CONSTRUCCIONES METÁLICAS

VERIFICACION DE CÁLCULOS I PRUEBAS DE RESISTENCIA

(Circular del Ministro de Trabajos Públicos de Francia a los prefectos de departamentos dirijida el 25 de Enero de 1902.)

Despues del hundimiento de la cubierta de la bodega para mercaderías, acaecido el 1.º de Febrero del año pasado, en la estacion de Valencia, creo indispensable someter las construcciones metálicas antiguas, establecidas en una época en que no se conocian los procedimientos perfeccionados de la fabricacion actual, a una revision completa, e indicar las reglas para las construcciones nuevas.

He nombrado para este objeto, una comision especial i en vista del informe que ha presentado, despues de un estudio profundo de la cuestion, i conforme al dictámen del Consejo Jeneral de Puentes i Calzadas; he establecido el reglamento que encontrareis a continuacion de esta circular, del cual creo útil dar algunas esplicaciones para precisar el sentido i el alcance de las instrucciones que aquel encierra.

La vijilancia i conservacion de las obras metálicas deben ser objeto de una atencion constante, todo accidente susceptible de agravarse o de comprometer la seguridad de aquellas será reparado sin demora; se debe renovar la pintura, con tanta frecuencia como sea necesario, para preservar del moho las partes visibles i las ocultas si fuera posible.

Ademas de la inspeccion anual, las obras serán sometidas cada cinco años i cada vez que se renueve la pintura, a un exámen minucioso.

Tal como lo prescribe la circular del 12 de Noviembre de 1901, relativa a los tramos metálicos, una quinta parte del efectivo total de las obras de cada enrejado, será examinada detalladamente cada año.

Se establecerá para cada tipo de cubierta metálica, un cuadro o cuaderno en el cual se anotarán todos los datos relativos a estas obras. El conjunto de estos cuadros formará un legajo especial en cada cartera del injeniero de la via i edificios, encargado del control.

Cada cuadro comprenderá:

1.º La historia de las obras (naturaleza, procedencia del metal, nombre del constructor, modo de construccion, resultado de las pruebas, reparaciones de la obra i causas de estas, modificaciones durante la construccion, accidentes, etc.);

2.° Las bases i los resultados de los cálculos que se han empleado en su ejecucion;

3.° Los diagramas de las piezas con los cróquis en que se basan sus dimensiones, o mejor, si fuera posible, los dibujos de las obras; i

4.° Los informes de las visitas detalladas, las pruebas i la discusion de sus resultados.

Los cuadros o cuadernos se tendrán constantemente al dia. Los datos necesarios se suministrarán a los injenieros del control, por la compañía o el concesionario.

En el plazo de cinco años, el cálculo de resistencia de todas las cubiertas será revisado bajo la vijilancia de la compañía, controlado por las pruebas de resistencia los resultados se discutirán a fin de apreciar los esfuerzos soportados por los materiales; porque ninguna parte debe llegar a límites peligrosos, por la influencia de las sobrecargas previstas en el presente reglamento. En caso contrario, la compañía, i si es menester, los injenieros del control, rendirán cuenta a la administracion, indicando las reformas o soluciones que juzgaren útiles. Se hará igual cosa cuando la obra haya sufrido deterioros de tal naturaleza que comprometa su seguridad.

Instrucciones

ARTÍCULO 1.° Las cifras del artículo 1.° del Reglamento se han fijado en vista del cálculo de las construcciones nuevas. Se supone las cubiertas calculadas segun los métodos usuales, es decir, como constituidas por un cierto número de piezas ríjidas, articuladas en su punto de union, siempre que la rijidez no sea indispensable para el equilibrio. La esperiencia i la teoría estan de acuerdo para demostrar, que en las condiciones ordinarias (en que esta articulacion no exista o sea mui imperfecta en los tipos usuales) el cálculo da un valor para la componente del esfuerzo total, siguiendo el eje de la pieza, poco diferente de la realidad.

A este esfuerzo total dividido por la seccion se ha convenido en darle el nombre de *fatiga primaria*, la que se ha de comparar dentro de los límites indicados en el artículo 1.°, siempre que la pieza sea rectilínea i no sirva de apoyo en su intermedio, es decir entre las amarras de sus estremos, a las otras piezas trasversales. En los casos contrarios, el esfuerzo total debe tambien comprender la fatiga de flexion.

La rijidez de los ensambles introduce esfuerzos que por lo jeneral no se calculan. Estos son, principalmente, momentos de flexion que pueden, por lo ménos en los puentes, producir *fatigas secundarias* (*), algunas veces iguales o superiores a las fatigas primarias. La *fatiga real* puede llegar así al doble de la fatiga primaria calculada, la que se tomará dentro de los límites corrientes i no podrá sobrepasarse de la mitad del límite elástico comun de la materia considerada.

