Para " Los Principios "

EL PUENTE COLGANTE DE CRUZ DEL EJE

Una coincidencia, que no calificaré de feliz, ha querido que me enterase del desgraciado accidente de Cruz del Eje, precisamente durante mi estada en Versailles, donde asistia a cursos de especialización en la Escuela Politécnica.

Ahora bien, esta Escuela es la cuna científica donde se ha formado el Coronel Gisclard, inventor del sistema de puente que lleva su nombre y que, como bien lo saben en Córdoba, es el sistema al cual pertenece la accidentada construcción de Cruz del Eje.

Tambien en aquella Escuela adquirió su bagage técnico el Ingeniero Vidal Naquet , que fué quien indujo a la Dirección General de Vialidad de la Provincia a adoptar dicho modelo de puente para la mencionada obra pública y según tengo entendido, fué dicho técnico quien hizo el primer proyecto de la obra é inició su construcción como contratista.

Nada más lógico por lo tanto, que yo aprovechara la oportunidad para investigar en ese ambiente técnico, tan estrechamente ligado al sistema de puente en discusión, tanto más cuanto que entre mis camaradas de curso había algunos que conocen a fondo el asunto por haber intervenido personalmente (tanto durante la guerra, como después, durante el periodo de reconstrucción urgente) en la construcción de puentes Gisclard. Debe tenerse en cuenta que este sistema de puente es reglamentario en el Ejército Francés y se lo ha empleado ampliamente en aquellos dos periodos.

Las opiniones recogidas no han sido divergentes y por otro lado, ellos no han hecho sino afirmar la opinión que me habia formado desde el primer momento.

Hasta la fecha he estado esperando el informe técnico del perito designado, pero este no ha llegado aún a mi conocimiento. Talvez el número respectivo de "Los Principios", no llegó a mi poder o aquel no ha sido todavía publicado.

No dejo pasar más tiempo sin escribir algunas observaciones que me han sido sugeridas por el accidente en cuestión, pues no deseo llegar fuera de oportunidad. Tengo la esperanza de que estas observaciones sean de algún interés para los colegas.

Aparte de la documentación recogida en Versailles tambien me he documentado y ello sin suponer acontecería lo de Cruz del Eje, asistiendo al montaje del monumental puente Gisclard , aún no completamente terminado, sobre el Sena, no lejos de Paris, en Vitry sur Seine.

Esta obra es posiblemente la más importante, dentro del sistema, construida hasta la fecha.

En estas lineas evitaré citar nombres y opiniones personales. Solamente encararé el asunto en su caracter general y con el solo deseo de ser útil.

Para mayor claridad trataré la cuestión por puntos y en forma breve.

<u>El problema del montaje</u> .

Desde que yo era niño he escuchado las protestas de los profesionales argentinos por el desaire que en forma repetida y sistemática se hacia a la ciencia nacional con la importación de especialistas extrangeros ,que al fin de cuentas venían solamente a demos-

trar la falsedad del prejuicio de la incapacidad criolla.Han pasado ya muchos lustros, desde mis primeros recuerdos y siempre podemos seguir comprobando que son los mismos profesionales criollos los que se encargan de mantener esa desgraciada tradición,inducidos sin duda por una falta de confianza en la propia capacidad. No me cabe duda de que en muchos casos es necesario recurrir a la experiencia de los demás, pero eso es la excepción para aquellos asuntos que uno mismo no conoce y sobre los cuales no puede documentarse suficientemente. De aqui a establecerlo como regla ,hay una distancia muy grande,pues la excepción debe justificar la regla y no convertirse en ella.

Los americanos del Norte nos pueden servir de ejemplo,en esto de tenerse fé; ellos no recurren al extranjero sino después de haber agotado todas sus propias posibilidades.

En el caso del Gisclard de Cruz del Eje,la cosa es notable y debe servir de lección. Todos los accidentes de la vida sirven de experiencia y el de Cruz del Eje dejará alguna; la cuestión será que sepamos aprovecharla.

