puentes...

Piedra sobre piedra,
en pesados arcos de poca luz,
salvan valles y ríos los puentes romanos que publicamos en un nuevo
capítulo de la «Historia del puente en España».

Ante ellos, y a modo de prólogo, publicamos otros puentes de hoy, construídos en menos tiempo, con menos peso y con mayores luces.

El puente de Mackinac, reciente obra de Steinman, salva 1.158 m de luz en su tramo central colgado, mientras que la longitud total del puente es de unos cinco kilómetros.

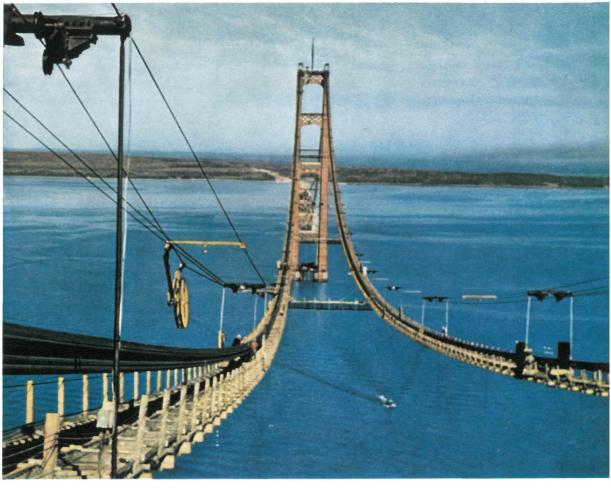
El puente Volta se resuelve con tablero colgado mediante péndolas verticales, de un gran arco, en triagulación metálica, que salva 256 m entre sus dos articulaciones de apoyo.

El puente de Saint Maurice es una audaz solución de hormigón pretensado, que salva 116 m de luz.

El puente de Troy, más que por su luz, de sólo 45 m,

ofrece interés por el sistema adoptado de pretensar sus vigas en celosía metálica, ya construídas, para reforzar su resistencia.

El progreso de la ciencia y de la técnica hace posible la creación de obras cada vez más sorprendentes, a las que es de desear una duración, al menos, como la de esos modestos arcos pétreos.



