
ANALES DEL INSTITUTO DE INGENIEROS

Conservacion de las Construcciones metálicas

(CONFERENCIA PARA EL INSTITUTO DE INGENIEROS)

Como las construcciones metálicas se están jeneralizando cada dia mas entre nosotros, he creido oportuno llamar la atencion sobre los cuidados especiales de conservacion que ellas exigen i las causas que jeneralmente ocasionan sus deterioros. Por otra parte, he creido que ellas podian caber dentro del tema 9.º que el Instituto ha fijado para sus conferencias anuales de Setiembre.

Naturalmente al ocuparnos de las causas que ocasionan la destruccion de las construcciones metálicas, no estudiaremos sino las llamadas accidentales, o independientes de la voluntad del hombre, como ser el desrielamiento de un tren en un puente, etc., etc., puesto que las voluntarias, que son ocasionadas por demoliciones estratégicas en tiempo de guerra o cualquier otra causa, obedecen a un acto premeditado, cuyas consecuencias son esperadas de antemano.

Las construcciones metálicas, por su naturaleza, para que queden colocadas en condiciones de estabilidad estática i elástica, *necesitan que todas sus partes tengan las formas i dimensiones convenientes i en relacion con los esfuerzos que tienen que*

soportar, i que las ensambladuras de todas sus partes estén constituidas de una manera perfecta.

Las obras de albañilería o mampostería, dada la clase de materiales que emplean, tienen, por lo jeneral, dimensiones mas que suficientes para su estabilidad estática; basta entónces estudiar i consultar su estabilidad elástica en relacion con los materiales usados, i por atrevidos que sean los perfiles que en ellas se adopten siempre son bastante grandes para que sus pilares o piezas comprimidas no puedan doblarse, como pasa con las piezas metálicas de pequeñas dimensiones trasversales comprimidas por sus extremos.

Por eso, la *primera condicion* para la conservacion de las construcciones metálicas es evitar que ellas se desformen mas o ménos violentamente con el uso a que están destinadas (sobre todo los puentes, vigas de pisos de salones, etc.), haciendo que las dimensiones trasversalas de las piezas que las constituyen estén bien estudiadas como forma de perfil i bien determinadas como dimensiones, con relacion a los esfuerzos que tienen que soportar, sean accidentales o permanentes.

Sin embargo, aunque se llenen perfectamente los requisitos anteriores, existen otras causas de deterioro de las construcciones metálicas, que son inherentes a su naturraleza, como la oxidacion, las trepidaciones que motivan a veces cristalizaciones en las planchas o en los ejes i debilitan su resistencia o aflojan sus remachaduras, etc., i que obligan a las administraciones a mantener una supervijilancia especial sobre ellas. Así, las administraciones de puentes i calzadas de todas las naciones europeas hacen examinar constantemente los órganos de los puentes metálicos, para corregir inmediatamente las pequeñas averías que pueden producirse por el tráfico, porque cualquiera de estas averías, una aflojadura de remaches en una costura, etc., i aun otras mas ligeras, pueden agravarse con el pasaje continuo de las cargas que tienen que soportar, aumentar poco a poco i

comprometer otras partes de la construccion hasta ponerla en peligro toda ella.

Las mas modernas de estas prescripciones administrativas son las dictadas por la Administracion Francesa el 29 de Agosto de 1891.

Ojalá nuestra Administracion tomase disposiciones jenerales a este respecto ya que, tanto en nuestros Ferrocarriles del Estado en explotacion como en construccion, el uso de los puentes metálicos se ha jeneralizado notablemente i que la práctica ha estado demostrando que las construccion primitivas, aunque no mui antiguas, necesitan ser revisadas, i algunas de ellas reconstruidas, como el puente del Maipo i los de la Angostura de Paine i probablemente el de los Maquis de la línea de Valparaíso a Santiago.

Sin el ánimo de entrar en detalles a este respecto, puesto que solo queremos examinar por ahora las causas de deterioro de las construccion metálicas, i simplemente para manifestar la importancia que dan las administraciones a la inspeccion constante de las construccion metálicas, como los puentes que tienen que soportar pesos accidentales, manifestaré que a cada una de ellas se le sigue su dosel o espediente especial, que comprende los documentos siguientes:

1.º La historia de la construccion de la obra; que comprende la naturaleza i proveniencia del metal, nombre del constructor, procedimiento de armadura, sistema de construccion de los apoyos, resultado de las pruebas de la recepcion provisoria i definitiva; reparaciones que hayan tenido los machones, los estribos, los soportes del tablero i el tablero mismo, modificaciones que se le hayan introducido con los trabajos de conservacion, accidentes, etc., etc.

En una palabra, la parte histórica del dosel describe con todos sus detalles todas las operaciones de la construccion, pruebas i conservacion del puente.

2.º Las bases i resultados de los cálculos que sirvieron para la ejecucion de la obra.