Es absolutamente falso que el montaje de este sistema de puente exija un especialista de gran experiencia . Cualquiera de los Ingenieros de la Dirección General de Vialidad de Córdoba, es capaz de efectuar tal reglage. Todo consiste en poner los cables igualmente tensos, que es precisamente lo que no se ha efectuado en Cruz del Eje ,a juzgar por lo que dicen los distintos informes plublicados por la prensa.

Mucha hilaridad ha causado entre los técnicos de Versailles la opinión de que el reglage de los distintos cables del puente debe hacerse "al diapasón", ó sea haciéndolos vibrar a golpes de martillo para comprobar asi su tensión conveniente. Esta novedad yo se la trasmiti para hacerles ver como a veces los técnicos europeos se aprovechan de la candidez criolla y ellos encontraron muy justificado este aprovechamiento , siempre que se lo pague bien. Una vez más, habrá que repetir aqui que la culpa no la tiene el que engorda, sino el que le da de comer ..... en exceso.

Los señores que quieran asegurarse más en la cuestión no tienen más que leer los artículos publicados en la "Revue du Génie Militaire" sobre la construcción de puentes Gisclard en Francia (en los números del año 1925 encontrarán datos muy concretos).

Los Batallones de Pontoneros franceses han construido puentes Gisclard, sin tener ningun especialista a disposición y esto es hecho resaltar en aquellas publicaciones.

Por otro lado, es lógico admitir que, si dicho reglage fuera tan delicado , ello constituiría un defecto del sistema, que no habrian dejado pasar en silencio los autores que se han ocupado del mismo en sus obras. Pues bien, en ningún tratado de puentes he encontrado crítica alguna al respecto.

A mediados del año 1925,habiendo tenido conocimiento de que se construiría el Gisclard de Cruz del Eje , yo inicié en la Dirección de Vialidad algunas gestiones para ver si era posible que mi Batallón efectuara la construcción de los tramos, o por lo menos, la colocación de los cables y su reglage. Ello no pudo hacerse debido a la no coincidencia de fechas con relación a nuestro tiempo disponible. Pero en principio, los distinguidos técnicos que dirigen dicha repartición pública, aceptaban nuestra desinteresada cooperación y yo había quedado con la impresión de que ellos admitian la opinión de que no se necesita " un virtuoso " para templar el instrumento.

Indudablemente que un profano en la materia no sería capaz de efectuar el reglage de los cables en forma conveniente. Pero vuelvo a repetir que cualquier técnico que conozca técnicamente este sistema de puentes y sepa lo que es estirar un cable de acero, será capaz de dirigir la construcción de un Gisclard.

La tensión de los cables .

"Estirar un cable" de acero hasta darle una tensión igual a la de otro cable vecino es una cuestión fácil y de simple tanteo. "Estirar igualmente dos ó más cables apareados" es una cuestión de ojo, pues basta ponerlos a todos ellos paralelos o sea que formen líneas iguales. "Estirar un cable hasta darle una tensión determinada" con relación a la sección (de tantos kilógramos por milímetro cuadrado) es una operación que solamente puede hacerse valiéndose de aparatos especiales ; ó calculando la forma de la curva correspondiente y obligándolo después a tomarla.

Todo el mundo sabe que un cable sujetado por sus dos extremos y suspendido libremente , toma la forma de una curva que se llama catenaria (cadena suspendida). Si se estira el cable ,no por ello dejará de formar dicha curva , a menos de que no fuera muy largo y se lo ponga como cuerda de guitarra.Por cálculos sencillos puede determinarse la forma que tomará la curva, teniendo en cuenta el diámetro del cable, su longitud libre y la tensión que se le quiera dar; conocida así la flecha de la curva , se gradua la tensión del cable obligándolo a tomar dicha flecha mediante los dispositivos de reglage que cada cable lleva en sus extremos. Esta operación se impone en las largas tiradas (largos trozos de cable suspendido) donde la flecha es muy apreciable; por ejemplo en el Gisclard de Vitry sur-Seine,los cables principales que son sumamente robustos (más de 60 mm.de diámetro) tienen una longitud libre superior a 50 mts. y forman curva apreciable al ojo, a pesar del enorme peso de la calzada que soportan. Me imagino ver al buen hombre especialista en reglage martillo en mano, trepado allá arriba como un mono y parando la oreja para escuchar las vibraciones de estos pesados cables que aparentemente están flojos, mirándolos desde la punta. Tenían razón los técnicos de Versailles al tomar la cosa a risa y al admitir que tal "virtuoso" debe ser bien pagado.

