

M E M O R I A

2501

M E M O R I A

= = = = =

DESCRIPCION GENERAL.- El acueducto está formado por una serie de tramos rectos de 20 m. de luz total, más una luz de 60 m. sobre el cauce principal del río, formada por dos tramos "cantilever" de 20 m. de voladizo y uno central de igual luz, apoyado sobre los extremos de éstos.-

La longitud total de la obra es de 280 m. y su sección transversal está constituida por dos paredes o cuchillos de 1,50 m. de altura y 15 c/m de espesor, unidos por dos losas del mismo grueso, una superior y otra inferior.- Sobre ésta última apoyará la tubería por intermedio de camas, también de hormigón, espaciadas a 2,00 m. y la losa superior sirve al mismo tiempo de pasarela y de cabeza de compresión del tramo.-

Cada "Cantilever" está constituido como se vé en los planos, por dos tramos de 20 m., análogos a los descritos anteriormente, unidos por un tirante de cable hormigonado, que apoya sobre las pilas a una altura de 6,00 m. sobre el tramo.-

Cada 20 m. se disponen juntas de dilatación, y sobre las pilas de la luz principal, los tramos que forman la cabeza de compresión de los "cantilever" llevan una rótula en la losa inferior, con objeto de suprimir completamente los esfuerzos debidos a variaciones de temperatura o a los alargamientos elásticos del cable.-

INSPECCION Y REPARACION DE LA TUBERIA.- La tubería en el interior de la caja formada por estas losas quedará así abrigada de la intemperie, siendo al mismo tiempo cómodamente inspeccionable y reparable.-

Aún cuando la caja tiene dimensiones suficientes para el paso de los tubos y los operarios, la losa superior se proyecta también con resistencia para el paso de ellos, y con aberturas cada 20 m.

para meter y sacar los tubos; estas aberturas irán normalmente tapadas con losas de hormigón.-

Para el desague rápido de los tramos en caso de rotura de la tubería, la losa inferior lleva agujeros de 10 c/m² de sección cada 50 c/m.-

APOYOS Y CIMENTACION.- Salvo las pilas de la luz principal que van ligeramente armadas, todos los demás apoyos son de hormigón moldeado y su cimentación es sobre pilotes de 6,00 m. de longitud o con macizos de cimentación directa, a una profundidad mínima bajo el terreno de 4,00 m.-

SOBRECARGAS DE CALCULO Y CARGAS DE TRABAJO.- La sobrecarga total para la que se ha calculado la obra es de 660 Kgs por metro lineal, incluyendo en ellos el peso de la tubería del agua y una sobrecarga accidental de 100 Kg/m.l.

Teniendo en cuenta el peso propio de la obra, la sobrecarga de cálculo y los esfuerzos anormales debidos a una presión de viento de 150 Kg/m², se comprueban a continuación todos los elementos en forma que las cargas unitarias máximas sean de 40 Kg/c/m² y 12 Kg/m/m² para el hormigón y el acero respectivamente .-

CALCULO DE UN TRAMO DE 20 METROS.

Luz total : 20 mts.

Luz entre paramentos : 19,00 mts.

Luz de cálculo : 19,50 mts.

Peso propio por metro lineal : 0,98 x 2.400 - - - - 2.350 Kg/m.l.

Sobrecarga o tubería = - - - - - 550 "

Sobrecarga accidental + - - - - - 100 "

Carga total 3.000 Kg/m.l.