564 - 11

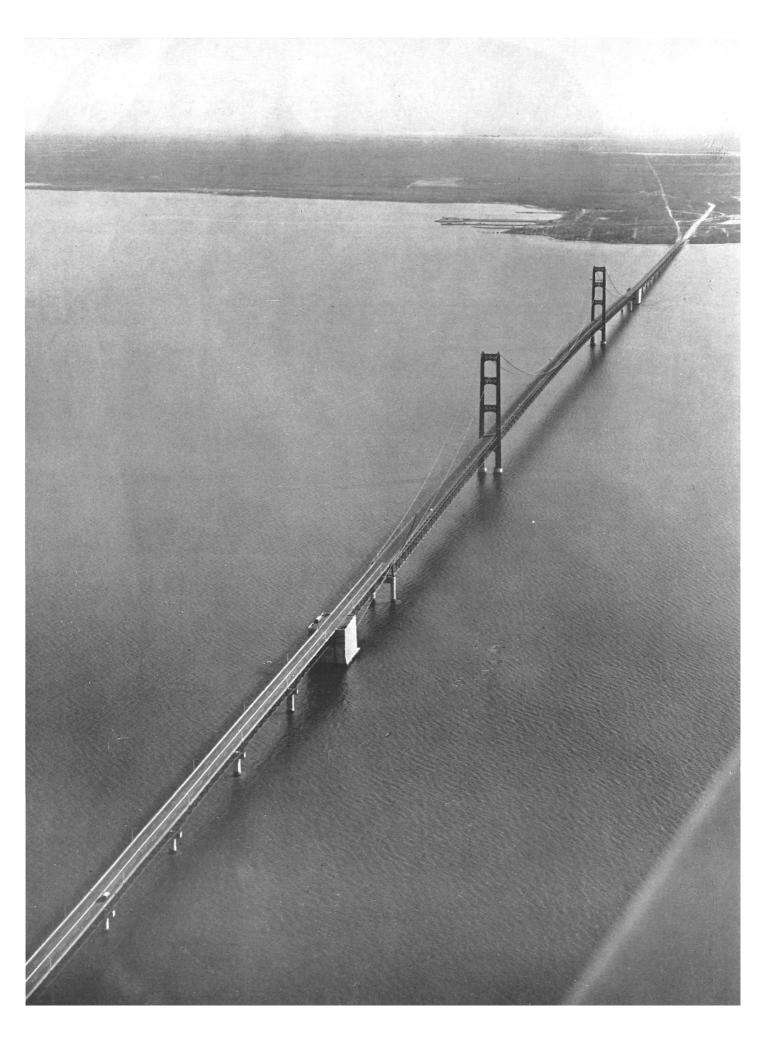
puente de Mackinac

DAVID B. STEINMAN

En el número 82 de nuestra revista se publicó un trabajo que se refería únicamente a la infraestructura de esta importante obra.

En esta segunda parte damos a conocer las características más sobresalientes de la propia superestructura, estabilidad, métodos constructivos empleados en el montaje y el procedimiento que se ha seguido para lograr colocar los cables, de 12.500 toneladas de peso total, sobre las dos torres del tramo central, de 1.158 m de luz, método que ha consistido en formar los cables, partiendo de las bobinas de alambre, en la propia obra.





Situación general y objeto del puente

El puente de Mackinac salva el estrecho del mismo nombre en la parte septentrional del Estado de Michigán (EE. UU.), donde la unión entre los lagos de Michigán y Hurón forman un relativamente angosto paso entre dos penínsulas: la de Mackinac al sur, y, enfrente, la de San Ignacio.

Antes de construir el puente, actualmente ya en servicio, el Antes de construir el puente, actualmente ya en servicio, el paso de una a otra parte del estrecho se efectuaba por medio de transbordadores que, aún siendo de gran capacidad, resultaban ser insuficientes para hacer frente a un voluminoso tráfico rodado, motivando grandes esperas y molestias consiguientes a los numerosos turistas y pescadores que los utilizaban casi continuamente. Esta fué la causa original que dió lugar al estudio y proyecto de realización de una estructura de paso superior, cuyo presupuesto fué de cien millones de dólares.

La distancia mínima que separa las dos penínsulas en que estriba el puente es de unos ocho kilómetros; y la profundidad de aguas en el canal navegable, de consideración. La gran profundidad creaba grandes dificultades para lograr un buen apoyo para los soportes. De este hecho nació la idea de las grandes luces en el tramo central, pues de operar así se aliviaba notablemente la construcción de cimientos y soportes.

Estabilidad de la estructura

Aunque la longitud total del puente sea de unos cinco kilómetros, el interés general de esta importante estructura se centra en su tramo central, de 1.158 m de luz, ya que los accesos están constituídos por un gran número de tramos de luces más modestas, y los dos tramos adyacentes al central, que van de los bloques de anclaje de cables a las torres, no tienen más que 144 m de luz. tienen más que 144 m de luz.

Dada la gran luz del tramo central, la solución general aceptada desde el primer momento fué la de suspender el tablero partiendo de dos potentes cables de los que partirían las péndolas de fijación del tablero en su debida posición.

El fenómeno ocurrido en el puente Tacoma, cuya descripción y estudio de causas ha sido descrito en un trabajo publicado en la Monografía núm. 83 de la colección del Instituto Técnico de la Construcción, advirtió al ingeniero encargado de la redacción de este proyecto, autor de este trabajo, los graves peligros que se derivan de un estudio incompleto de la estabilidad aerodinámica de una obra suspendida.

Entre un abuso excesivo de materiales para hacer frente a Entre un abuso excesivo de materiales para hacer frente a influencias no previstas o ignoradas y la concepción de una estructura capaz de resistir a un efecto determinado, existe una solución racional en la que se tiende a suprimir las disposiciones de elementos que pudieran ser fuente de efectos nocivos y peligrosos, en forma que, sin perder su trabajo funcional estructuralmente hablando, no permitan se puedan desarrollar dichos efectos, es decir, estudiar y suprimir las causas de preferencia a luchar con el propio fenómeno o efecto. Esta orientación ha servido al proyectista como base para encontrar una justa solución al delicado problema de la estabilidad aerodinámica en los puentes colgantes de gran luz.