He dicho anteriormente que no es cosa dificil dar a disintos cables una "tensión semejante", cuestión de tanteo y de ojo, para la cual no se necesita gran especialización. El secreto del reglage de un Gisclard está en dar a los cables una "tensión semejante"; no es necesario que esta tensión sea idéntica en todos los cables, ni que ella sea justamente de una intensidad dada; la cosa es que cada cable se aproxime lo más posible a la linea recta sin exagerar la tensión inicial de reglage .

Invito a mis colegas de Córdoba a pensar en lo que sucedería con el sistema colocándolo a distintas tensiones; claro está que siempre a cable tendido y casi recto. Mientras todos los cables trabajen el sistema será siempre estable; conseguir que todos estén igualmente tensos (casi rectos) , bajo una carga uniformemente repartida sobre el puente es una cuestión relativamente fácil y en ello consiste el reglage del sistema de suspensión y anclaje.

Quien haya efectuado ensayos de cable, ya sea en las máquinas de los gabinetes de ensayo de materiales, o al natural en el terreno, suspendiendo los cables entre dos pilones y cargándoles pesos, se habrá dado inmediatamente cuenta de la gran eslatiscidad que ellos tienen ,o sea de la forma como los cables se estiran antes de romperse.

El limite de elasticidad de un cable de acero es muy elevado con relación a su resistencia total. La ley de la proporcionalidad de las deformaciones con los esfuerzos soportados es aplicable casi

hasta la ruptura del cable.

Yo personalmente tengo la impresión de que estos preciosos elementos de construcción son como de goma , dentro de su correspondiente alargamiento.

Insistiré sobre esta interesante caracteristica,porque ella debe ser tenida muy en cuenta para rebatir algunas de las opiniones publicadas sobre el accidente de Cruz del Eje.

La necesidad me ha obligado a ensayar en Europa varios centenares de cables de acero. En los gabinetes de ensayo de materiales de las "Cableries d'Angers" y "Câbleries de la Seine" en Francia , "Cableries de Renory" en Bélgica y por último en los Institutos oficiales siguientes : "Ecole des Arts & Métiers"de Paris , "Association des Industriels de Belgique" en Bruselas y Facultad de Ingenieria en Milan, he pasado pacientemente muchos dias ensayando hilo por hilo y cable por cable, verificando las características impuestas. De más está decir que en estas operaciones no he estado solo, a mi lado he tenido conocidos especialistas y directores de fábricas de cables ; la opinión de estas gentes especializadas ilustra indudablemente. De todo ello me queda la impresión que más arriba he mencionado, sobre la elasticidad de los cables.

No era necesario sin embargo, venir aqui para llegaraa tal conclusión.

En el año 1922 siendo Jefe del III de Zapadores en Paraná se me ocurrió construir un puente colgante y cargarlo hasta la ruptura. Disponía de cables de 20 mm de diámetro y con ellos construí un puente de 40 m.de luz sobre una hondonada poco profunda; 2.oo m. habia entre el nivel del tablero y el terreno. Se cayó el puente, los cables se pusieron como cuerda de guitarra, aqui si que se hubiera podido hacer el "diapasón". Se siguió cargando y los cables se siguieron estirando hasta que el tablero tocó el fondo de la hondonada. Descargado el puente, el tablero volvió a su posición primitiva; habiéndose ahondado a pala el terreno debajo del puente (3 m. de desnivel en total) Se repitió la operación con idéntico resultado. Me dió pena cortar tan soberbios cables y no repetir la operación con un mayor desnivel.

En el espiritu de todo técnico debe estar bien grabada la impresión de los"materiales nobles" ó sea de aquellos que se deforman ampliamente antes de romperse y que en esta forma ponen de manifiesto su fatiga.