3.º Los diagramas de las vigas maestras, de las piezas de puentes, longuerinas, contravientos, etc., con los croquis ilustrativos i aun, cuando es necesario, con los dibujos de la obra.

Estos diagramas deben poner de manifiesto el estado de sollicitacion de las diversas piezas en los casos mas desfavorables de la sobrecarga i las tensiones con que trabaja el metal en cada una de ellas; deben tambien tener la distribucion de los palastros o de las diferentes piezas que constituyen la construccion, marcando sus junturas, ensambladuras, etc., etc., i el cálculo de las remachaduras.

4.º Las actas de las visitas de detalle de las pruebas de la construccion, de la verificacion de sus flechas de recepcion o despues de gruesas reparaciones, etc., etc.

Se vé, pues, que con estas piezas, que deben mantenerse al día, las administraciones están en situacion de conocer perfectamente el estado de las obras metálicas que están en servicio i de cuya buena conservacion pende, la mayor parte de las veces, la vida de no pocas personas i no pocos intereses comerciales, como pasa con los puentes de ferrocarriles.

He recalcado espresamente esta atencion que prestan las administraciones europeas a las construcciones metálicas por cuanto ella hace un verdadero contraste con el conocido abandono de las nuestras. Parece que entre nosotros reina la idea contraria, que los puentes de fierro son inamovibles e inalterables; tan pronto como se hace una construccion metálica en reemplazo de los puentes provisionales de madera, con que se ha estrenado jeneralmente el servicio de nuestras líneas férreas, ya nadie se acuerda mas de ella, ni aun para darle una mano de pintura cada tres o cuatro años como es indispensable hacerlo para que no sean deterioradas por el moho. ¿Qué diré del dosel? Escasamente se sabe en nuestras administraciones quién ha

sido el constructor de ellas cuatro años después de estar en servicio, i si se vá a preguntar por sus detalles, como hondura de fundaciones, pliegos de cálculos, etc., creo que solo se conseguirán de las mas modernas de las nuevas líneas construidas. Nuestras administraciones tienen que reaccionar fuertemente en este sentido. Cuando estuve al servicio de los Ferrocarriles del Estado en explotacion pude palpar esta situacion. Una de las primeras atenciones que me recomendó mi jefe, el señor don Carlos Hillmann, fué la de los puentes del Claro, Rengo i Clarillo, entre Requinoa i Rengo; i con razon, esos puentes contruidos sobre machones de mampostería con vigas de fierro de alma llena i semi parabólicas, que tenían dimensiones mas que suficientes para soportar descansadamente los esfuerzos de los trenes estaban sufriendo, i, lo que era peor, estaban comprometiendo la construccion misma, porque desde que fueron armados se les habia suprimido los aparatos de dilatacion, dejándoseles reposar lisa i llanamente sobre las piezas de pino oregon puestas en los entalles de los machones i de los estribos; como era natural, aunque los tramos eran cortos, de 15 a 20 metros, el movimiento de sus piezas provocado por las dilataciones, no encontrando facilidades, habia arrastrado las piedras de la mampostería que servian de descanso a las vigas i se veian rasgadas que ya atravesaban casi de parte a parte los estribos i provocaban desplomes en uno de ellos; fué preciso hacer reparaciones de consideracion en sus mamposterías i modificar las disposiciones de los descansos de las vigas para corregir todos los deterioros que, por esta causal ya eran tan sensibles que provocaban rasgadas i desplomes en las mamposterías, i, a demas, raspar completamente las ferreterías para evitar que el moho siguiese su accion destructora, que ya era bastante notable.

¿Dónde estaban los cálculos primitivos de esos puentes, la historia de su construccion i por consiguiente los datos relativos

a la hondura de sus fundaciones, etc., etc. . .? En ninguna parte. Era preciso buscar esos datos en los recuerdos de los trabajadores antiguos; solo se encontró en los archivos los planos de la superestructura, que sirvieron entónces a mi colega, el señor Nicolás Tanco, para revisar los cálculos de estabilidad.

I lo que sucedió con esos puentes ha sucedido con muchos otros; aunque parezca, pues, majadería hai que recalcar i llamar constantemente la atencion a la necesidad de que nuestras construcciones metálicas sean cuidadas i atendidas en debida forma si no queremos lamentar mas tarde accidentes desastrosos que no tendrian mas causales que el descuido en no pintar o revisar oportunamente esas obras.

No hai duda que una buena atencion i conservacion de las construcciones metálicas exige gastos mas o ménos fuertes, segun la clase de andamios o aparatos que se necesitan para atender a la renovacion de sus pinturas i revision de sus remachaduras, pero ello es del todo indispensable cuando se trata de obras de las cuales pende la seguridad del tráfico de ferrocarriles, etc.

Es tal la importancia que se dá al cuidado de estas construcciones en Europa que en los planos i disposiciones de detalle, como pasa con el viaducto de «Garabit», se ha consultado al interior del tablero un pasaje por el cual circula un wagon Decauville para el servicio de conservacion.