El fenómeno de la inestabilidad aerodinámica no constituye un misterio, pudiendo estudiarse dentro de un análisis racio-nal y científico en toda su pureza. No todas las secciones trans-versales se comportan de una forma similar en el puente, por versales se comportan de una forma similar en el puente, por lo que hay que diferenciarlas respecto a su comportamiento en relación con las tres clases de potenciales oscilantes: vertical, torsional y combinado. Las características aerodinámicas de una estructura se pueden estudiar en un sencillo modelo reducido sin necesidad de llevar al túnel soplante grandes modelos y seguir el método de aproximaciones y correcciones

sucesivas de acuerdo con los resultados que se van obteniendo en los ensayos; operaciones, todas ellas, que requieren un gran período de tiempo.

El comportamiento aerodinámico de un puente de esta na-

El comportamiento aerodinámico de un puente de esta naturaleza se puede determinar analizando los gráficos del empuje ascensional y par de torsión de las diferentes secciones ensayadas en un túnel soplante pequeño. El gradiente de estas curvas es el dato que caracteriza el grado de estabilidad.

La sección ideal, desde el punto de vista aerodinámico, es la que corresponde a curvas de pendiente cero o nula. Esta pendiente en los gráficos de esfuerzos ascensionales y de torsión indica que estas fuerzas no existen y, por tanto, que no debe esperarse aparezcan las oscilaciones aerodinámicas.

La estabilidad aerodinámica de un puente se puede asegurar con "simples" modificaciones introducidas en las secciones ordinarias de puentes. Las modificaciones que han de introducirse en las secciones ordinarias de puentes han sido causa de una serie de trabajos publicados a partir de 1940, año en que ocurrió el fenómeno de resonancia en el puente Tacoma.

Las medidas tomadas para lograr una gran estabilidad aero-dinámica consisten, esencialmente, en dejar grandes espacios libres o huecos entre las dos grandes celosías laterales de rigi-dez. La zona más afectada en la provocación de esfuerzos difedez. La zona más afectada en la provocación de esfuerzos diferenciales ascensionales, y, por tanto, de torsión, tanto mayores cuanto mayor es la excentricidad, corresponde a la parte externa del tablero, por lo que en esta región se han dejado grandes huecos. De las cuatro bandas de circulación de la calzada, dos para cada dirección de la circulación, separadas por un andén central, las dos bandas exteriores corresponden a una pavimentación asfáltica continua, mientras que, en las dos centrales y en el andén entre ambas, el firme está constituído por una especie de rejilla que apenas si opone resistencia al paso del viento. Esta disposición permite un equilibrio de presiones entre las que afectan la parte superior e inferior del tablero, así como suprimir radicalmente el esfuerzo diferencial, la excentricidad y torsión, logrando, simple y sencillamente, lo que se ha dado en llamar estabilidad aerodinámica. Para que exista un esfuerzo de este tipo y su efecto, es necesario una superficie sobre la que la presión ejerza su influencia. Este es escuetamente el origen de la disposición adoptada. disposición adoptada.

Los gráficos de esfuerzos ascensionales se obtienen man-teniendo un modelo en el túnel soplante y anotando los esfuerzos ascensionales que corresponden a los diferentes án-gulos de ataque del viento en el túnel. Estos ángulos se logran gulos de ataque del viento en el tunel. Estos angulos se logran inclinando el modelo mantenido estáticamente en el túnel durante los ensayos. La pendiente de la curva obtenida en el diagrama de referencia representa el grado de aumento del esfuerzo ascensional según el ángulo de ataque. Al dibujar estos gráficos debe tenerse en cuenta que es el modelo el inclinado, y no el viento y, por tanto, se ha de introducir la correspondiente corrección por falta de conformidad.