Se autorizará el aumento del límite de fatiga a las compañias o concesionarios que presenten proyectos que tuvieren ensambles, ya sea con verdaderas articulaciones o con uniones ríjidas i justificaren ademas en la memoria respectiva haber tomado en cuenta suficientemente los esfuerzos secundarios.

(*) Nota del traductor.—Véase: *Esfuerzos secundarios. Estática Gráfica* de M. Koeclin o de otro autor.

Si se admite:

1.° Que el peligro de deformacion o de ruptura es proporcional a la mayor dilatacion;

2.° Que esto jeneralmente está poco alejado de la realidad, que en un trozo de metal sometido a un alargamiento elástico uniforme, la contraccion trasversal de la unidad de lonjitud es mas o ménos la cuarta parte del alargamiento de esta misma unidad en la direccion de la traccion; por lo tanto se podrá considerar los esfuerzos de cizallamiento como superiores a los esfuerzos lonjitudinales en una cuarta parte de estos.

Esta fórmula sencilla ha sido tomada, a falta de otra mejor, como base de cálculo de la resistencia al cizallamiento.

Las vigas de madera siendo jeneralmente rectangulares, no es menester preocuparse del cálculo de sus esfuerzos de cizallamiento, los que son mui pequeños.

El límite señalado se aplica en especial para el caso de una barra metálica que es solicitada perpendicularmente a su direccion i atraviesa una pieza de madera mui cerca de su estremidad.

Los límites de fatiga admitidos ahora para los metales son una i media vez mayores que los que figuran en el reglamento de 1891 para los puentes metálicos. Se ha aceptado, en efecto, que es suficiente un solo cálculo que comprenda la accion del viento; el reglamento de 1891, admite en los límites un aumento de un kilógramo para las verificaciones referentes al viento.

Ademas, los efectos dinámicos de las cargas rodantes, que actúan en los puentes, no existen aquí i la accion del viento parece que en jeneral debe disminuirse. Es por esta razon, que teniendo en cuenta la disminucion de los efectos dinámicos, se ha aumentado los límites en medio kilógramo.

Los límites señalados para las tensiones del fierro fundido (la fundicion) se ha fijado principalmente en vista de la verificacion de las obras existentes: para las construcciones nuevas i cuando esten espuestas a sufrir estensiones, el empleo de este metal solamente se admitirá en casos mui escepcionales.

Los coeficientes fijados en el artículo 1.° se aplica únicamente a piezas comprimidas que sean bastante cortas para que no haya lugar a reforzarlas, a fin de evitar que puedan ser flexionadas bajo la accion de las cargas. En el caso contrario se deberá tener cuenta de las prescripciones del artículo 4.° para reducir la presion.

Art. 2.° Las cualidades de los metales (art. 2) se define con las mismas reservas del artículo 3.° del reglamento de 1891 sobre los puentes metálicos.

Art. 3.° La sobrecarga de nieve indicada en el artículo 3.° corresponde a una capa, mas o ménos de 50 centímetros de espesor. Incumbe a los injenieros proponer la adopcion de sobrecargas mayores para las obras que se han de construir en rejiones donde la nieve cae en abundancia; ellos podrán, al contrario, proponer la reduccion en aquellos puntos escepcionales donde la nieve jamas alcanza esos espesores. Pero siempre, las reducciones se admitirán únicamente cuando se tiene documentos bien comprobados, durante un período bastante largo.

La presion del viento i su inclinacion se restrinjirán dentro de los límites jeneralmente admitidos por los constructores. Los injenieros deberán proponer presiones mas

fuertes para las cubiertas que han de construirse a orillas del mar, o en aquellos valles o rejiones donde el viento es mui violento i pueden, al contrario, tomar en cuenta la disminucion de intensidad que resulta de las circunstancias locales.

ART. 4.° Las verificaciones relativas al flexionamiento (art. 4) deberán hacerse para la fundicion, como para el fierro i el acero.

ART. 5.° Las pruebas indicadas en los artículos 5.° i 6.° se harán por medio de sobrecargas dispuestas sobre la techumbre o por medio de tracciones que actúen en un cierto número de puntos de union que lleven cables con dinanómetros o que fueren cargados directamente. Las deformaciones de conjunto i las locales se medirán por medio de aparatos apropiados.