Para examinar ahora las causas que provocan los deterioros de las construcciones metálicas las dividiremos en dos categorias:

- 1.º Construcciones de fundicion
- 2.º Construcciones de fierro batido, palastro o acero,

I.^a CONSTRUCCIONES DE FUNDICION.

En estas obras, cualquiera que sea su tipo, es sabido que los agentes atmosféricos no producen sino efectos insignificantes. Como las piezas fundidas que entran en su composicion tienen siempre fuertes espesores, el desgaste del metal por el moho no puede ocasionar peligros o causar perjuicios sino en casos excepcionales. Usadas, ademas, constantemente por los arquitectos en las construcciones civiles, las piezas de fundicion en condiciones tales, que están cubiertas i libres por decirlo así del contacto directo de la atmósfera i de sus humedades, de la influencia del sol i de las lluvias, no es en estas condiciones la accion de la oxidacion o del moho, un agente destructor mui temible.

Pero como las piezas fundidas resisten mal a los esfuerzos de traccion i de los choques, ellas se rompen constantemente en los puentes de vigas rectas o en los pisos de almacenes ú otras construcciones que tengan que soportar transiciones mas o menos violentas en sus esfuerzos exteriores o choques, como pasa con la carga o descarga de mercaderías, al caer sobre los pisos de los almacenes donde se depositan. Aunque en los puentes de pequeñas dimensiones, pueden evitarse los choques que por el pasaje de los trenes se producen en las juntas de los rieles, poniendo rieles bastante largos para que sus uniones queden fuera de la superestructura; sin embargo, como las piezas fundidas se han quebrado siempre aun sin dar la menor demostracion de fatiga, ni sin que los esfuerzos que hayan soportado sean excesivos, el uso de las piezas de fierro fundido ha sido prescrito en absoluto en Inglaterra desde 1884, exceptuando solamente el caso de los puentes de arco.

Sin embargo, la práctica demuestra que aun en los puentes de arco, no es prudente el uso de piezas fundidas, i los deterio-

ros que se han constatado constantemente son las quebraduras, i naturalmente estas son mas frecuentes en los puentes de los ferrocarriles que en los carreteros, tanto porque en los primeros las cargas movibles son mas considerables, como así mismo las velocidades de ellas, i las trepidaciones que ocasionan son mas fuertes.

Segun las observaciones que se han hecho, las quebraduras de las piezas fundidas en las construcciones metálicas, son mas frecuentes en las que reciben la accion directa de los esfuerzos exteriores, es decir, en las piezas secundarias, que en las grandes vigas; así en los puentes, rara vez se observan quebraduras en las vigas o en los arcos, pero si a menudo en los tímpanos, en las cajas de union de las longuerinas i en los largueros. Sin embargo, muchas de estas quebraduras no se pueden observar bien cuando la construccion está armada, porque propiamente, no son sino trisaduras mas o menos profundas i que se hacen invisibles a causa de la compresion que tiende a mantener unidas las diversas partes averiadas; por eso solo cuando se demolí el antiguo puente de fundicion de Austerlitz, en Paris, se supo que tenia 6,000 quebraduras.

Estas trisaduras que debilitan las piezas i que se mantienen invisibles, aunque las construcciones sean sometidas a investigaciones prolijas, son la causa de que las construcciones compuestas de piezas fundidas, inspiren siempre el mas profundo recelo, cuando ellas tienen que soportar vibraciones, choques o la accion de pesos rodantes. Nunca los ingenieros podrán saber el verdadero estado de las piezas i por lo tanto, poner remedio a un deterioro tan pronto como se haya producido, i esta i no otra debe haber sido la causa de la caida violenta de algunas de estas construcciones, sin que aparentemente hubiera una causa determinante.

Es mui difícil decir cuales son las causas que mas jeneralmente provocan la ruptura de los elementos de los puentes en

arco o demas construcciones compuestas de piezas de fierro fundido; pero se puede ver de antemano que deben tener una influencia notable:

1.º La desigual reparticion de las cargas movibles.

Así en un piso de almacen, compuesto de bovedillas de fierro fundido, en el cual se hayan acumulado las mercaderias en una zona determinada, fatigando un costado de las piezas, para despues ser descargadas i vueltas a cargar, quizá en sentido contrario, provocando estos movimientos en la reparticion de la carga, tensiones desiguales en las diversas junturas de las piezas, i a veces tendencias a la trision en algunos puntos, no pueden ménos que ser enteramente desfavorables a su buena conservacion.

Siendo estas construcciones compuestas de piezas fundidas con ensambles ríjidos, los tableros de puentes o bovedillas de pisos etc., sometidas a esfuerzos cuyo sentido é intensidad varian constantemente, no pueden ménos que provocar acciones anormales, tanto mas peligrosas cuanto mas violentas son las transiciones porque pasan las piezas al sentirse afectadas no con la sobrecarga.

2.º La lijereza relativa dela construccion.