La pendiente de la curva del gráfico tiene un sentido característicamente significante. Una pendiente negativa, caso de un aumento de ángulo de ataque y disminución de esfuerzo ascensional, representa un estado peligroso, "inestabilidad catastrófica" en las oscilaciones de sentido vertical. Una estructura sometida a esta alternativa, nos lleva a una oscilación acumulativa conducente a amplitudes ruinosas en el plano vertical. Este tipo de curva sólo ha aparecido en un puente moderno, pero se tomaron las correspondientes medidas de seguridad para restablecer la estabilidad aerodinámica apropiada. apropiada.

Una pendiente positiva en el gráfico de empujes ascensionales identifica las secciones "estables", así llamadas para distinguirlas de las denominadas "catastróficamente inestables". Esta distinción es clara en el caso de secciones geométricas de forma lenticular, en las que la profundidad excede a la altura. Sin embargo, en las secciones transversales de los puentes, una sección "estable", es decir, una de pendiente positiva en el gráfico de empujes ascensionales, se halla influenciada por oscilaciones aerodinámicas limitadas dentro de cierto campo crítico de la velocidad del viento. Estas oscilaciones aerodinámicas aparecen, corrientemente, con bajas velocidades del viento. Aunque no son "catastróficas", estas oscilaciones que dan lugar las bajas velocidades

Foto: H. D. ELLIS.

son alarmantes por acortar la vida de la estructura debido a la fatiga de materiales. A este tipo de oscilaciones, comúnmente conocidas con el nombre de "galopantes", pertenecen las que se desarrollaron en el, desde sus primeros momentos mal predestinado, puente de Tacoma (1940), durante los primeros cuatro meses de su vida.

En los dos casos—la inestabilidad catastrófica correspondiente a una pendiente negativa en el gráfico de empujes ascensionales y la estabilidad limitada que caratteriza a una pendiente positiva en el referido gráfico—, el grado de inestabilidad es proporcional a la pendiente de la curva del gráfico de empujes; y como esta relación es aplicable a todos los gráficos, aun con pendientes positivas o negativas, la conclusión se presenta claramente: la sección ideal de un puente es aquella cuya pendiente es nula en el gráfico correspondiente de empujes ascensionales.

La pendiente obtenida en la curva del gráfico correspondiente a los empujes en el puente Mackinac es +0,03, es decir, virtualmente nula. Este grado de perfección no ha sido alcanzado ni aproximadamente hasta la actualidad en otras estructuras de este género. Comparando grados de estabilidad, la del puente Mackinac es unas 350 veces más que la del Golden Gate, tanto en lo que respecta a la oscilación vertical como a la llamada galopante.

En la hipótesis de que la nieve o hielo llegara a cerrar la parte hueca del reticulado de la zona central de la calzada, la estabilidad relativa respecto al Golden Gate sería unas 5½ veces mayor, y, además, el estado que crearía dicha obstrucción por nieve o hielo mejoraría las condiciones de amortiguamiento de oscilaciones, acción esta última que contrarrestaría, por lo menos parcialmente, el aumento de pendiente en el gráfico debido al taponamiento de la rejilla del tablerón en la zona central.

Los ensayos realizados últimamente en el túnel soplante con grandes modelos han confirmado la gran estabilidad del puente Mackinac desde el punto de vista aerodinámico, tanto dentro de un estado oscilante vertical con velocidades variables del viento como bajo todos los ángulos de ataque de éste.

Similarmente al fenómeno de la oscilación en el plano vertical, el par de torsión se caracteriza también por la pendiente de la curva correspondiente a estos momentos. Si la pendiente es nula, el estado de estabilidad aerodinámica es ideal, pues se hallan eliminadas todas las fuerzas y momentos que pudieron inducir a una ampliación de oscilaciones que aumentarían progresivamente el par de torsión, o, como se diría más gráficamente, "retorcer" la estructura.

El incremento logarítmico o coeficiente de ampliación de la inestabilidad debida a la torsión resulta ser proporcional a la pendiente de los gráficos del par estático de torsión. El análisis matemático completo utiliza, además, un gráfico suplementario del par estático de torsión, obtenido partiendo de un modelo curvo de la sección transversal sometida a ensayo.

