Tomo XVII 15 de Mayo de 1900 Núm. 112

ANALES DEL INSTITUTO DE INJENIEROS

SUMARIO.—Algunas anotaciones sobre puentes colgantes, por Enrique Vergara Montt.—Aumento del momento de resistencia por medio de la disminucion de la seccion trasversal, (*traduccion*), por Cárlos Ehlers Dublé.—Bibliografía.—Revistas recibidas.

ALGUNAS ANOTACIONES SOBRE PUENTES COLGANTES

I

He considerado siempre como de gran conveniencia para el gremio de injenieros i aun para el pais en jeneral el que los ANALES DEL INSTITUTO contengan en sí todo lo que la esperiencia enseña en Chile en materias de la profesion para ir formando la escuela especial de injenieros chilenos, que, conociendo las necesidades locales, pueda apropiar a ellas los tipos adecuados de obras que se establecen en otras partes i que el tiempo i el estudio pueden modificar adoptándose a nuestros recursos.

Consecuente con este modo de pensar, voi a llamar la atencion de los colegas del Instituto hácia los puentes colgantes, cuya adopcion entre nosotros presenta ventajas de consideracion i que una corta esperiencia me ha hecho apreciar.

Seria obra digna de acometer el estimar cuánto cuesta al gobierno de Chile la construccion de puentes para caminos i ferrocarriles, i sin duda que la suma invertida llega a muchos millones, de los que gran parte se dieron por perdidos con los grandes aluviones del año próximo pasado.

No tengo memoria para conservar la estadística de los puentes construidos i desaparecidos desde años atras, pero espero que en vista de la importancia del tema alguno de los consocios habrá de interesarse hasta obtener aquel dato estadístico tan necesario para establecer la necesidad de dar a nuestros puentes los mayores tramos posibles.

Estamos todos posecionados de que, dada la topografía del pais, son evidentes estos grandes aluviones: la fuerte inclinacion del suelo, la proximidad de la cordillera i la latitud a que nos encontramos son causa para que se concentre en un momento dado una gran maza de agua a velocidades tales que producen rápidos socavamientos i ponen en peligro la estabilidad de las fundaciones de los puentes.

Estas naturales observaciones i la esperiencia misma nos llevan a considerar de *evidente necesidad el dar a los puentes los mayores tramos posibles.*

Pero como el precio de los puentes crece en progresion jeométrica con el largo de los tramos, se ha debido adoptar tramos cortos para llegar a economías, no sé hasta donde justificables.

Por una casualidad me he visto en situacion de construir un puente colgante de 85.50 metros para una canoa que debe llevar 1,500 litros por segundo i los resultados a que he llegado me animan a pregonar el uso de estos puentes en Chile.

"Los puentes de arco i los puentes colgantes, dice M. Collignon, son los únicos sistemas en los que el metal soporta o puede soportar en todo un esfuerzo de la misma naturaleza, presion en unos, tension en otros, i los únicos en que la reaccion necesaria para equilibrar un esfuerzo horizontal es llevada a puntos fijos esteriores. De aquí resulta que son los que permiten economizar mayor cantidad de materia i *los que mejor se prestan para la construccion de una obra económica.*

"Esta economía está aumentada por el empleo del alambre de fierro en los puentes suspendidos, que puede soportar sin peligro una tension de 12 kilógramos por milímetro cuadrado, llevada a veces, pero con poca prudencia, a 18 kilógramos."

M. Collignon encuentra, en cambio, los siguientes inconvenientes para los puentes colgantes:

1.° Obligan a colocar el tablero bajo el cable;

2.° Imponen la construccion de apoyos de albañilería de una altura aproximadamente proporcional al claro del puente;

3.° Las tracciones horizontales cuando no están apoyadas en puntos suficientemente resistentes pueden comprometer la estabilidad de la obra;

4.° Constituyen un sistema sumamente deformable;

5.° Obligan a una vijilancia mui atenta;

6.° El pasaje de la carga debe hacerse a pequeña velocidad;

7.° La temperatura hace variar la lonjitud de los cables i de las barras de suspension, todo lo que deforma el tablero;

8.° La ejecucion del cable es una operacion delicada en la que hai lugar a fallas.

La edicion de la *Resistencia de Materiales* de M. Collignon, de la que tomo estas observaciones, es del año 1877, i aunque esta obra sea de un espíritu científico altamente colocado es necesario reconocer que de aquel año acá se ha construido puentes colgantes de gran importancia i se ha introducido en su disposicion mejoras notables.

El puente de Brooklyn, por ejemplo, es una prueba de lo que se puede obtener con este sistema: no sé si un estudio comparativo con el del Forth lleve a probar que sean mas económicos los puentes ríjidos sistema *cantilever*, pero a *prima facie* parece que no se llegará a ello.

Para entrar a analizar las observaciones señaladas conviene primeramente conocer el tipo mas moderno de puentes colgantes.