Momento flector máximo :

$$\frac{3.000 \times (19,5)^2}{8} = 142.600 \text{ M/Kg.}$$

Despreciando el área comprimida de los nervios y la resistencia del hormigón a la extensión, tenemos para profundidad de la fibra neutra, considerando la semi-sección :

$$80 \times 16 (\varphi - 8) = 15 \times 42,41 \times (170 - \varphi)$$

$$\varphi = 62 \text{ c/m.}$$

Momento de inercia de la semi-sección :

$$I = \frac{1}{3} 80 \times (62^3 - 46^3) + 15 \times 42,41 \times (108)^2 = 11.179.800 \text{ c/m}^{4os}$$

Carga máxima del hormigón a compresión :

$$H = \frac{14.260.000 \times 62}{2 \times 11.179.800} = 39,5 \text{ Kg/c/m}^2.$$

Carga máxima del hierro a tensión :

$$A = 15 \frac{142.600 \times 108}{2 \times 11.179.800} = 10,3 \text{ Kg/m/m}^2.$$

El esfuerzo cortante máximo sobre el apoyo es de :

$$3.000 \times \frac{19.500}{2} = 29.250 \text{ Kg.}$$

Tomando 30.000 Kg. y armando cada nervio con 4 ϕ 8 = 2,01 c/m² en estribos, la separación mínima de éstos es :

$$f = \frac{400 \left(3 - \frac{62}{170} \right) 170 \times 2,01}{\frac{1}{2} \times 30.000} = 24 \text{ c/m}$$

haciéndolos trabajar a 12 Kg/m/m^2 , por consiguiente, disponiéndolos a 16 c/m , quedan trabajando a 8 Kg/m/m^2 . - Esta separación de estribos va aumentando del apoyo al cuarto de la luz, donde es de 32 c/m , distancia que se mantiene ya constante hasta el centro de la luz .-

LOSA INFERIOR .- Tiene esta losa un peso propio de 360 Kg/m^2 , lo que produce un momento flector de

$$\frac{360 \times (1,30)^2}{10} = 60 \text{ M/kg/m.l.}$$

momento flector al que hay que añadir el debido a la sobrecarga de la tubería, que se transmite por intermedio de camas espaciadas a $2,00 \text{ m}$.- Suponiendo que estas camas reparten uniformemente la carga sobre la losa en todo su ancho y en una longitud de $0,50 \text{ m}$., la flexión que se produce es de

$$\frac{2 \times 1.060 \times (1,20)^2}{10} = 305 \text{ M/kg/m.l.}$$

Contando además con la sobrecarga accidental de 160 Kg/m.l. , el momento flector total es de :

$$60 + 305 + \frac{160 \times (1,30)^2}{10} = 390 \text{ M/kg/m.l.}$$

Con la losa de 15 c/m y una armadura de $8 \phi 8 = 4,02 \text{ c/m}^2$, la profundidad de la fibra neutra es $3,7 \text{ c/m}$; el momento de inercia 6.900 c/m^4 y las cargas del hormigón y el hierro 21 Kg/c/m^2 y 8 Kg/m/m respectivamente .-

LOSA SUPERIOR.- Está armada con $6 \phi 8$ a tensión y $3 \phi 8$ a compresión, no necesitando comprobación especial después de hecha la anterior. Esta losa superior lleva en sus extremos las aberturas para la entrada de los tubos, que se han dispuesto así, por ser en esta zona donde las flexiones tienen menor importancia; en la hoja de detalle pueden verse los refuerzos con que se ha armado el agujero.- Las losas de tapa tienen solamente 7 c/m de canto y una armadura de $8 \phi 8 \text{ m/m p. m.l.}$ para hacerlas más ligeras y puedan levantarse con facilidad.-

CALCULO DE LA LUZ DE 60 METROS

Esta luz está formada, como ya hemos dicho, por un tramo central de 20 m. apoyado sobre dos cantilever de 20 m. también. El tramo central no necesita por consiguiente cálculo especial.-

En cuanto a los laterales o cantilever, podemos considerarlos formados por el tirante como cabeza de tensión y la losa inferior del tramo trabajando como cabeza de compresión .-

El momento flector sobre las pilas es el siguiente :

$$\text{Carga del tramo central : } \frac{3.000 \times 20}{2} \times 20 = 600.000 \text{ M/kg.}$$

$$\text{Carga del cantilever : } 3.000 \times 20 \times \frac{20}{2} = 600.000 \text{ M/kg.}$$
$$1.200.000 \text{ M/kg.}$$