Además del valor de la magnitud de la pendiente, su dirección tiene un significado crítico. Si esta dirección es negativa, es decir, hacia abajo, el gráfico correspondiente a un estado de inestabilidad torsional catastrófica. Este es el tipo peligroso de inestabilidad que se puso de manifiesto en las oscilaciones que fueron la causa de la destrucción del puente de Tacoma el 7 de noviembre de 1940.

Si la pendiente es positiva en el gráfico correspondiente, nos hallamos ante un caso de estabilidad de la sección sometida a torsión, esto no obstante, sometida a un cierto grado de oscilaciones que no se pueden calificar de catastróficas, y su amplitud se halla limitada de unos centímetros hasta un metro, aproximadamente, presentándose con velocidades bajas del viento. Aun tratándose de oscilaciones limitadas son molestas y alarmantes, porque debilitan la estructura por efecto de fatiga.

De cuanto llevamos dicho referente a los efectos de torsión por causas de oscilaciones, se deduce que la sección ideal es aquella que tiene pendiente nula en el gráfico de momentos de torsión, criterio este que corre un paralelismo con las conclusiones a que se ha llegado al tratar de los gráficos de esfuerzos ascensionales.

Si tanto en el gráfico de empujes ascensionales como en el de momentos de torsión la dirección de la pendiente es positiva, la sección se hace vulnerable por el efecto combinado de las oscilaciones que pudieran sincronizarse vertical y torsionalmente. Así, pues, gráficos con pendiente nula en ambos casos o ligera pendiente positiva en el gráfico de esfuerzos ascensionales y una pequeña pendiente negative en el gráfico de momentos de torsión constituyen soluciones ideales para las secciones de puentes suspendidos, ya que, de lograr tal empeño, se suprime la inestabilidad vertical, torsional y combinada.

Canto o altura de las jácenas o celosías de rigidez

La ignorancia en que se pudiera incurrir al proyectar un puente en el que entra en juego la estabilidad aerodinámica, o los defectos observados a este respecto en una obra ya existente, pueden corregirse con la cruda y extravagante idea de aumentar exageradamente el canto o altura de las celosías o jácenas de rigidez.

En un manual de ingeniería se pretende poder proyectar un puente colgante con un canto de 1/40 a 1/60 de la luz dentro de un campo de suficiente garantía contra la posibilidad del desarrollo de oscilaciones "galopantes". El principio es técnicamente correcto, pero supone el sacrificio de una buena parte de materiales para cubrir los riesgos en que la ignorancia pudiera incurrir. Salvo en las pequeñas luces, el procedimiento daría torpes, pesadas y extravagantes estructuras.

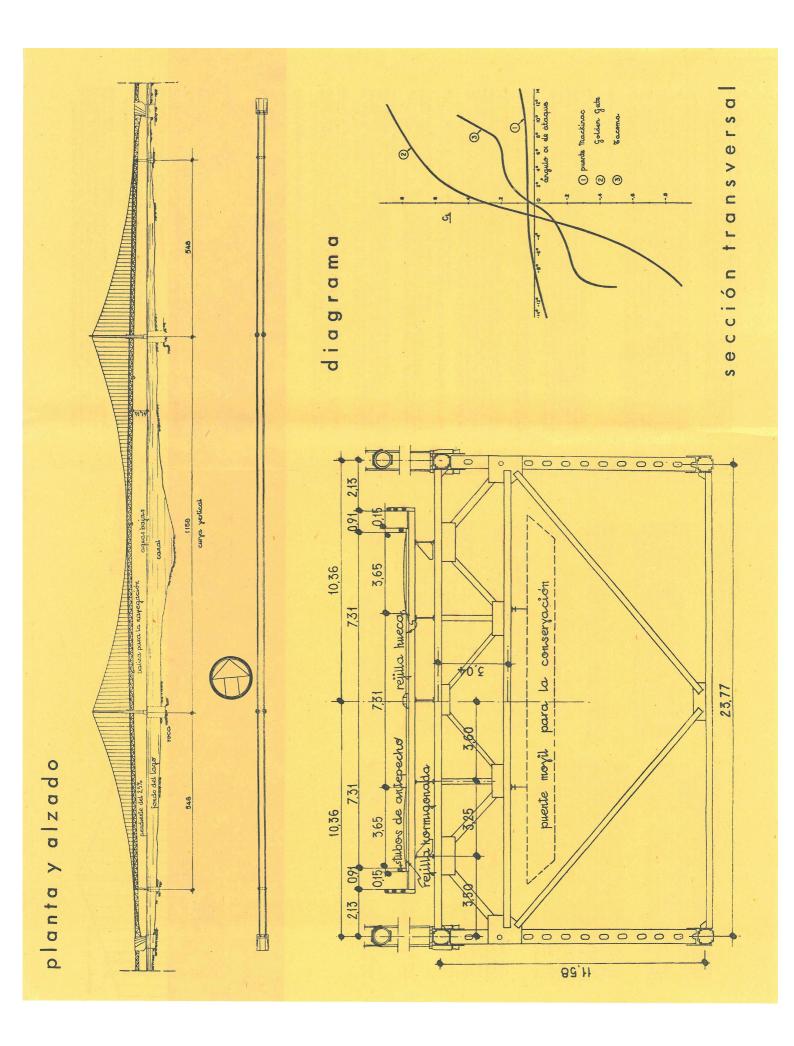
Con esta finalidad se ha obtenido un sistema de cálculo en el que la fórmula final dé la altura apropiada de las jácenas de rigidez para varias luces, y se añade una cláusula de salvedad que dice: "a menos que la estabilidad pueda asegurarse de otra forma".