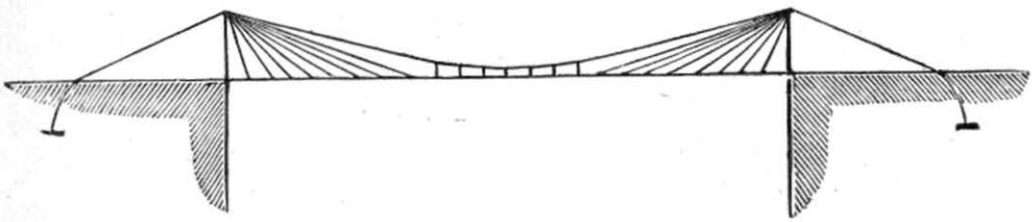

FIG. 1.—TIPO MODERNO DE PUENTE COLGANTE

Adoptando las disposiciones de los tipos en que todo el tablero cuelga del cable, se ha modificado desligando de él la parte que está próxima a los apoyos para sostenerla por cables directos de las piezas de puente a las pilastras i al anclaje.

Un estudio lijero de la cuestion me permite establecer que conviene adoptar esta disposicion hasta una distancia igual a tres veces el alto de las pilastras; de modo que si se da a éstas una altura igual al décimo del tramo, quedará colgada por cables directos mas de la mitad del puente; la otra mitad lo será del cable en catenaria o polígono funicular.

La fórmula que fija la tension en el trozo ménos cargado de un polígono funicular es de la forma,

$$T_m = \frac{P \times a}{h} \times \frac{n(n+1)}{2}$$

en la que P, a i N son cantidades determinadas en cada caso i h una variable, o sea la flecha que quiere darse al cable, que en la práctica se toma entre $\frac{1}{10}$ i $\frac{1}{15}$ del tramo.

La lonjitud del cable varía mui poco con la flecha pero la tension diminuye considerablemente con ella, o mas bien es inversamente proporcional, por lo que hai conveniencia en aumentarla para economizar alambre.

Es necesario advertir que la tension máxima es funcion directa del peso del puente i de la tension mínima, de modo que se tratará siempre de reducir ésta en cuanto sea posible.

Por otra parte, si bien una flecha grande reduce considerablemente el empleo de metal en cambio presenta dos inconvenientes serios: uno, deja los trozos del polígono próximos a los apoyos con una fuerte inclinacion que, pasando de 10°46′ o 19%, produce un resbalamiento en los tirantes; i otro, que se facilitan las deformaciones del conjunto para una carga aislada, por cuanto son mayores las componentes verticales de la carga de los tirantes sobre el cable.

El tipo moderno de puente colgante disminuye considerablemente estos inconvenientes porque suprime los tirantes verticales coloca-

dos en los estremos del cable en que la inclinacion de los lados del polígono pasa del 19%, i porque reduce en realidad casi a la mitad el tramo realmente colgado, reduciendo al mismo tiempo la flecha en la misma proporcion.

Con estas disposiciones desaparecen en gran parte las deformaciones, que es el principal defecto de los puentes colgantes.

Sigue en órden el que la carga debe pasar a pequeña velocidad. Esto es relativo i en todo caso la velocidad depende de la cantidad de material empleado en el puente, o sea de la flecha adoptada para el cable.

La construccion de apoyos de albañilería va cayendo en desuso; en el puente carretero i de ferrocarril sobre el Niágara se ha debido cambiar las pilastras de sillería por otras de palastro, pues la accion horizontal del cable habia destruido las aristas de algunas piedras.

Para el anclaje de los cables debe efectuarse obras de albañilería que repartan la tension de los cables cargando horizontal i verticalmente el suelo con la presion adoptada en la práctica i no habrá temor a que movimientos del anclaje comprometan la estabilidad de la obra.

El efecto de la temperatura tiene, es cierto, cierta importancia como el alargamiento debido a la tension, pero para puentes de pequeña flecha disminuye notablemente.

Por último, el cuidado que requiere la formacion del cable como la conservacion de la obra es el mismo que se necesita para cualquiera otro puente de ciertas dimensiones.

Bajo este punto de vista presentan los puentes colgantes ventajas evidentes.

Para que un puente ríjido merezca la plena confianza del injeniero es de necesidad que éste haya podido comprobar personalmente o por persona de confianza la resistencia prevista para cada una de las piezas, lo que no es tan fácil de efectuar. Miéntras tanto me ha pasado en el puente colgante que he construido, que he podido colocar en el cable de suspension 481 alambres del número 10 i 11 car-

gados todos a la tension de 15 kilógramos por milímetro cuadrado, quedándome la conviccion de que el cable tiene una resistencia total de 65,500 kilógramos; fuerza superior en un 6% a la que se necesita.

Construido el cable en la obra misma, colocando el alambre hebra por hebra probada, no hai duda de que queda comprobada la resistencia total del cable.

Así ha pasado en el puente de Brooklyn a Nueva York en el que se colocaron 4 cables compuesto cada uno de 6,224 hilos de acero número 7, formando un haz de 393 milímetros, siendo probado uno a uno los hilos, para salvar una distancia de 1,052 metros con un tramo de 486 metros al centro i dos laterales de 283 metros.

El viaducto sobre el Malleco, a mi modo de ver, debió haber sido construido colgante i la economía habria sido considerable, aunque se redujera la velocidad de los trenes, cosa que no tiene importancia pues este puente está a pocos metros de la estacion de Collipulli.