Los cables modernos de acero ocupan entre aquellos, unos de los primeros puestos de la lista.

Aprovecharé de pasada para dar algunos datos.Actualmente se fabrican en Europa los cables de acero con hilos de muy alta resistencia y la tendencia es de utilizar acero al crisol de más de 150 kg/mm2., existiendo cables cuyos hilos dan más de 200 kg/mm2 (kilogramos por milímetro cuadrado). Naturalmente que tales aceros son duros o sea de alargamiento reducido, pero en ningún caso éste es inferior al 10 por ciento.

En lo que se refiere a dureza de aceros se está en vías de revolucionar la industria. La Casa Krupp de Alemania fabrica chapas y perfilados de acero cromo niquel de 80 kilógramos por milimetro cuadrado, como resistencia y el 50 por ciento como alargamiento de ruptura !! (cincuenta por ciento!).

Supongamos que los cables del Gisclard de Cruz del Eje,están construidos con acero del 10% de alargamiento (con seguridad son aún más elásticos).La longitud de los cables de retención es aproximadamente de 20 m. y su alargamiento a la ruptura es entonces superior a 2 m. Hasta este limite , el estiramiento de estos cables será proporcional al esfuerzo que soportan.

El coeficiente de seguridad admitido en aquella construcción debe ser aproximadamente 5 , para la sobrecarga máxima a suponer sobre la calzada.

La caida del puente sobrevino durante la construcción de la calzada ó sea sin sobrecarga alguna.

El peso muerto de la calzada, para esta obra debe ser más ó menos igual al de la sobrecarga máxima. De manera que en el momento del accidente el coeficiente de seguridad era aproximadamente de 10, ó sea que la carga soportada en la construcción era la décima parte de la que podría determinar la destrucción de la obra (! Es colosal lo que ha sucedido!).

Admito que el reglage haya sido tan mal efectuado que solamente un cable de retención por anclaje haya estado en trabajo, que es lo que se admite en todos los informes que he leido sobre el accidente para explicar la forma como este se ha producido.

En cada anclaje hay seis cables,de los cuales según dichos informes uno solo soportaba todo el peso correspondiente a la calzada en construcción, ó sea de una carga equivalente al décimo de la que debería motivar la ruptura de los 6 cables simultaneamente, si ellos estuvieran igualmente tensos. Esto quiere decir que tal cable ,(así "carnereado" por sus camaradas) soportaba una carga equivalente a 6 décimos de su carga de ruptura.

Veamos lo que le sucedería a este cable, si ello fuera cierto: el cable es elástico, ó sea que su estiramiento es proporcional al esfuerzo que soporta. Por lo tanto, " para tal carga " dicho estiramiento debe ser aproximadamentedel 6 por ciento de su longitud ,ó sea de más ó menos 1,20 mts. De manera que si la diferencia de longitud entre este cable más estirado y el que le seguía en "estiramiento" hubiera sido solamente de 1.oo mts. ya hubiera intervenido este otro en el trabajo algunos dias antes de la caida del puente (supongo que se han empleado varios dias en construir la calzada) .

Ahora bien ,imagínense los colegas y los profanos ,una deficiencia de reglage tal que entre cables de 20.oo mts.de longitud, existen diferencias de 1.oo mts!!!.

Todo esto lo digo por chiste. En realidad los cables de retención se cortan exactamente de igual longitud y la única diferencia que podía haber entre los 6 cables de cada retención era con seguridad inferior a 1 cm. ó sea la centésima parte de la indicada y por lo tanto bastabauuna carga igual a la centésima parte del peso de la calzada para que todos los cables de retencióneentraran en trabajo; esto ha debido suceder desde que empezaron a armar los encofrados para hormigonar la calzada. Como se ve no son tan "carneros" los cables como se los quiere suponer. Vuelvo a insistir sobre su "nobleza" .

La "ruptura sucesiva" de las retenciones por "deficiencia de reglage" es inaceptable y presuponer la absoluta rigidez ó falta de elasticidad de los cables. Si ello fuera posible no se construirían más "puentes colgantes" .