La utilización de esta fórmula en una luz de 1.158 m, que es la del tramo central de este puente, correspondería un canto de 14 m para las celosías de rigidez, es decir, 1/82 en números redondos de la luz. Pero aún así, una altura de 14 m para las jácenas resultaría extravagante y una pérdida inútil de materiales. La altura finalmente adoptada, bastante conservadora, es de 11,50 m, que corresponde a 1/100 de la luz. Teniendo en cuenta la gran estabilidad aerodinámica conseguida con la disposición apropiada de elementos estructurales y tablero, de haberse adoptado un canto menor, la estructura habría permanecido dentro de los límites de seguridad admisibles. El ingeniero Glenn B. Woodruff, asociado en la redacción del proyecto al autor, dijo que, debido a la seguridad aerodinámica lograda, él se hubiera conformado satisfactoriamente con sólo un canto de 3,70 metros.

La reducción racional de la altura de las vigas de rigidez en una luz de esta importancia como la del tramo central del puente Mackinac tiene gran importancia económicamente. De haberse disminuído la altura como aconseja la gran estabilidad aerodinámica, las eccnomías podían haberse elevado a unos millones de dólares, pero por un lado el criticismo y por otro la falta de interpretación del fenómeno de estabilidad aerodinámica, y el tener que conformar al propietario del puente, público en general y compañías de seguros, han exigido al autor del proyecto presentar una disposición estructural ultraconservadora para que fuera aceptada la realización de la obra.

Con la introducción de dos planos de arriostramiento, uno a la altura de la cabeza superior de las celosías de rigidez y el otro en la inferior, arriostramiento que se extiende en toda la longitud del tramo central, se ha conseguido una sección hueca rectangular que asegura una gran rigidez a la torsión de la estructura y, a su vez, un aumento de la capacidad de amortiguamiento en torsión.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas Licencia Creative Commons 3.0 España (CC-by)



Teniendo en cuenta la racionalidad del análisis científico introducido en el proyecto de la sección transversal del puente con objeto de eliminar la menor traza de inesta-bilidad, la gran resistencia a la torsión adquirida con el sistema de dos planos de arriotstramiento es innecesaria dentro de una estricta realidad, sin embargo, así se dispuso para dar una gran seguridad al gran público, pero para el autor del proyecto supuso una concessón addicional.

Como una consecuencia inmediata a este gran aumento de rigidez en torsión, debido a la presencia de la enfostencia. Se arrioteramiento, la relación estoludada para las freuencias, es decir, el cociente de la frecuencia armónica teórica en torsión a la correspondiente en las socilaciones verticales, excedió de 35: valor favorable que no tiene precedente. He aquí una nueva causa adicional a la seguridad general y contra la posibilidad de acciones oscilantes combinadas.