Suponiendo un peso de 6,000 kilógramos por metro corrido, el tramo de 400 metros, tirantes a 4 metros, flecha de $\frac{1}{12}$ i dos cables, se tendria en cada uno de éstos una tension máxima de 1 millon 800,000 kilógramos, que serian resistidos por 13,500 alambres número 10 de fierro, u 8,200 de acero del mismo número. Teniendo el alambre número 10 de fierro una lonjitud de 650 metros por rollo de un quintal español alcanzaria de anclaje a anclaje i así el total consumido seria de 26,500 quintales españoles.

Observaciones personales me llevan a fijar en 50 pesos el precio del puente por quintal español de alambre empleado, lo que seria para el viaducto la suma de 1.325,000 pesos; su costo creo que ha sido de 100,000 libras esterlinas, suma mas o ménos igual a la anterior (1).

Pero de esta suma el 40% seria de artículos importados o sólo 530,000 pesos, siendo el resto obra de mano, fletes, albañilería i maderas cuyo valor habria quedado en el pais.

---

(1) Segun informaciones posteriores esa suma es la pagada al Creuzot sólo por la ferretería armada.

La confianza que puede tener un injeniero en la resistencia de un puente colgante nace de la sencillez de las fórmulas por aplicar fundadas en deducciones netamente científicas i sin que deba hacerse hipótesis mas o ménos comprobadas por la práctica.

Usados en Europa en la primera mitad de este siglo han ido perdiendo su prestijio por algunos accidentes acaecidos en el anclaje i por otras causas.

El puente de la Roche-Bernard sobre el Vilaine ha sido suspendido varias veces por huracanes, sufriendo deformaciones considerables i esto a causa de no haber tomado en cuenta los contravientos.

En 1887 cayó el puente colgante sobre el Ostrawitza en Moravia con el peso de 12 hombres, un destacamento de caballería de 16 hombres i dos coches, siendo todos precipitados al rio.

Media 66 metros la parte colgante, sostenida por dos cadenas justapuestas a cada lado, las que estaban compuestas de 5 barras de fierro de 13 milímetros de espesor i de 101 de ancho.

En el anclaje estas barras habian reducido en 35 años sus dimensiones a 3 milímetros por 25, debido a las sales amoniacales que las aguas de lluvia absorbian de la defecacion de los animales en la calle.

NOTA.—Los puentes suspendidos tuvieron su oríjen en América i fueron mui aceptados en Europa en la primera mitad de este siglo, pero diversos accidentes i sobre todo una terrible catástrofe sufrida en 1850 en el puente de la Basse-Chaîne, en Angers, fueron causa de que se abandonaran para siempre. Hoi dia vuelven a ser aceptados en la forma que denomino tipo moderno.

Miéntras tanto está en Europa el puente de Fribourg, en Suiza, con 265 metros de claro, i en Estados Unidos, los del Niágara, del Ohio i de Brooklyn con 250, 322 i 486 metros de claro respectivamente, acreditando los puentes colgantes.

No entro a mencionar los puentes denominados colgantes ríjidos porque ya salen del cuadro que me he formado i porque no presentan la sencillez de los mencionados.

Me ha llamado la atencion lo que acontece en la carga que soportan por unidad los cables de los puentes.

En el puente de la Roche-Bernard el alambre de fierro número

10 de 9.08 milímetros de seccion se hace trabajar con la tension máxima de 16.41 kilógramos por milímetro cuadrado; en los del Niágara i del Ohio el mismo alambre soporta la de 19.6 kilógramos i 26.7 respectivamente i en el de Brooklyn el alambre de acero de 4.3 milímetro de diámetro trabaja a 33.5 kilógramos por milímetro cuadrado.

Esta tension la soporta el cable en el trozo de mayor inclinacion: es necesario, sin embargo, advertir que para estos alambres de fierro la carga de ruptura es de 71 kilógramos i la del límite de elasticidad 35 kilógramos por milímetro cuadrado.

En vista de estos hechos he fijado en 15 kilógramos la resistencia máxima a la tension de los alambres de fierro del comercio.

II

Dejaré constancia de diversas anotaciones i observaciones de carácter jeneral que pueden ser útiles.

Peso del tablero.—Es independiente de la lonjitud del tramo varía con el ancho.

Los datos prácticos que hai son los siguientes:

	Peso por metro corrido	
Puente de la Roche Bernard, 7 metros de ancho.	2,220	kilógramos
Puente del Niágara (Clifton), 7.30 metros de ancho	3,000	,,
Puente del Ohio (Cincinati), 11 metros de ancho.	3,300	,,
Puente de Brooklyn, 26 metros de ancho.....	10,000	,,

Puede estimarse que para los puentes de ancho comun la carga por metro corrido es de 300 kilógramos por cada metro de ancho del puente.

Tension de los cables.—Considerado el cable como un polígono funicular i suponiendo un número par de barras de suspension, el valor de la tension en el trozo central, que es el ménos cargado, es dado por la fórmula:

$$T_1 = \frac{P \times a}{h} \times \frac{n(n+1)}{2} \text{ en que} \qquad \text{(a)}$$

P = peso que carga en la barra de suspension.
a = distancia entre las barras.
n = mitad del número de barras.
h = flecha del cable.

Considerado el cable como una parábola se tiene la fórmula:

$$T_1 = (p+p')\frac{a^2}{2b} \text{ en que} \qquad \text{(b)}$$

p = peso muerto por metro corrido.
p' = peso móvil por metro corrido.
a = mitad de la distancia entre los apoyos.
b = flecha.