Tomando momento respecto a la articulación inferior, la tensión en el tirante es :

$$\frac{1.200.000}{6,00} = 200.000 \text{ Kg.}$$

Y tomando momentos respecto al vértice del tirante, la compresión en la losa inferior o cabeza de compresión, es :

$$\frac{1.200.000}{6,20} = 193.500 \text{ Kg.}$$

El tirante está formado por dos cables o grupos de ellos, con una resistencia total a la rotura de 780 Tns., o sea, trabajando con un coeficiente de seguridad de

$$\frac{780}{200} = 3,9$$

Dada la forma de anclaje del cable al tramo, la compresión en éste puede suponerse, en la zona contigua al macizo de anclaje, repartida uniformemente en toda la losa inferior y en la mitad de la altura de las paredes laterales; en esta forma, la carga unitaria es de :

$$\frac{193.500}{160 \times 15 + 2 \times 75 \times 15 + 15 \times 84,82} = 32,6 \text{ Kg/c/m}^2.$$

ARTICULACIONES.- En la zona inmediata a la rótula las presiones se concentran sobre ésta; y la presión unitaria que resulta, sin tener en cuenta la armadura central y los zunchos

$$\frac{193.500}{160 \times 30 + 15 \times 84,82} = 31,8 \text{ Kg/c/m}^2$$

Con objeto de suprimir los esfuerzos anormales en la rótula, se proyectan zunchados en la zona central de la losa para concentrar aquí la resistencia y la carga.- Considerando que éste se transmite exclusivamente por el área zunchada, la carga resistente de ésta es de :

$$3 \left[\frac{\pi (25)^2}{4} + 15 \times 28,27 + 45 \frac{\pi (25)^2 \cdot 0,50}{5} \right] \times 40 = 217.000 \text{ Kg.}$$

(fórmula de la C. M. Hol. 1918)

carga todavía superior a la de 193.500 que se produce.-

Como esta articulación ha de sufrir giros casi inapreciables, dada la estructura de que forma parte, proyectamos formarla solamente por una placa de plomo que absorva con su plasticidad el movimiento de la junta; dando a esta placa todo el ancho de la losa, queda trabajando a 40 Kg/c/m^2 con presión uniformemente repartida; en la práctica, esta carga unitaria aumentará en el centro y disminuirá en los bordes, pero dado el pequeño espesor que tiene, en relación con su área, esta carga quedará siempre con exceso dentro de los límites prácticos de la resistencia.- Los extremos de las losas van defendidos con unas chapas de palastro; con objeto solamente de defender sus bordes y aumentar algo su resistencia.-

EQUILIBRIO DE LOS CANTILEVERS.- Con objeto de equilibrar los cantilevers, se disponen en sus extremos exteriores masas de hormigón de contrapeso, en la forma siguiente: sobre el estribo, la cabeza del cantilever lleva un macizo de

$$5,00 \times 1,80 \times 2,00 \times 2.200 = 42.900 \text{ Kgs.}$$

que equilibran los 30.000 Kgs de peso de la mitad del tramo central, que apoya por el otro extremo del cantilever, con un coefi-

ciente de seguridad de $\frac{42.900}{30.000} = 1,40$.-

Además, esta cabeza del cantilever va anclada al macizo del estribo con 4 ϕ 16, dispuesto en forma que permiten la dilatación del tramo sobre el estribo, como puede verse en el detalle correspondiente de los planos.-

El extremo del otro cantilever está teóricamente contrapesado con el peso del semi-tramo siguiente, pero además se añaden dos macizos laterales, formados por un aumento de espesor de las paredes del tramo de 30 c/m por cada lado y en una longitud de 4,50 m.-

El peso de estos macizos es de

$$2 \times 1,80 \times 4,50 \times 0,30 \times 2.200 = 10.700 \text{ Kgs.}$$

y el coeficiente de seguridad al vuelco es por tanto de

$$\frac{30.000 + 10.700}{30.000} = 1,35$$

Además va anclado también a la pila en la misma forma que el otro cantilever sobre el estribo.-