Antes de iniciar la realización del proyecto, y con objeto de lograr la imparcialidad en el juicio del comportamiento de la estructura, se encargó el ensayo de un modelo y estudio de resultacios al profesor Farquiharzon. El modelo utilizado en el ensayo fue construíto a escala 1/50, de mos 1,50 m de longitud, y ensayado en un tunel de 3,60 m de longitud y 1,20 m de altura.

Los resultados de los ensayos fueron francamente buenos en todos los sentidos, dominando la comprobación de una gran seguridad respecto a un magnifico comportamiento desde el punto de vista aerodinámico.

Las velocidades del viento en las proximidades del lugar de emplazamiento del tutnel son del orden de 125 km por hora, i las velocidades críticas para las tres modalidades características de las condulaciones resultaron ser de más de 1.000 km por hora, cosa que prácticamente no es previsible que courre.

Características más importantes del puente

El puente está constituído por dos palizadas de acceso propiamente dicho y 33 tramos, de los que el central, en el que se concentra la mayor importancia, idene 1.185 m de luz. Este tramo y los dos adyacentes, de 550 m de luz cada uno, son colgantes. Los dos cables principales, constituídos por mútiples cordones, tienen un diametro de 0,61 m y un peso todal de 12.500 toneladas.

Las dos celosías o vigas de rigidez se hallan espaciadas a 20,70 m; su canto es de 11,60 m; ventre ellas se han colocado las vigas transversales, también constituyendo celosía, que se encargan de soportar el tablero por el intermedio de otras vigas de alma llena que se extienden longitudinalmente. La suspensión del tablero se ha conseguido con 368 pendolas de cable de 50 mm de diámetro, que se han espaciado a unos 10 m; aproximadamente.

Los anclajes de estos enormes cables están constituídos por dos enormes bioques de hormigón, de unos 40 m de longitud, 2/70 m de anchura, que se apoyan sobre una base o cimiento sólidos y de especial preparación. Las dos grandes torres que soportan los cables sobresalen 168 m de altura respecto al agua.

Estas terres descienden hasta una profundidad de 60 m, y han permitido dejar una altura libre de 47 m para la navegación en el lago.

El tablero tiene dos andenes laterales, de 0,80 m cada uno, y uno central, de 0,60 m, que separa las dos direcciones de circulación, cada una de las cuales cuenta con dos bandas de 3,60 m cada una. Las bandas exteriores, terminadas con un revestimiento asfáltico, constituyen una superficie continua, mientras que las clos centrales y el andén que las separa se han construido con un enregiliado metálico, el cual deja pasar el viento de acuerdo con las condiciones previstas para conseguir la mayor estabilidad aerodinámica posible.

Las dos bandas exteriores de circulación se han formado rellenando el enrejillado con un hormigon ligero y recubriéndolo después con una capa asfáltica de unos 3,5 m de espesor.

Complementa esta parte de elementos netamente estructurales, toda una serie de instalaciones y servicios para lograr una explotación regular, segura y moderna de la obra. De todas estas instalaciones y servicios de luminatación, señales, comunicación, etc., merce especial mención los ascensores o montacargas, instalados en el interior de las torres que soportan los enormes cables base del sistema de suspensión, cables que se han revestido con alambre galvanizado para asegurar su buen estado de conservación y evitar la oxidación.

Métodos constructivos

No se puede pretender en este corto trabajo dar detallada cuenta de las múltiples y complicates operaciones que han sido necesarias proyectar y estudiar para cada tipo particular de montaje, ya que, aim dentro de métodos generales, cada una de estas operaciones ha constituido, por s sola, una particularidad estrupuiosa y minuciosamente estudiada. Una obra de estas importancia tiene tan intimamente ligada sus mente estudiada. Una obra de estas importancia tiene tan intimamente ligada sus capas que incluio las fases parciales de menor importancia aparente se una variable tan poderosa que puede influir, no solo en la duración del período constructivo, sino especie de montadores ascribatas, cuyos primeros pasos están erizados de peligros personales a propios y extraños.