La explicación del accidente hay que buscarla en otra parte.Es muy significativo que se hayan podido encontrar trozos de los blocks de fijación de los cables, con grandes huecos ó sopladuras .

Sobre este asunto me es difícil opinar a la distancia. Necesitaría conocer primeramente el plano de detalle de dichos blocks y luego la calidad de la fundición con que fueron construidos.

Toda la investigación debió ser llevada exclusivamente a esas dos causas. De alli hubiera surgido la responsabilidad legal correspondiente porque no le quepa duda a nadie que existe responsabilidad para alguien ,por las vidas alli perdidas.

Los blocks de fijación de los cables.

La forma de estos elementos debe ser tal que la materia de que ellos estan constituidos ,soporte solamente un esfuerzo de compresión. Si la separación entre el eje del cable y el eje de los bulones de reglage es demasiado grande con relación al diámetro del núcleo del block, entonces se produce un esfuerzo secundario ~~de corte~~ sumamente peligroso y dicho esfuerzo es tanto más grande cuanto mayor es aquella separación (momento de flexión y esfuerzo cortante).

Al proyectar esta pieza,tan importante en un puente colgante, debe tratarse de reducir al mínimo aquel esfuerzo secundario y consta que es posible evitarlo completamente,llegándose a hacer trabajar el material solamente a la compresión . Todo depende de la forma y dimensiones de la pieza.

El material que mejor se presta para trabajar a la compresión es la fundición común; por eso se construyen tantas columnas de fundición y por eso se acepta que los mencionados blocks sean fabricados de la misma materia.

En Francia existen puentes colgantes en servicio (tambien en Norte América) desde hace más de 50 años, soportando intenso tráfico y en los cuales los blocks de fijación de los cables son de fundición.

El actual profesor de la materia en la "Ecole Nationale des Ponts & Chaussées" de Francia, Mr. T. Godard , sucesor de Mr.Resal en tan ilustre cátedra, ha publicado hace 3 años una muy interesante obra sobre puentes metálicos y dedica en ella muy interesantes páginas a los puentes colgantes y entre estos,trata especialmente el sistema Gisclard.

Al hablar de los blocks de fijación de los cables dice que ellos deben ser de "fonte" ó sea de fundición común, que los técnicos franceses jamás confunden con el "fer fondu" ó sea con el hierro fundido.

De fundición son los blocks del puente colgante del Parque Sarmiento . El modelo de estos blocks lo tomé del puente "Lamothe" construido en Francia hace más de 40 años y que está aún en servicio. Pueden los colegas inspeccionar estos dispositivos y podrán darse cuenta que allí no hay sección peligrosa y que la fundición trabaja como más le conviene , ó sea a la compresión. El esfuerzo de corte es casi nulo a tal punto que mucho antes de hacerse peligroso este esfuerzo, se habrán cortado los cables por haber llegado a su carga de ruptura.

Yo estoy convencido que los blocks de Cruz del Eje han sido bien proyectados. Cuando se cuenta con técnicos como los que han intervenido en el proyecto de la obra,hay que estar seguro de los resultados.

Permitanme los colegas que desde estas lejanas tierras, patria de nuestra técnica, me "saque el sombrero" como reconocimiento a su ciencia.

Me he sentido más de una vez orgulloso al recordar entre esta gente europea, la capacidad de nuestros jóvenes técnicos, que allá lejos y silenciosamente ,con una constancia a toda prueba,llegan a dominar completamente todo lo que estos otros han producido. Es con verdadera sinceridad que afirmo, que ellos no le desmerecen un ápice a sus maestros de Europa. La diferencia estriba en la mayor especialización de éstos; pero los nuestros son verdaderos sabios que abarcan más ampliamente la técnica en todas sus manifestaciones. Lo que falta talvez en nuestro ambiente es una mayor facilidad para tomar contacto con la materia prima, sobre todo en lo que a metalurgia se refiere.

Y es aqui que yo creo que está precisamente la causa determinante del accidente de Cruz del Eje.