ESFUERZOS DEBIDOS AL VIENTO .- La presión del viento de 150 Kg/m² produce efectos despreciables sobre los tramos sencillos, pero conviene estudiar su efecto sobre la luz de 60 m.- El momento flector horizontal que produce el viento sobre las pilas es el siguiente :

Momento debido al empuje sobre el tramo central :

$$150 \times 1,80 \times 10,00 \times 20,00 - - - - - = 54.000 \text{ M/kg.}$$

Momento debido al empuje sobre el tramo lateral :

$$150 \times 1,80 \times 20,00 \times 10,00 - - - - - = 54.000 \text{ "}$$

$$\text{Total} \quad 108.000 \text{ M/kg.}$$

Ahora bien, como la cabeza de compresión del cantilever está semi-articulada también en este sentido, supondremos que esta flexión carga solamente sobre los cables de tensión y produce sobre uno de ellos un aumento de carga de :

$$\frac{108.000}{2,20} = 50.000 \text{ Kg.}$$

sobre los 100.000 que resiste normalmente.- Como la resistencia del cable a la rotura es de 360 Tns., el coeficiente de seguridad con que queda trabajando el cable es de $\frac{360.000}{150.000} = 2,40$ aún en este caso tan desfavorable.-

- - - -

PILAS Y SU CIMENTACION

Las pilas de los tramos sencillos cargan como hemos visto 60 Tns., carga para la que tienen resistencia y estabilidad sobrada.- El peso propio de la pila es de :

$$1,80 \times 2.200 = 40.000 \text{ Kg.}$$

para una pila de 6.00 m. de altura.-

La carga sobre el terreno en la base de cimentación es de :

$$\frac{40.000 + 60.000}{280 \times 200} = 1,80 \text{ Kg/c/m}^2$$

y en caso de socavación contando solamente con los cuatro pilotes de 30 x 30 c/m de escuadría, la carga sobre el pilote es de 25 Tns.

La carga unitaria que sufren, contando con la armadura de 4 ϕ 16, es de :

$$\frac{25.000}{30 \times 30 + 15 \times 8,04} = 25 \text{ Kg/c/m}^2$$

La longitud de hinca, según la fórmula de Benabeng, se deduce a continuación :

$$L = \frac{M}{2 N} + \sqrt{\left(\frac{M}{2 N}\right)^2 + \frac{C R}{D N}}$$

siendo :

L = Longitud de hinca.-

$$M = \frac{d^2}{\text{sen}} \text{tg}^4 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) = 3.560$$

d = lado del pilote (30 c/m)

φ = talud natural de las tierras (35°)

α = ángulo diedro de la cabeza del pilote (20 °)

C = Coeficiente de seguridad (5)

R = Carga del pilote (25.000 Kg.)

D = Densidad de las tierras (1,6)

$$N = 4 d \times \frac{1}{2} \operatorname{tg} \varphi \times \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) = 1,550$$

Aplicando estos valores, se obtiene

$$M = 3,560 .$$

$$N = 1,550 .$$

$$L = \frac{3,56}{3,10} + \sqrt{(1,15)^2 + \frac{5 \times 20.000}{1.600 \times 1,55}} = 5,45 \text{ m.}$$

Las pilas de la luz principal sufren una carga, en su base, de :

Tres tramos :	3 x 60.000 =	-----	180.000 Kgs.
Peso propio :	2.200 x 55 =	-----	120.000 "
			<u>300.000 Kgs.</u>

que dividida entre 8 pilotes dá sobre cada uno una carga de 37,5 Tns.- Con esta carga, una simple proporción dá una longitud de hinca de 8,00 m.-

En cuanto a la estabilidad de la pila al vuelco, no es necesario comprobación, puesto que el cantilever va sujeto también sobre la pila o estribo inmediato.-

Además, estas pilas, aún cuando están perfectamente equilibradas, van armadas, como se indica en los planos, con 8 barras longitudinales de 16 m/m y sus correspondientes cercos.-

Madrid, 25 de Mayo de 1925.

Eduardo Corzo