Para la canoa que he construido se obtiene los siguientes resultados:

Con la fórmula (a) $T_1 = 56{,}844$ kilógramos
Con la fórmula (b) $T_1 = 57{,}112$,,

siendo el primero mas exacto, desde que en realidad el cable pierde su forma de curva para tomar la de polígono funicular.

La tension máxima para el primer caso está dada por la fórmula:

$$T_m = \sqrt{T_1{}^2 + n^2 P^2}; \qquad \text{(c)}$$

para el segundo por:

$$T_m = (p+p')\frac{a}{2b}\sqrt{4b^2 + a^2}. \qquad \text{(d)}$$

Aplicadas al mismo caso, se tiene:

$T_m = 61{,}823$ kilógramos
$T_m = 62{,}616$,,

Seccion de los cables.—Se da a todo el que corresponde a la tension máxima.

El alambre de fierro que mas se presta para la formacion de ellos es el número 10 del aforo de Birmingham usado en los puentes de Roche-Bernard, Niágara i Cincinati, con una seccion de 9.08 milímetros cuadrados, resistente a 136.2 kilógramos máximo.

El número de alambres que debe componer un cable es, pues, de

$$\frac{T_m}{136.2}. \qquad \text{(e)}$$

Para la canoa de la Rinconada seria:

$$\frac{61823}{136.2}=454.$$

Lonjitud del cable.—En la parte comprendida entre los apoyos, es dada por la fórmula mui aproximada:

$$D=2a\left(1+\frac{2b^2}{3a^2}-\frac{2b^4}{5a^4}\right), \qquad \text{(f)}$$

que, aplicada al puente de Brooklyn, da un error de un centímetro.

El término $\frac{2b^4}{5a^4}$ puede suprimirse en los puentes de claro menor de 50 metros, pero en los mayores produce diferencias considerables.

Para el caso de la canoa, hai una diferencia de 8.7 centímetros suprimiendo dicho término.

Inclinacion del trozo superior.—Esta inclinacion es dada por la fórmula:

$$\text{Tanj}\,\alpha=\frac{2b}{a}. \qquad \text{(g)}$$

Si se quiere que la barra de suspension se sujete por frotamiento, es necesario dar a tanj α el mayor valor: 0.19. Para este caso se tiene:

$$\frac{2b}{a}=0.19, \text{ de donde:}$$

$b=0.19a$ o sea una flecha igual a $\frac{1}{5}$

del claro, lo que produciria en el cable una tension doble o triple de la ordinaria, que no es aceptable, por lo que debe sostenerse la barra de suspension al cable por algun procedimiento.

Carga sobre los apoyos.—La carga en los apoyos del cable cargado es la resultante vertical de su tension máxima.

Siendo dada la inclinacion por la fórmula (g) i la tension máxima por la (d), se tiene para la reaccion vertical de los apoyos:

$$R=(p+p')a. \qquad \text{(h)}$$

En realidad esta carga es superior a la efectiva por cuanto se ha tomado como base una forma parabólica del cable en lugar del polígono, que es lo efectivo.

A ésta debe agregarse la que resulta de la tension del cable de anclaje.

Cables de anclaje.—Se llama así la parte que va de los apoyos al anclaje.

Conviene hacerlo del mismo diámetro del cable cargado, siendo su continuacion: para esto debe hacer con la horizontal un ángulo igual o menor que el dado por la fórmula (g). Lo mas conveniente es hacerlos iguales para que la resultante sea una vertical i entónces los pilares trabajen sólo por compresion.

En este caso la carga total del apoyo es:

$$R=2a(p+p'). \qquad \text{(i)}$$

Deformaciones.—Los efectos de elasticidad i dilatacion del cable colgado producen un alargamiento o acortamiento del cable; los mismos en los cables de anclaje son causa de una aproximacion o alejamiento de los apoyos.

Supóngase fijos los apoyos i una carga igualmente repartida.

La lonjitud del cable está dada por la fórmula (f); para una nueva lonjitud variará la flecha.

El alargamiento puede determinarse *a priori* fundándose en la carga media que por unidad de seccion soporta el cable.

En la fórmula del alargamiento

$$l=\frac{LP}{SE}$$

puede tomarse a S como un milímetro cuadrado i a P como 13.6 kilógramos, carga media límite con que trabaja el alambre.

Entónces,

$$l=\frac{L\times 13.6}{20000}=0.00068\,L. \qquad \text{(j)}$$

El efecto de la carga debe dividirse para la permanente i la movil i quitar a la lonjitud del cable el resultado de la primera para llegar a obtener la parábola fijada al cable de antemano.

Para el caso de la canoa de la Rinconada, en que la carga permanente es de 300 kilógramos i la móvil de 900, i teniendo el cable una lonjitud entre los apoyos de 88.40 metros, el alargamiento previsto por la carga móvil es de

$$\frac{88.5\times 13.6\times \frac{3}{4}}{20000}=0^{m}.043.$$

Para determinar el aumento de la flecha hai que tomar la ecuacio de la lonjitud de los cables.

