darse la amplitud conveniente a estas; en carreteras, si la obra es corta puede reducirse su anchura hasta dejarle mas estrecha que la carretera, pero a trechos y aprovechando los tajamares de los pilares que suben hasta la rasante se hacen alguna vez ensanches para los cruces de los carruajes; algo consigue la circulacion con este sistema; pero sobre no llenar por completo su objeto lo desechamos en vista de que para nosotros no puede tener aplicacion desde que proyectamos la obra con un solo arco.

Atendiendo a que el puente debe construirse a la entrada de una poblacion de 50000 y a que van a traficar carros electricos debemos tener presente las siguientes ideas; 1a Que para abastecerse de viveres de los alrededores y otros servicios deben ingresar a la poblacion toda clase de vehiculos que la pongan en comunicacion con los pueblos productores o consumidores de las inmediaciones; 2a Que el trafico de carros electricos sobre la obra proyectada hace suponer que la ciudad esta en constante y re-

gular comunicacion con otra de importancia y 3o. Que en la construccion de esta clase de obras es necesario atender no solo al estado actual de progreso sino tambien al que es posible adquiriera la poblacion.

En conformidad con estas ideas es que hemos disminuido los coeficientes de resistencia a fin de que haya seguridad para el trafico simultaneo de carros electricos y de otra clase de vehiculos disponiendo la calzada del modo siguiente: Lam II plano A los extremos del puente formando los accesos dos ensanches de 14 mts. que van decreciendo gradualmente hasta tener 7,65 mts. que es el ancho del puente. Este ancho lo hemos dividido asi:

Una via ferrea-----	1,45
2 carreteras (210 Cu)----	4,20
2 veredas y sardineles---	2,00
	<hr/>
	7,65

Como suponemos que la carretera tenga 14 mts. hemos dispuesto dos muros para contener el su terraplen estableciendo ademas muros de malecon y tajamares circulares de mamposteria de 1 met d base en el angulo de los machones y formando cuerpo con ellos.

Al estar situado el puente en el interior de una poblacion nos hubieramos visto precisados a construirlo con los parapetos de mamposteria por ser los mas convenientes para un puente de este material no obstante ser caros pero estando situada la obra fuera de la poblacion y sirviendo ademas para el trafico de un ferro-carril electrico hemos creido mas economico construido con parapeto metalico de 0,90 etms. de altura haciendo ademas en la

ronacion del puente un cuyo perfil y aspecto puede verse en las Laminas I y II.

En los puntos en que los accesos del puente se unen con la carretera hemos establecido cuatro columnas de mamposteria destinadas tanto a la decoracion general como a recibir los focos de arco necesarios para el alumbrado electrico

CAPAS SOBRE LA BOVEDA.--La superficie curva de la boveda la hemos puesto al abrigo de las filtraciones que podrian ser perjudiciales a las juntas de las dovelas por medio de tres capas; una primera de hornigos muy fino teniendo mortero en exceso de 0,08 ctms. de espesor; despues de haber adquirido suficiente consistencia esta primera capa colocaremos otra segunda de arcilla apisonada de 0,05 ctms. de espesor y por ultimo otra tercera capa de 0,02 ctms de asfalto fino comprimiendolo ligeramente. No nos preocupamos del desague de la calzada por que ella esta asegurado con la combadura que le hemos dado.

TIMPANOS.--Siendo los timpanos los muros verticales de las cabezas del puente que establecen la union entre el trasdos de la boveda y la coronacion son verdaderamente muros de sostenimiento de l relleno de cascajo con el cual hemos llegado hasta la rasante para las dos vias carreteras y de arena arcillosa para el lastre de la via ferrea a fin de que tenga suficiente elasticidad. Teniendo pues en cuenta el caracter de estos muros les hemos dado 1 metro de espesor como se ve en el corte trasversal de la lamina III.

## GENERO DE CIMENTACION

Parece, a primera vista, que el genero de cimentacion que debe adoptarse solo dependiera del costo y a esto es, efectivamente a lo que atiende, muchas veces, sin conocimiento de la localidad algunos constructores. Creemos que tales ideas son absolutamente erroneas pues si es cierto que la economia debe ser consultada en toda obra, no lo es menos que los cimientos constituyen la parte mas importante de la clase de obra que nos ocupa.

Es por esta consideracion que a pesar de que la ribera izquierda del rio esta constituida por roca dura no hemos creido conveniente apoyar directamente sobre ella las recaidas de la boveda sino que hemos llevado la obra de mamposteria hasta la profundidad de 2,4<sup>0</sup> estableciendo gradines de 0,35 ctms. de altura sobre 0,5<sup>0</sup> ctms. de superficie de apoyo sobre la roca, endentando ademas dicha obra de mamposteria por la parte superior del estribo por medio de escalones de 0,6<sup>0</sup> ctm de altura por 0,85 de ancho con un diente central de 0,7<sup>0</sup> ctms de altura y llevando ademas la fabrica un poco arriba del arranque.

En cuanto al estribo derecho que debe establecerse sobre cascajo grueso incompresible pero socavable hemos adoptado el genero de cimentacion con pilotes Mitchel encajados hasta llegar a la roca y estableciendo sobre ellos un emparrillado de roble despues de haber rellonado el perimetro de los cimientos con un muro de concreto apisonado de 0,75 ctms. de espesor que hace desaparecer las posibilidades de filtraciones peligrosas no obstante

de haber rodeado las cabezas de los largueros y traviesas con un murito de cemento Portland de 0,65 cm de espesor.

Con el objeto de aumentar la resistencia de los pilotes por rozamiento hemos relleno parte del cuerpo y sus cabezas con concreto tambien apisonado y en una altura de 2,50.

CIMBRA\_\_Para la construccion de la boveda hemos adoptado un siste de cimbras con puntales simetricos modificando el modelo usado en la construccion del puente de Mont Luis con la elevacion de los apoyos internos: Dicha modificacion puede verse en la lamina V que muestra la disposicion de esta cimbra que se hace recomendable por el modo como actuan los apoyos supliendose los unos a los otros en caso de asiento de uno de ellos, observandose solamente una pequena depresion del conjunto de la cimbra sin deformacion de las piezas transversales.

Como se ve el metodo de descimbramiento es por medio de cuñas