En el informe en que anoten los resultados de las pruebas (art. 7) se colocará tambien la comparacion de las deformaciones observadas con los que se han previsto por el cálculo i la discusion de sus discordancias.

Le ruego atenerse estrictamente a las instrucciones que preceden, acusándome recibo de la presente circular. — PEDRO BAUDIN.

REGLAMENTO DE LAS CUBIERTAS PARA SALAS DE ESPERA O MERCADERÍAS DE LOS FERROCARRILES

ARTÍCULO 1.° *Límite de fatiga de los materiales.* — Las diferentes piezas de las armaduras, destinadas a cubrir superficies accesibles al público o solamente para el personal de las compañías, se calcularán de tal manera que en las condiciones mas desfavorables — teniendo en cuenta la carga permanente como tambien la sobrecarga de la nieve i la presion del viento—la fatiga primaria calculada con una seccion neta, es decir descontando los agujeros de los remaches i pernos, no debe pasar de los límites indicados mas abajo.

I.—Para la madera (abeto o encina) (*)

Estension o compresion paralela a las fibras, por centímetro cuadrado..	60	kilógramos
Cizallamiento paralelo a las fibras, por centímetro cuadrado.....	10	»

II.—Para la fundicion.

Estension directa, por milímetro cuadrado.....	$2\frac{1}{2}$	kilógramos
Estension en las piezas flexionadas, por milímetro cuadrado.....	$3\frac{1}{2}$	»
Compresion, por milímetro cuadrado.....	7	»

III.—Para el fierro.

Estension o comprension, por milímetro cuadrado.....	8	kilógramos.

IV.—Para el acero

Estension o comprension, por milímetro cuadrado.....	10	kilógramos.

(*) N del T. La encina puede compararse al roble de Chile.

Todos estos límites se rebajarán en los casos siguientes: Cuando los fierros laminados en una sola direccion se someten a esfuerzos de traccion perpendiculares al sentido del laminado, los coeficientes de los cálculos relativos a estos esfuerzos se disminuirán en una tercera parte. La fatiga por deslizamiento o por cizallamiento se limitara a los $\frac{4}{5}$ de la fatiga por estension o compresion. Para el fierro laminado en una sola direccion se tendrá en cuenta la reduccion indicada para la resistencia de traccion perpendicular al sentido del laminado. El número ĩ dimensiones de los remaches se calculará de manera que la fatiga al cizalle del metal no pase los $\frac{4}{5}$ del límite mas bajo que se ha admitido para las piezas ensambladas i que el trabajo del arranque de las cabezas, si se produce, no sobrepase de 3 kilógramos por milímetro cuadrado, en los esfuerzos de la remachadura.

Los cálculos justificativos de la colocacion de los remaches, formarán siempre parte de los proyectos, como tambien los cálculos de las dimensiones de las diferentes piezas

Se hará igual cosa con los cálculos de los ensambles por medios de pernos.

ART. 2.º—*Cualidades que deben tener el fierro i el acero para que correspondan a los límites de fatiga fijados en el artículo primero.*—Los coeficientes de fatiga del metal fijados anteriormente para el fierro i el acero, deben corresponder a las cualidades definidas por las condiciones siguientes:

CLASE			ALARGAMIENTO	RESISTENCIA
			Mínimum de ruptura medido sobre padrones de prueba de doscientos milímetros de largo.	Mínimum a la traccion, en kilógramos por milímetro cuadrado, medido sobre padrones de prueba de 200 milímetros de largo.
Fierro laminado..	Fierro perfilado i plano (en el sentido del laminado)..		8 p. c.	32 p. c.
	Planchas.	En el sentido del laminado.....	8 p. c.	32 p. c.
		En el sentido perpendicular al laminado.....	3.5 p. c.	28 p. c.
Acero laminado.....			22 p. c.	42 p. c.
Remaches de fierro.....			16 p. c.	36 p. c.
» de acero.....			28 p. c.	38 p. c.

Los cuadernos de especificaciones fijarán para el acero el mínimum i el máximum entre los cuales deberá estar comprendida la relacion del límite práctico de elasticidad dividido por la resistencia de ruptura.

El mínimum no podrá ser inferior a $\frac{1}{2}$ i el máximo no podrá pasar de $\frac{2}{3}$.

La administracion autorizará coeficientes de fatiga mas elevados, para metales de cualidades diferentes, siempre que aquellos sean bien comprobados.

No se tolerará en ningun caso, el empleo de aceros frájiles o quebradizos i se verificará frecuentemente, durante la construccion, la calidad del metal bajo este punto de vista. Los cuadernos de especificaciones deberán tener prescripciones detalladas a este respecto, sin perjuicio de otras condiciones relativas a las cualidades del metal.