Con la carga permanente tenemos:

$$D=2a\left(1+\frac{2b^2}{3a^2}-\frac{2b^4}{5a^4}\right)$$

Agregando la carga móvil se obtiene:

$$D'=2a\left(1+\frac{2b'^2}{3a^2}-\frac{2b'^4}{5a^4}\right)$$

De estas dos ecuaciones se deduce:

$$b' = \sqrt{\frac{5}{6}a^2 \pm a\sqrt{\frac{25}{36}a^2 - \frac{5b^2}{3} + \frac{b^4}{a^2} + \frac{5a(D-D')}{4}}} \qquad (k)$$

Para la canoa de la Rinconada se tiene: $a = 42.75$, $b = 9.62$, $D - D' = -0.043$, i aplicando estos datos, se encuentra para b' el valor de 9.70.

El aumento de flechas es, pues, de 8 centímetros.

Puede tambien determinarse la diferencia de flecha por la fórmula:

$$b = a\sqrt{\frac{5 - \sqrt{115 - 45\frac{D}{a}}}{6}} \qquad (l)$$

Dando al cable una lonjitud de 88.343, metros se llega en este caso a obtener para b por esta fórmula el valor 9.69; hai, pues, un aumento de flecha de 7 centímetros.

La diferencia que aparece entre este resultado i el anterior es, sin duda, efecto de las decimales despreciadas.

No entro a estudiar la influencia de las cargas locales porque se llega a fórmulas complicadas que en caso de necesitarse hai que recurrir a los tratados especiales.

En cuanto al efecto en la flecha de un acercamiento de los apoyos por causa de la dilatacion i alargamiento de los cables de anclaje hai que modificar la ecuacion de la parábola del cable colgado para llegar a obtenerlo.

Conservándose constante el largo del cable colgado, el nuevo valor de b seria:

$$b' = a'\sqrt{\frac{5 - \sqrt{115 - 45\frac{D}{a'}}}{6}}$$

Aplicándola al caso de la Canoa de la Rinconada, se tiene que la proyeccion horizontal de 20 metros aproximadamente de los cables de anclaje dan un alargamiento total de 3 centímetros por la tension, quedando entónces $a' = 42.735$.

Se obtiene $b' = 9.65$, dando, pues, una flecha de 3 centímetros.

Cálculos análogos hai que hacer para la dilatacion, la que tomada para 25° daria para el mismo caso un alargamiento de 3.2 centímetros en el cable colgado i 1.5 para los dos de anclaje (1). Este efecto de la dilatacion puede unirse como restarse del de la tension i para una canoa, en que la carga móvil se reduce en el tiempo frio, hai que tomarlo en cuenta fijando una temperatura de 20° como oríjen.

El efecto sensible de las deformaciones por la carga han llevado a idear sistemas para dar cierta rijidez a los cables.

Sin duda que el caso de una carga igualmente repartida conserva la forma parabólica primitiva del cable, pero desde que la carga sufre variaciones en su continuidad desaparece inmediatamente la forma primitiva. Se presenta, pues, el problema de conservar o aproximarse siquiera a la carga uniformemente repartida.

Esto se obtiene con gran aproximacion por medio de un cable vertical inverso cuya resistencia equivalga a la carga móvil supuesta en su máximo de accion: es decir un cable con cuyas reacciones se consiga cargar el cable superior con la carga igualmente repartida que ha servido para el cálculo de sus dimensiones, pero debiendo estar unidos estos cables por piezas ríjidas.

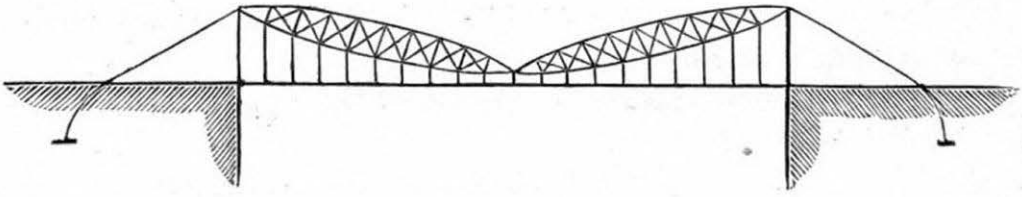

Fig. 2.—Proyecto de puente en los Estados Unidos.

(1) El coeficiente de dilatacion lineal del alambre de fierro es 0.0000144.

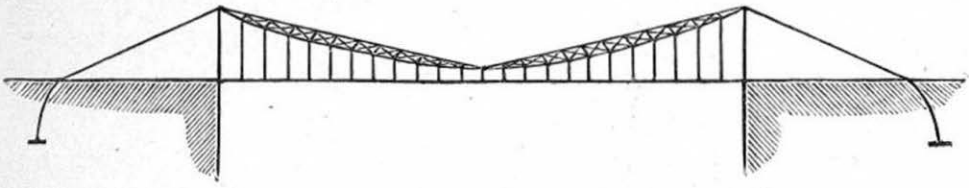

FIG. 3.—PUENTE COLGANTE RÍJIDO EN PITTSBURG, E. U.

Se consigue tambien disminuir las deformaciones dando cierta rijidez a la viga inferior del puente que así reparte la presion en un mayor espacio de cable; esta viga puede ser armada, i calculada como para tramos de 12 veces su alto reparte en esta distancia la presion.