La fundición es un material "innoble" , ó sea que se rompe si prevenir,por asi decir estalla. Por otra parte es común que ella pr sente en su masa grandes sopladuras ó huecos, que disminuyen grandemente la sección de las piezas. Es un material que debe ser empleado con gran prudencia y para el cual el más severo control de fabricación se impone. Aparte de este defecto de las sopladuras está el defecto no menos grave, de que a veces sale quebradizo como el vidrio, siendo su apariencia exterior buena.

¿ Qué técnico ha vigilado personalmente la fabricación de los blocks de Cruz del Eje? .- Me parece elemental que tratándose de piezas tan delicadas como estas y en obras de tanta importancia se debió vigilar muy de cerca este asunto; además se debieron fabricar algunas piezas suplementarias las cuales despues debieron ser partidas a martillazos, para observar su estructura interior. Todo esto no ha sido hecho , de lo contrario lo hubieran publicado. Tan elementales precauciones hubieran evitado el desgraciado accidente,más desgraciado aún si se hubiera producido después de librada la obra al servicio público.

En nuestro Pais existen talleres que producen muy buena fundición , pero hay otros que la producen sumamente quebradiza. Debió verificarse muy especialmente este punto fundamental,al efectuarse la investigación sobre la responsabilidad del accidente y debió hacerselo porque ,a priori, no es la capacidad técnica la que está en juego, sino la seriedad con que ha sido cumplido el contrato, pues es de suponer que tales cosas estan alli especificadas.

Visto desde aqui el asunto, parece imponerse la hipótesis de la mala calidad del material empleado en los blocks de fundición, no por ser de este material, que es el aconsejado por la técnica, sino por ser de una mala fundición , con el posible agravante de su mal manipuleo (sopladuras comprobadas) .

No se crean los colegas que se remediaría el asunto, haciendo las piezas de acero fundido. Tambien pueden colarse aceros sumamente quebradizos y tambien pueden moldearse piezas de acero con grandes sopladuras . Todo es cuestión de competencia por parte del fabricante y buen control por parte del inspector técnico de las obras.

Claro está que si las piezas se fabrican de acero forjado,las cosas cambian completamente de aspecto,y se tendría la más completa garantía sobre los resultados.

Pero no debe olvidarse que los blocks del colgante del Parque Sarmiento son tambien de fundición y que ellos son excelentes y han sido fabricados en la misma ciudad de Córdoba (lamento no recordar el nombre del fabricante , que tiene su pequeño taller en el boulevard Wilbur Wright,frente a la estación del F.C.C.A.).

Cierto es que este puente es de menores proporciones que el de Cruz del Eje., pero tambien es cierto que los blocks son mucho más chicos y que el puente fué cargado con una sobrecarga de 50.000 kgs. antes de librarlo al servicio público y sin que se rompiese nada.

Sistema elegido para el puente.

Las fotografías del puente derrumbado publicadas por los diarios, ponen de manifiesto una cuestión que es conveniente hacer resaltar. Puede observarse la calzada reposando en el lecho del río,escasamente 2.oo a 3.oo mts. abajo del nivel que tenía antes de derrumbarse.

Ello ha chocado grandemente a los técnicos franceses a quienes les he mostradodichas fotografías. En efecto,un puente colgante es una solución a evitar siempre que sea posible.

No debe construirse una obra de esta naturaleza, sino donde allí esté impuesta por las exigencias del terreno ,por ejemplo en rios ó barrancas muy profundos . Debe recordarse que la conservación de estos puentes colgantes en servicio exige continuos gastos, que al cabo de pocos años suman cifras superiores a la economía que pudo introducirse en su primer establecimiento. Además estos puentes son sumamente fáciles de destruir por un solo indivíduo, en pocos minutos y sin necesidad de explosivos; modernamente debe tenerse en cuenta el posible atentado.

Sobre el emplazamiento de Cruz del Eje no estaba impuesto un puente colgante; es posible construir allí,talvez más economicamente un puente de hormigón armado en viga continua ó una serie de tramos metálicos sobre pilas de hormigón.

La estética misma exigía estas otras soluciones y el terreno facilitaba su realización.