Es indudable que otra de las causas que provocan trepidaciones violentas en los puentes, tanto de fundicion como de palastro, es la demasiada lijereza de las obras. La intensidad relativa de las variaciones de tensiones que sufren sus piezas con la pasada de los pesos rodantes varia constantemente i *entre límites tanto mayores cuanto la relacion entre el peso muerto i la sobrecarga móvil es mas débil.*

Actualmente, que las necesidades de los servicios de las empresas de acarreo hacen que las sobrecargas móviles vayan aumentando de dia en dia, no es dudoso que un exceso de lijereza en una superestructura metálica facilite la produccion i propagacion de vibraciones en el metal, i que ellas no entren por

mucho en los deterioros que estas construcciones experimentan. Conviene por consiguiente, *disminuir en cuanto sea posible la relacion entre la sobrecarga móvil i el peso permanente.*

Para conseguir el objeto anterior en las construcciones civiles, se han enladrillado los pisos encima de los envigados metálicos o se cubren con una capa de betun las bovedillas que los constituyen, o en los puentes se aumenta la masa de la parte fija agregándole lastre al tablero.

3.º Los momentos de torsion que se desarrollan en las construcciones cargadas no simétricamente.

Así en los puentes de doble via, no puede ménos que señalarse como una accion altamente destructora para las construcciones metálicas, el esfuerzo de torsion que se desarrolla en ellos cuando pasan dos trenes en sentido contrario sobre las dos vias. Estos esfuerzos, que escapan enteramente al cálculo, no solo son mui sensibles sino que en las ensambladuras provocan esfuerzos anormales de alguna consideracion. Solo se disminuyen, lo mismo que las trepidaciones, haciendo que la relacion del peso móvil al peso muerto sea la menor posible o lo que es mejor, haciendo que cada via tenga su puente independiente.

4.º Las dilataciones debidas a la temperatura.

Las variaciones de temperatura están mui lejos de producir en todas las construcciones metálicas, tensiones insignificantes. En las construcciones civiles, de ordinario, esta causal es amortiguada porque las piezas metálicas están bajo techo i en condiciones de poder experimentar poco las influencias de fuertes diferencias de temperatura; pero en los puentes ellas no son despreciables i pueden dar lugar a tensiones que, si no son debidamente consideradas o neutralizadas por los aparatos de dilatacion, son capaces de provocar las quebraduras de las piezas i tanto mas en las piezas fundidas que trabajan mal con cualquier esfuerzo de torcion o de flexion.

5.º Por último, diremos que se han notado quebraduras de tubos huecos, que se usan constantemente en las cepas de las construcciones metálicas o de pilares, produciéndose rasgaduras en casi todo el largo del fuste de las columnas, provocadas por haberse conjelado el agua con que se habia llenado la parte interior de estos tubos. Conviene pues, en los países donde hai temperaturas bastante bajas, cuidar que se mantengan vacios dichos tubos.

Despues de lo espuesto anteriormente, vemos que el puente de los Maquis de la línea de Santiago a Valparaiso, construido en otro tiempo con los mejores elementos disponibles, debe ser abandonado cuanto antes, por cuanto, a no dudarlo, las sobrecargas que actualmente exige la esplotacion de la línea han aumentado considerablemente, lo que ocasionará fatigas indebidas en las piezas, tanto por tener sus cepas con tubos de fierro fundidos que jamas podrán inspirar plena confianza, puesto que pueden tener trisaduras invisibles, etc., como porque no hai duda, que la colocacion de ese puente en gradiente i en curva, hace que se desarrollen con la pasada de los trenes, esfuerzos de torsion, que los tubos de las cepas no pueden ménos que soportar desventajosamente.

El antiguo puente del Maipo con piezas de fundicion, fué preciso renovarlo por las mismas razones: fué calculado para locomotoras de 50 toneladas de peso i despues las exigencias del tráfico de la seccion de Santiago a Curicó fueron tales que, circulaban constantemente locomotoras de 60 a 70 toneladas de peso con convoyes de wagones de 30 toneladas, 10 de peso del carro i 20 de carga; pudimos constatar entonces con el señor Juan Emilio Muxica, estando al servicio del ferrocarril, que este exceso de fatiga de la superestructura del puente, traia por consecuencia la constante quebradura de las piezas que servian de montantes verticales en las vigas maestras i de las diagonales, hasta el punto de haber cambiado 25 de ellas en un mes i ver-

nos forzadas a alzaprimar el puente i denunciarlo como peligroso. No se notó nunca en el puente, fuertes oscilaciones laterales con el pasaje de los trenes; pero sí, un aumento constante en la flecha a medida que las piezas se iban trizando, aunque a la vista no notásemos aun la menor señal de quebraduras: bastaba i observacion del aumento de flecha, para estar seguros que, dias mas tarde encontraríamos ya visiblemente piezas averiadas. No observamos ninguna quebradura en las piezas de las cabezas superiores de las vigas, que tambien eran de fierro fundido, pero quizá se habian producido si no se hubiese tenido el constante cuidado de renovar lo mas pronto que se podia, con los elementos de que se disponía, toda pieza que se notaba trisada.