En los puentes ordinarios colgantes se usan con eficacia para este objeto los tirantes llamados *maromas* u *obenques* que van de la cima del apoyo a la viga colgada, manteniendo su posicion. Como se ha espresado al principio, en el tipo moderno de puente colgante se deja sin colgar del cable la parte del puente que puede sostenerse por estos tirantes, los que trabajan únicamente.

La tension i compresion de las piezas están dadas en el cuadro adjunto para la disposicion especial de la figura siguiente:

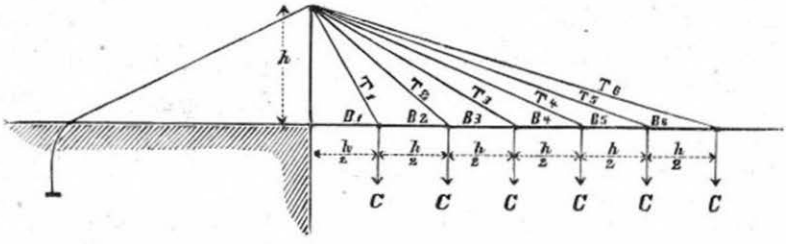

FIG. 4

Cuadro para una carga igualmente repartida:

$$C=\frac{1}{2n}\,h \times \text{peso por metro corrido de puente,}$$

siendo $n=$ número de cables.

$T_1 = 1.12\ C$	$B_1 = 10.5\ C$
$T_2 = 1.41\ C$	$B_2 = 10.0\ C$
$T_3 = 1.80\ C$	$B_3 = 9.0\ C$
$T_4 = 2.24\ C$	$B_4 = 7.5\ C$
$T_5 = 2.69\ C$	$B_5 = 5.5\ C$
$T_6 = 3.16\ C$	$B_6 = 3.0\ C$

Las condiciones ventajosas de este sistema han llevado a proyectar puentes colgantes en que desaparece el cable en forma parabólica, colocándose en su lugar un puente ríjido entre los estremos de los tableros sostenidos por *maromas* u *obenques*.

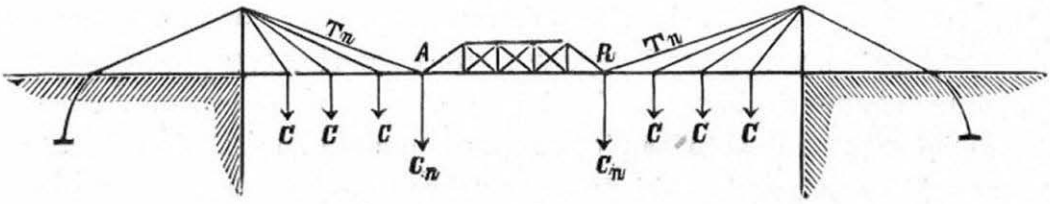

Fig. 5.—Proyecto americano

En este sistema los obenques T_n deberán ser calculados para sostener la tension C_n de la viga AB.

Con el objeto de dar mayor rijidez al puente i evitar las deformaciones disminuyendo la compresion de las vigas del tablero, se le da una inclinacion del centro a los estremos, que en el de Brooklyn es de 3¼%.

Los obenques, como se ha visto, mantienen la rijidez del tablero en una gran parte del puente.

Si se da a los apoyos una altura del noveno del claro obran ellos en las ⅔ partes del puente.

Aplicacion posible.—Conviene llamar la atencion hácia esta disposicion de los puentes colgantes para usarlos en la construccion de muelles, pues habrá muchas partes en que podrá levantarse pilares de 20 metros que permitirian llevar la estremidad del tablero a 60 i aun 80 metros de distancia.

En Papudo, por ejemplo, puerto que conozco, podria con este sistema construirse un muelle de tal naturaleza que permitiria llevar la carga directamente al buque sin que el costo de la obra fuera excesivo.

Este sistema de muelles colocados a 10 metros sobre el nivel medio quedarian libres de los accidentes que tienen los actuales, que continuamente son destruidos por las olas.

MUELLE DE 45 METROS DE LARGO

Tirantes a 3.75.

$h = 15$ metros = altura de las pilastras.

$C = 3.75 \times 3000 = 11250 = 12000$ kilgrs. = carga por tirante.

Tension de los tirantes, carga i lonjitud, (12 kilógramos por milímetro cuadrado).

T_1 = 13440	kilgs.	= 120	alambres	= 16.80$^{m.}$	c/u.	2016	metros
15180	,,	= 150	,,	= 18.75	,,	2625	,,
T_2 = 16920	,,	= 164	,,	= 21.15	,,	3384	,,
19260	,,	= 170	,,	= 24.00	,,	4080	,,
T_3 = 21600	,,	= 190	,,	= 27.00	,,	5130	,,
24240	,,	= 220	,,	= 30.15	,,	6633	,,
T_4 = 26880	,,	= 240	,,	= 33.60	,,	8064	,,
29580	,,	= 270	,,	= 36.90	,,	9963	,,
T 32280	,,	= 290	,,	= 40.35	,,	11701	,,
35100	,,	= 320	,,	= 43.50	,,	13920	,,
T_6 = 37920	,,	= 340	,,	= 47.40	,,	16116	,,
272400		2474				83632	,,

Largo medio 34.

Lonjitud al anclaje 34 = largo total 83632.