Terminadas las torres y bloques de anclaje de los cables principales, se procedió al montaje de la pazareta de servicio que debía servir para la circulación del personal y de la plataforma de apoyo para formar des cables principales, montaje de pendolas y operaciones de elevación y filación en posición de los distintos trozos de celosias de que están constituídas las dos vigas paralelas de rigides.

tiansports de la calost 1157 of thange central Protos de celobia polition pola el al tramps advancente al contral torno elegados tambokes 2000 548 pelea deyanadeta Cambbe muchto de andale MAN SETTER S. A.M. able sin fin, cable yirds motel tetra de tegulación e contrapolso. bobina de alambila

eleyación

Para todas las operaciones se disponía de tornos, aparejos y poleas de toda clase en los anclajes, pie y parte superior de las dos torres del tramo principal.

Los primeros diez cables, de 50 mm de diámetro, que constituyen el apoyo de la passareal, cinco para cada uno de ellos, se tendieron ayudándose de pontones y aparejos instaladose en la parte superior de las torres. Sobre los cinco cables de cada passarela se colocó una fela metálica, reforzada transversalmente, espaciados a unos 3 m con unos travesaños de madera, en los que se apoyaban los montantes de la barandilla de seguridad. Esta passarela se estabilizó con una serie de vientos anclados en las torres.

Las catenarias formadas por los cables de estas pasacias debian presentar la misma cura y posición que la que correspondia a los cables principales, constituidos de 15.500 alaminese galvanizados de 5 m de dismetro formando 37 torones de 340 alambres cada umo. Aunque el procedimiento no es nuevo, presenta esecial interés el procedimiento empleado para montar ferminar estos enormes cables. El método seguido consistió en instalar un potente sistema mecánico para devanar y formar el cable por partes sucesivas en la propia obra y en su posición definitiva.

Esta operación se realizó devanando bobinas de alamber preparadas en los anciales, valiéndese de poleas móviles que tiraban de cuatro cables o dos lazos en su recorrido de ancida e ancida y suspendidas de una línea aérea, especie de tranvía que, al pasar, dejaba dos cables o alambres. Para regular la tensión se ma talacon forres de equilibrio o contrapeso en cada uno de los anciales.

Para llegar a la tensión correcta de los alambres se procedía, durante la noche, para regularizar y evitar los posibec cambios de temperatura, al ajuste de los alambres colocados.

Estas operaciones se lograron con gran precisión sirviendose de plantillas y aparatos topográficos puestos en estación en los lugares clave.

Una vez formados los torones y empaquetado el cable propiamente dicho, se procedió a revestirlo con alambre galvanizado de 4 mm de diámetro. Para montar las péndolas se utilizaron tornos instalados en las torres y poteas quisa que se laba colocando en cada lugar correspondiente a la filación de las distritas pendolas. Estos cables, convenientemente preparados, se llevaban en gabarras, de donde un cabo pendido de una polea quia, tiraba de ellos, los elevaba y los aproximaba a la sila previamente preparado en el cable principal, pasando por ella y descendiendo la extremidad hasta la altura debida para suspender las vigas de rigides.

Para el montaje de estas celosías de rigidez, llevadas a la obra mediante pontones y por trazos de peso previsto, se utilizó un aparejo especial de elevación. Este dispositivo consiste en una especie de dos puentes móviles, que corren a lo largo de los cables, apoyandose sobre cuatro ruedas o cilindros cuyas generatrices tienna la curvatura del cable. De cada par de ruedas o cilindros parten los lazos o cables dobles que han de servir para elevar el trozo correspondente de viga que se quire mondar por una parte, y un cable tractor que, por medio de polcas guías, se le lleva al torno que ha de inar en el momento de elevar el trozo de viga que

Montadas las celosías de rigidez, se procedió al montaje del tablero, andenes y antepecho. Con objeto de facilitar estas operaciones de montaje se procedió particular ancida y tro on dirección a la parte central del tramo principal. Esto permitió que las grúas móviles pudieran intervenir en el montaje continuadamente a medida que el tablero lha avanzando en su montaje. Esta importantisima obra, ya en servicio, perdurará bilidad acrodinántica lograda.