No basta, pues, tener los puentes de fierro, es necesario cuidarlos i atenderlos constantemente i tanto mas si son antiguos con piezas de fundicion, como aun nos quedan algunos en nuestras líneas del Estado.

2.º—CONSTRUCCIONES DE PALASTRO O DE ACERO

El moho es el agente destructor por excelencia de las construcciones de fierro batido: las partes oxidadas, de las construcciones metálicas sufren degradaciones tan notables que pueden comprometer la seguridad de las obras. Se comprende fácilmente que las piezas, que en jeneral tienen un espesor relativo muy débil, pierdan su resistencia por causa de la disminucion de espesor al ser corroidas i no puedan soportar despues, en buenas condiciones, los esfuerzos que podian vencer cuando nuevas.

Cualquiera que haya examinado un poco las construcciones metálicas de palastro o de fierro dulce, habrá visto que no son raros los casos en que las oxidaciones sobre piezas descuidadas i mal conservadas, hayan provocado verdaderas perforaciones o un adelgazamiento excesivo de dichas piezas.

Cuando el moho ha atacado un punto, se forma ahí un foco de infeccion propiamente hablando, el que se estiende poco a poco i bastante rápidamente a las partes vecinas; los agujeros de los remaches de las costuras un poco sueltos o mal rellenos, son jeneralmente los primeros focos o *centros de oxidacion*.

Una visita al malecon de Valparaiso hará ver la violencia de la oxidacion cuando ella está favorecida por la humedad i accion del agua del mar; hai rieles que no tienen, despues de algunos años, ni la tercera parte de su seccion primitiva. Como ejemplo de buena conservacion citaremos el Muelle Fiscal de Valparaiso, que; atendido con un personal especial i pintado siempre oportunamente, no da muestras de haber sufrido desde su instalacion.

Hai muchas causas que favorecen la oxidacion en las construcciones metálicas: asi las techumbres de las estaciones o de fábricas, que estan espuestas a la accion del humo de las chimeneas de las locomotoras o de los gases mas o ménos cargados de vapores ácidos, que se escapan de algunos hornos etc., etc., vapores que jeneralmente, a mas de su humedad estan a una alta temperatura, son ajentes destructores por excelencia de las ferreterias de las construcciones.

La accion de las oxidaciones no solo es destructora por la corrosion del fierro i reduccion de las dimensiones de las piezas que ella provoca, sino que tambien causa la esfoliacion de los palastros i el ampollamiento de las superficies planas, por las sales de fierro que se forman entre ellas, haciendo de cuñas i destruyendo las cabezas de los remaches, que la mayor parte de las veces se encuentran tambien reducidas por el mismo moho.

Es pues indispensable en esta clase de construcciones evitar la oxidacion, protejiendo sus piezas con pintura o de la mejor manera posible.

Para tomar en cuenta este desgaste de las construcciones metálicas, muchos injenieros dan a las piezas un tanto de exce-

so en sus espesores, i no faltan ingenieros *que no admiten palastros de ménos de un centímetro de espesor*, cualesquiera que sea los esfuerzos que se tengan que soportar. Así se aumenta peso de la construccion en favor de la seguridad i talvez tiene razon; pero, la práctica ha demostrado que, cualquiera que se el espesor del palastro, para preservarlo del moho i de las oxidaciones, es forzoso cubrirlo con capas de *minio de plomo* i de pintura i de volver a pintar despues constantemente cada período de años mas o ménos largo, segun las circunstancias i las causas que provocan las oxidaciones.

Otra de las causas de deterioro por oxidacion, que se ha observado en construcciones metálicas que tienen algunos años de servicio, es el contacto de la madera con el metal; se produce por la accion de los ácidos de la madera, una corrosion del metal en los puntos de contacto. Para evitar este inconveniente se ha ensayado con éxito, el intercalar bandas de felpa alquitranada entre el fierro i la madera, en sus superficies de contacto.

Los choques producidos por el pasaje de los pesos rodantes i las dilataciones ocasionadas por las variaciones de temperatura, cuando no han sido bien consideradas, son tambien otras tantas causa destructoras de las construcciones de palastro. Esta influencia destructora se hace sentir particularmente en las ensambladuras de las diferentes piezas, hechas por medio de remaches, como es de uso constante en Europa i entre nosotros. Supongamos una remachadura mal hecha en un principio o que por efecto de las humedades i del moho i no habiendo sido atendida se haya deteriorado; en el primer caso, el cuerpo de los remaches no ha llenado suficientemente los agujeros de los palastros, o bien ellos no aprietan suficientemente los palastros de la ensambladura, o bien por el moho las cabezas de los remaches i ya no presentan bastante adherencia sobre los palastros. En estos dos casos un resbalamiento de los fierros, los unos so-

pueden ménos que producirse, tiende desde luego, despues de cierto tiempo, a ovalar los agujeros de las costuras i como consecuencia de ello, toman juego los mismos remaches, trabajan por cortamiento, con las vibraciones se ponen de constitucion cristalina i quebradiza. Poco a poco entonces, el ajuste entre las piezas es destruido i se rebaja, se equilibran i transmiten mal los esfuerzos exteriores, haciendo trabajar de una manera forzada las piezas siguientes i por consiguiente el mal se trasmite de capa en capa i si no se pone remedio inmediatamente, concluiría con la destruccion de la obra.