,, bajo el anclaje $16 \times 2474 = 39584$.

Lonjitud total del alambre

Del apoyo al tablero.....	$2 \times 83632 = 167264$	metros
„ anclaje al apoyo..... ...	$2 \times 83632 = 167264$	„
Bajo el anclaje.....	39584	„
Total.....	374112	„
Pérdida 10 %.....	37411	„
Total.....	411523	„

$$\text{Peso del alambre} = \frac{411523}{650} = 633 \text{ quintales españoles.}$$

Vigas.—Carga i dimensiones de los trozos.

Barras	Tension	Seccion a 4 kilógramos	Peso por metro corrido
$B_1 =$	126000 kilgs.	31500^{mm2}	245.7 kilgs.
$B_2 =$	120000 „	30000 „	224.0 „
$B_3 =$	108000 „	27000 „	210.6 „
$B_4 =$	90000 „	22500 „	175.5 „
$B_5 =$	66000 „	16500 „	128.7 „
$B_6 =$	36000 „	9000 „	70.2 „
			1054.7 „

$$\text{Peso medio } \frac{1054.7}{6} = 175.8 \text{ „}$$

$$\text{Peso de las vigas} = 2 \times 45 \times 175.8 = 15822 \text{ „}$$

Piezas de puente, cruces de San Andres, etc.

Carga por pieza de puente = 22500 kilógramos.
Vigas llenas de 0.60.
Peso por metro corrido = 100 kilógramos.

Peso de las 12 vigas = $12 \times 6 \times 100$	= 7200	kilógramos,
Peso de las amarras, contravientos, etc.	= 2800	„
Total..... ...	10000	„

Piso.

Carga por metro cuadrado = 400 kilógramos.

Vigas 3″/12″	2400	piés
Tablones 3″	9000	,,
Total	11400	,,
Pernos	1200	

Soportes.

Presion = $2 \times 45 \times 6000 = 540000$ kilógramos
Albañilería de 10 metros de alto
Seccion media = $7 \times 3.00 = 21^{m2}$
Volúmen = $21 \times 10^{m3} = 210^{m3}$

Pilares.

Presion = 540000 kilógramos
Altura = 15 metros
Trabajo del fierro = 4 kilógramos.

Seccion media = $\frac{540000}{4} = 135000^{mm2}$

Volúmen = $15 \times 0.135 = 2.025^{m3}$
Peso = $2.025 \times 7800 = 15795$ kilógramos
Amarras, etc. = 1205 ,,

Total ..... 17000 ,,

Anclaje.

Iniclinacion de los cables $\frac{15}{34}$

Tension = 2×272400 = 544800 kilógramos
Componente horizontal = 500000 ,,
,, vertical = 220000 ,,

Volúmen del anclaje = $\frac{220000}{2000} = 110^{m3}$

Seccion vertical $=\frac{500000}{20000}=25^{m2}$

Espesor $=\frac{110}{25}=4^{m}.40$

Presupuesto.

633	quintales españoles alambre número 10, a $ 9 c/u..	$ 5697
15822	kilógramos vigas de fierro, a $ 0.30 c/u	4747
10000	,, piezas de puente, etc., a $ 0.30 ,, ...	3000
14400	piés madera, a $ 0.12 c/u	1728
1200	pernos, a $ 0.30 c/u	360
210	metros cúbicos albañilería hidráulica, a $ 30 c/u ...	6300
17000	kilógramos fierro pilares, a $ 0.30 ,, ...	5100
110	metros cúbicos albañilería ordinaria armada, a $ 20 c/u	2200
1	puente de 30 metros de acceso	6000
Armadura del muelle $ 15 por quintal español de alambre.		9995
Maquinaria, etc		12873
	Total	$ 60000

PUENTE CARRETERO DE 150 METROS

La carga por metro corrido es de 4000 kilógramos.

Peso del alambre que entra en el puente = 3540 quintales españoles.

Tablero de madera i fierro.

Carga en las pilastras $=\frac{150}{2}\times 2\times 4000=600000$ kilógramos.

Vigas, son un 35 % mas livianas que en el caso anterior.

Piezas de puente, etc. ,, ,, ,, ,,

Piso, es el mismo del muelle de 45 metros.

Soportes, deben resistir un 10 % mas que los calculados para el muelle.

Anclaje, debe ser un 10 % mas resistente.

Presupuesto.

3540	quintales españoles alambre número 10, a $ 9 c/u.	$ 31860
34500	kilógramos vigas de fierro, a $ 0.30 c/u.....	10350
15600	,, piezas de puente, etc., a $ 0.30 c/u.....	4680
150	metros tablero, a $ 50 c/u.....	7500
2	estribos, a $ 7500 c/u.....	15000
38000	kilógramos fierro pilares, a $ 0.30 c/u.....	11400
500	metros cúbicos albañilería ordinaria armada, a $ 20 c/u.....	10000
	Armadura del puente, $ 10 por quintal español de alambre	35400
	Imprevistos, fletes, etc.....	23810
	Total.....	$ 150000

Este puente ha sido calculado cargando el tablero en toda la estension en el cable i sostenido al mismo tiempo por *obenques*.