Lo que caracteriza una situacion semejante es el ruido de fierro viejo o quincalleria, característico, cuando se producen las vibraciones que ocasiona el paso de las cargas rodantes en los puentes o el choque de los fardos de mercaderias en los pisos de las construcciones civiles destinadas a almacenes, etc.

Las ensambladuras mas fatigadas por las vibraciones i los choques, en estos casos como en las construcciones de piezas fundidas, son las de las piezas de detalle que reciben mas directamente los esfuerzos exteriores; así los largueros sufren mas en sus uniones con las piezas de puentes, que las uniones de estas últimas con las vigas maestras. Es pues muy conveniente para la buena conservacion de las construcciones metálicas, que estas uniones esten bien cuidadas; i estas mismas consideraciones, ponen tambien de manifiesto, siempre que se pueda, que la mejor solucion será hacer que las vigas maestras soporten directamente las cargas movibles, como los puentes cuyas vigas estan debajo de los rieles, porque así se hace que una masa considerable de metal, como es siempre la de las vigas maestras, soporten el choque de la carga móvil. Por lo demas, hai muchas maneras de atenuar estos inconvenientes, cuidando tanto las disposiciones de las ensambladuras de los largueros, como las de las piezas de puentes, procurando, por decirlo así,

Las variaciones de temperatura, en contrucciones de cierta magnitud, deben tomarse muy en cuenta porque de otra manera las dilataciones que ellas provocan, producen esfuerzos de torsion, que en muchos casos han traído como consecuencia la destruccion de las obras. Se ha visto casos en que las primeras manifestaciones de los esfuerzos anormales a que han quedado sometidas las construcciones de la superestructura de un puente para ferrocarril, por no haber atendido debidamente las dilataciones debidas a la temperatura, han sido la ruptura de los pernos de las eclisas de la via i aun de las eclisas mismas. Y, hemos visto tambien a este respecto, los deterioros causados en los puentes Claro, Clarillo i Rengo por las dilataciones i contracciones debidas a la temperatura, por no haber sido atendidas con los aparatos especiales que se usan para ello.

3.º—CASOS ANORMALES

Ademas de los deterioros debidos a las causas ya apuntadas, se cuentan muchos casos de accidentes de construcciones metálicas, debidos a circunstancias anormales i que son independientes, hasta cierto punto, del tipo de construccion, de la calidad de los materiales i de las atenciones de su conservacion.

En primer lugar, debemos apuntar la accion verdaderamente perniciosa de los choques sucesivos i acompasados. Son muchos los puentes que han caído a causa del pasaje de batallones marchando sin romper el paso ¿quien no sabe que el caso de mayor fatiga para un piso de salon se produce cuando varias parejas valsan acompasadamente en él? Cuando se reconstruyó el Teatro Municipal i se hicieron las pruebas de los pisos del Salon Filarmónico, se hizo marchar acompasadamente una compania de tropa, prueba que fué preciso suspender inmediatamente, porque si se continuaba con ella, habia traído la destruccion i caida del piso. En vista de ello, fué reforzado fuertemen-

te el envigado del piso i aunque ha quedado en condiciones de completa seguridad, sin embargo se notan las oscilaciones cuando llega el caso de encontrarse en el un buen número de parejas valsando a un tiempo.

Este efecto del paso ritmado i otras causas de detalle, han ocasionado en los Estados Unidos la caída de un número bastante grande de puentes, de tal manera que se ha podido hacer una obra bastante voluminosa nada mas que con la descripción de estas catástrofes.

El sistema articulado de los puentes Americanos, que si bien tiene la ventaja de hacer conocer perfectamente los esfuerzos que en cada caso solicitan las articulaciones, por medio de cálculos sencillos, tiene el gravísimo inconveniente, de exigir una atención permanente i constante sobre dichas articulaciones, para que todas ellas funcionen siempre en las condiciones en que fueron calculadas. Este desarreglo constante de las articulaciones, porque basta en la mayor parte de los casos, que un tirante de estos puentes se dilate mas que otro, por efecto del calor, para que cambien los ángulos de los cruzamientos de sus piezas, su modo de sollicitacion i provoquen fatigas excesivas; la tendencia constante a ovalarse los ojos de las piezas que jiran al rededor de un eje de articulacion etc., etc., han sido i son la causa de las frecuentes caídas i catástrofes de los puentes Americanos.

En Estados Unidos ya se han reconocido plenamente estos hechos i se jeneralizan cada día mas i mas los puentes remachados, aunque su armadura sea un tanto mas dificultosa que la de los puentes articulados.

Yo pude observar, cuando estaba al servicio de la seccion de Santiago a Curicó, las deformaciones constantes que sufrían los puentes de la Angostura de Paine i otros de sistema Americano que habia en la línea. Apesar de la atención que se les prestaba, corrijiendo constantemente sus deformaciones con los ten-

sores de los tirantes, principió a notarse en ellos flechas excesivas, debidas tambien al aumento de peso del equipo de la línea; pero, como dado el sistema de puente, cada articulacion trabajaba casi independientemente, colgada, por decirlo así, de sus extremos, la curva de las flechas no era una curva regular i su mayor intensidad no correspondia jeneralmente al centro del tramo. Con el señor Muxica notamos a veces flechas hasta de 18 centímetros en tramos de 30 metros. Estos puentes se alzaprimaron tan pronto como fueron denunciados de peligrosos i a la fecha estan reconstruidos i reemplazados por vigas de acero remachadas.

Los accidentes en los puentes remachados del sistema Europeo i debidos a causas anormales son mui poco frecuentes, en contraposicion con lo que se ha constatado con los de tipo Americano; entre ellos podemos citar como de los últimos, la caida del puente del golfo del Tay en Escocia; puente que fué entregado a la circulacion en 1878, con 85 tramos, siendo la mayor parte de 74.70^m i sobre cepas metálicas, siendo las mas altas formadas de seis columnas de fundicion, rellenas con concreto, armadas sobre zócalos hexagonales de mamposteria; tenían 52 metros de altura. El 28 de Diciembre de 1879, una violenta tempestad se desarrolló en el valle del Tay i se avaluó su presion en 200 kgs. p. m², en estas condiciones entró al puente el espreso de Edimburgo, aumentando la superficie de accion del viento, provocó esfuerzos superiores a los que podia resistir la construccion i fué derribada casi en su totalidad instantáneamente.

Mr. Collignon, describiendo la caida del puente de Moenchenstein (línea de Bâle a Delmont), que tuvo lugar el 14 de Junio de 1891 cuando pasaba un tren con dos locomotoras llevando 324 toneladas de carga. El puente era de un tramo de 42^m, ahogado i de rejilla simple triangular; el sistema de construccion aunque no del todo satisfactorio, segun Mr. Collignon

no comprometió en nada la seguridad i no se puede atribuir a vicio del sistema la catástrofe, pero el puente estaba en servicio desde 1875 i en 1881 a causa de las inundaciones, uno de sus estribos bajó i dejó el puente con un solo punto de apoyo en esa cabecera. Este hecho provocó deformaciones i deterioros en el tramo, las que fueron reparadas inmediatamente. En 1890, con motivo de haberse empleado en esa línea locomotoras mas pesadas, se hizo una revision del puente, i de su exámen resultó que las vigas no necesitaban ninguna modificacion, pero que las piezas de puentes eran débiles, sino se queria que los fierros trabajasen con mas de 7 kgs. por mm^2 , inmediatamente fueron reforzadas dichas piezas en Octubre de 1890. El puente no mostraba el 91 ningun indicio de deterioro, cuando vino la catástrofe del 10 de Junio i los señores Collingnon i Hausser llegan en su informe a la conclusion siguiente:

«En resúmen, ni el proyecto, ni en su modo de ejecucion, ni el control, ni la vijilancia han estado en defecto en el puente de Moenchenstein; cualquiera que sea la opinion que se tenga sobre el carácter atrevido de estos puentes delgados i lijeros de rejilla simple, en los cuales la ruptura de una simple pieza puede ocasionar una caida jeneral; no se podria encontrar en el tipo de la obra i en su realizacion práctica, la esplicacion de su caida».

«Es al accidente de 1881 que por las fatigas imprevistas que el ha impuesto, el que ha trasformado el puente de Moenchenstein en construccion peligrosa. El puente con su viga recta, se ha inclinado i torcido del lado del estribo de Bâle el 14 de Junio de 1891, lo mismo que lo habia hecho en 1881. No se podria, pues, atribuir la caida sino a una causa accidental i particular, que no pudo ser descubierta apesar de una incontestable vijilancia. Si se quiere buscar la causa fuera de los acontecimientos de 1881, se arriesga a estraviarse i no se puede llegar a conclusiones haciendo abstraccion de los hechos».

Son muy pocos los casos de ruptura de los puentes metálicos durante las pruebas, i sin embargo ellas se han producido, como sucedió con un puente carretero de 5.40^m de ancho por 40^m de largo, construido en Escocia, con vigas de rejilla tupida. La ruptura tuvo lugar cuando se habian colocado en el puente las cuatro quintas partes de la carga de prueba: la cabeza superior de las vigas cedió i se quebró. Se vió despues que el esfuerzo que estas piezas soportaban en esas condiciones era de 8.6 kgs. por mm², lo que naturalmente era excesivo. Había pues un defecto de construccion i de cálculo porque la viga no era capaz de resistir las dsformaciones que se provocaban por los esfuerzos de compresion.