Para juzgar de la economía que puede haber en el material adoptando el tipo moderno, se supondrá que el puente de 150 metros está dividido en tres partes: dos que corresponden al tipo del muelle cubriendo 97 ½ metros i la otra que será un puente colgante en los 52 ½ metros que quedan al centro.

El mismo presupuesto del muelle puede servir reduciéndolo a los ⅔ para determinar el precio de las dos partes laterales, desde que la carga en uno i en otro caso está en esa misma relacion.

En la parte central hai que estudiar especialmente la cuestion.

Para el claro de 52 metros al centro hai que tomar una flecha de $\frac{1}{20}$ mas o ménos: sea ella 2.60.

La tension máxima es:

(Fórmula b):

$$T_m = 2000 \times \frac{\overline{26}^2}{5.2} = 260000 \text{ kilógramos, mas o ménos.}$$

La lonjitud total de una vuelta del cable es de 500 metros aproximadamente.

Seccion del cable.....	$\frac{260000}{12}=21667^{mm^2}$		
Volúmen del cable.....	$500\times0.021667=10.8333^{m^3}$		
Peso del cable.....	$10.8333\times7800=$	84500	kilógramos
10% de pérdida.....	.....	 8450	,,
Total.....	.....	 92950	,,

o sea 2021 quintales españoles.

El peso total de alambre será:

Para la parte central.....	2021	quintales españoles	
Para las partes laterales.	844	,,	,,
Total.....	2865	,,	,,

El peso del alambre para el puente de 150 metros cargando todo el tablero sobre el cable se determina así:

$$T_m=2000\frac{75^2}{25}=450000 \text{ kilógramos}$$

$$\text{Seccion}=\frac{450000}{12}=37500^{mm^2}$$

$$\text{Volúmen}=500\times0.037500=18.75^{m^3}$$

$$\text{Peso}=18.75\times7800=146250 \text{ kilógramos}$$

	=	3180	quintales españoles
Perdidas...	=	360	,, ,,
Total.....		3540	,, ,,

Hai, pues, una economía de 675 quintales españoles de alambre que disminuyen el precio de la obra a razon de 25 pesos por quintal, en el alambre mismo, en los gastos de construccion, imprevistos, anclaje i fletes, pudiendo entónces quedar reducido el valor del puente a 130,000 pesos.

En el proyecto de un puente en esta última forma hai que estudiar la ecuacion de la parábola para que la tanjente en la parte superior pase por la cima de la pilastra.

Segun la fórmula (g) el ángulo está dado por la ecuacion:

$$\tan j\ \alpha = \frac{2b}{a}$$

a es en este caso $\frac{1}{6}$ del claro.

Para que la parte central del cable pase a lo ménos a 1.50 mas arriba del tablero, hai que fijar el valor de la flecha por la fórmula siguiente supuesta la pilastra de una altura igual al décimo del puente:

$$b = \frac{C}{50} - 0.30$$

siendo C=largo del puente.

Para el puente de 150 metros se tiene $h=2.70$; tome anteriormente 2.60 para hacer mas fácil el cálculo.

III

Estas anotaciones las entrego a la consideracion de los colegas del Instituto para que sirvan de base a un estudio mas detenido de la cuestion.

Me llevan a esponer estas cuestiones los buenos resultados a que he llegado hasta ahora en la construccion de una canoa sobre el rio Mapocho para pasar 60 regadores de agua, o sea mas o ménos 1½ metro cúbico por segundo.

La figura adjunta justifica el que se haya pensado en dar al puente un solo tramo: los presupuestos para hacerlo ríjido subieron a 32,000 pesos, segun propuesta, miéntras tanto el gasto llegará al 40% de esa suma, teniendo la conviccion de que hecho de nuevo

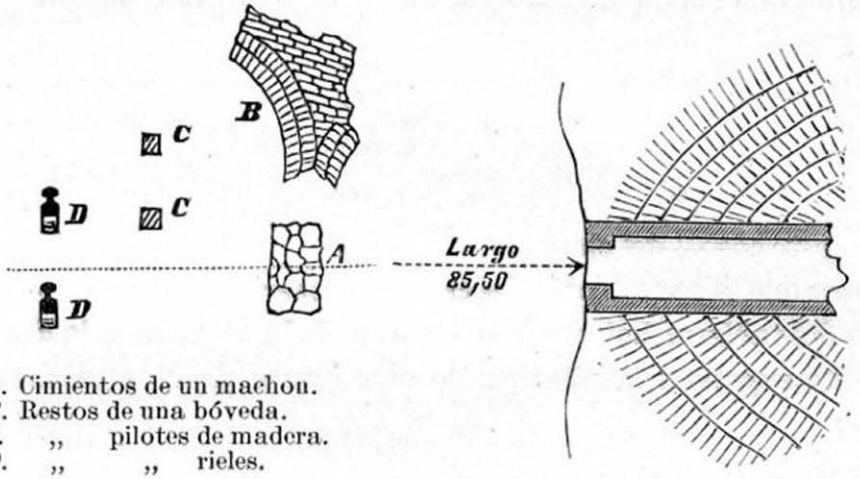

FIG. 6.—CRÓQUIS DE LOS RESTOS DE OBRAS EJECUTADAS PARA PASAR AGUA

podria efectuar algunas economías i correjir numerosos defectos que reconozco en la obra.

ENRIQUE VERGARA MONTT.