Otro accidente que se cita en estas condiciones, fué el de un puente carretero en Servia, de tres tramos de 60^m. independientes, formados de dos vigas semi-parabólicas, compuestas únicamente de barras estiradas, ménos los cuatro compartimientos centrales que tenian contra-diagonales. Estando cargado con 131 toneladas de piedras i debiendo llegar la carga de prueba a 155 toneladas, el puente entero se quebró i cayó sobre el andamio que habia servido para la armadura. Este accidente no puede atribuirse a otra causa que al exceso de economia en la ferreteria que tenia la construccion i a la insuficiencia de sus cálculos.

Entre nosotros, el único puente de que tengo noticias que cayó en los momentos de la prueba, fué el puente carretero del Estero de las Cadenas, cerca de Rancagua, construido de madera i fierro, sistema Americano, de 30^m. de largo. Antes de soportar un tercio de la carga de prueba, cedió uno de sus estribos, por haberse deformado una de las cabezas superiores de las vigas maestras, lo que motivó la caída de todo el puente. Examinando en detalle este caso, se puede constatar que el sistema de construccion era enteramente defectuoso.

Otro de los accidentes que hemos podido constatar entre no-

sotros de construcciones metálicas, ha sido el que ocurrió en el muelle construido para la poblacion Vergara en Viña del Mar, el 20 de Julio del presente año i motivado por una salida de mar extraordinaria. De los cálculos que han hecho, estudiando este accidente, me he formado la conviccion de que el accidente fué ocasionado en su mayor parte, sino exclusivamente, por deficiencia de estabilidad de la obra. Las columnas que formaban el cabezo del muelle, fueron calculadas por el ingeniero que revisó los planos, para presiones de 611 libras por pié cuadrado, ó sea 2983 kgs. p. m² i todos los autores que yo he podido consultar dan esta presion como equivalente a olas de verano, de tres metros de alto, i fijan como presion de olas de invierno de 6 metros de alto, al mínimum, la de 2086 libras por pié cuadrado ó sea 10185 kgs. p. m². Mr. Flauroche, en su testo de resistencia de materiales, dá como esfuerzo de las olas, el de 4 á 5000 kgs. p. m², no contando el caso de las raz-mareas que desarrollan esfuerzos hasta de 30000 kgs. p. m². Hechos los cálculos i depurados gráficos, se vé que las columnas, aun sometidas a presiones de 2983 kgs. p. m² pero consideradas sumerjidas por completo, como sucedió en el caso de la salida de mar del 20 de Junio, trabajan con exceso de presion i en malas condiciones. Agrégase a esto que el concreto del relleno de las columnas no fué confeccionado en condiciones enteramente satisfactorias i se explicarán todos los estragos que causó la salida de mar; pero dados los esfuerzos con que trabajan las columnas, llegando a trabajar en sus puntos mas fatigados con presiones de 31.3 kgs. por centímetro cuadrado i el concreto con tensiones de 17.7 kgs. por centímetro cuadrado, creo que, aunque hubiese estado confeccionado en buenas condiciones, habria caido la construccion por exceso de fatiga, no habiéndose consultado en sus cálculos de estabilidad mas que la presion de olas de verano i no una presion de 4 á 5000 kgs. p. m² como, aconsejan todos los autores para las construcciones marítimas, con tanto mayor razon en una

playa como la de Viña del Mar, enteramente abierta i donde las olas, de ordinario, no son pequeñas. La demasiada economia en las ferreterias, dejó la obra en condiciones anormales i por consiguiente, si pudo resistir mas o menos bien a los primeros choques de los temporales, cayó despues por un fenómeno mas violento i cuyas presiones son mas imprevistas.

Con lo anterior creo haber dejado espuesto sumariamente, cuales son las principales causas de deterioro i de accidentes en las construcciones metálicas i haber puesto de relieve que, en esta clase de construcciones, los ingenieros deben de ser atentos, no solo al cálculo de detalles de sus piezas, para que ninguna de ellas trabaje con tensiones superiores a las que la práctica aconseja, sino tambien prestar una debida atencion a la forma i perfil de las piezas, para que cada una de ellas sea adecuada al estado de sollicitacion de las fuerzas exteriores, i que entregadas al servicio i espuestas a los choques i vibraciones de los esfuerzos exteriores, las construcciones metálicas deben ser examinadas i revisadas prolija i constantemente. I por último, que los fracasos han sido motivados, casi siempre, por buscar exceso de economia en las ferreterias, lo que ha traído como consecuencia forzosa un trabajo indebido de los materiales o disposiciones poco aconsejables en las construcciones, siendo entre ellas, los puentes tipos Americanos los que han llenado casi la estadística de los accidentes violentos, razon por la cual se reacciona, aun en Estados Unidos, adoptándose las piezas remachadas en las construcciones, en remplazo de las articuladas, que se habian hecho habituales en América del Norte.

D. V. SANTA MARIA.