En todos los casos que se emplee el acero, los agujeros de los remaches, despues de ser perforados se limarán por lo ménos un milímetro mas de espesor, i por consiguiente los bordes de las piezas cortadas al cizalle tendrán un juego o espacio libre igual al espesor que se ha limitado.

ART. 3.º—*Sobrecargas.*—Se admitirá una sobrecarga para la nieve de 60 kilógramos por metro cuadrado de superficie horizontal i para la presion del viento, accionando por un solo lado, 150 kilógramos por metro cuadrado de superficie normal a su direccion.

Esta última se supone dirijida hácia la tierra, haciendo un ángulo de 10 grados con el horizonte.

Si α es, en grados, el ángulo de inclinacion de la techumbre, se podrá reemplazar la accion del viento por una sobrecarga vertical igual a $150 \operatorname{sen}^2 (\alpha + 10^\circ)$ kilógramos por metro cuadrado de superficie cubierta i por un empuje o componente horizontal que tiene la misma espresion $150 \operatorname{sen}^2 (\alpha + 10^\circ)$ kilógramos por metro cuadrado de superficie en elevacion (véase nota final).

Se supone que el viento máximum obra al mismo tiempo que cae la nieve.

ART. 4.º—*Piezas comprimidas.*—Se comprobará en todos los casos, que las piezas comprimidas no estan espuestas a flexionarse, que la compresion se ejerce sobre la totalidad de la pieza cargada de punta, ya sea sobre una parte solamente de esta pieza (cabeza o estremo superior de una viga) o ya sea que esté asociada a otros esfuerzos, como ser en el cizallamiento (alabeadura del alma de las vigas) i por último que si la compresion obra de una manera contínua, o intermitente.

ART. 5.º—*Pruebas.*—Las armaduras despues de concluidas se someterán, siendo posible, a pruebas que tienen por objeto verificar su resistencia bajo los esfuerzos que estan llamados a soportar, debiendo concordar las indicaciones del cálculo con las deformaciones locales o de conjunto, causadas por los esfuerzos

ART. 6.º—*Armaduras antiguas.*—Se hará tambien, cuando sea posible, una prueba de cada tipo de armadura existente. Se comparará los resultados obtenidos con las indicaciones del cálculo, i la discusion se anotará en un informe. Se podrá conservar las obras sin refuerzo alguno, si las fatigas reales de los materiales no se esceden en ningun punto, mas del 80 por ciento de los límites fijados en el artículo primero; si la fatiga primaria de cada seccion, no se sobrepasa mas del 30 por ciento de aquellos límites i si, ademas, las obras no manifiestan signo alguno de deterioro o de desgaste.

ART. 7.º—*Control de pruebas.*—Las pruebas de las obras construidas o en construccion por concesionarios, se harán en presencia del injeniero encargado del control o de un ajente designado por aquel.

El informe detallado de las pruebas, será remitido por aquellos a la administracion superior.

ART. 8.º—*Derogaciones de las prescripciones del reglamento.*—La administracion se reserva el derecho de apreciar los casos escepcionales que pueden dar motivo para derogar algunas prescripciones del presente reglamento.

(Traducido del Boletin de la Comision Internacional del Congreso de Ferrocarriles. Octubre 1902.)

CÁRLOS CARVAJAL M.,
Injeniero Civil.

N. DEL T.—SOBRECARGA DEL VIENTO

Los constructores belgas hasta hoi dia tomaban para la presion del viento, 100 a 125 kilógramos por metro cuadrado de superficie normal a su direccion, i suponian que la direccion de esta fuerza hacia un ángulo de 15.º con el horizonte.

En el artículo 3 de este reglamento se ha aumentado la sobrecarga a 150 kilógramos por metro cuadrado de superficie normal a su direccion; pero la inclinacion de esta con el horizonte, se ha disminuido a 10.º Esta direccion del viento, supuesta de arriba a abajo, es decir dirijida hácia la tierra, es causada por el rozamiento retardatriz del aire con el suelo i con todos los obstáculos que encuentra.

Suponiendo conocida la presion del viento por metro cuadrado de superficie normal a su direccion i la inclinacion que hace esta con el horizonte, se puede facilmente demostrar la segunda parte del artículo 3, que dice: que la accion del viento sobre una techumbre, que tiene un ángulo a con el plano horizontal, se reemplaza por un sobrecarga vertical igual a

$$150 \text{ sen}^2 (a + 10^\circ) \text{ kilógramos}$$

por metro cuadrado de superficie cubierta i por un empuje o componente horizontal que tiene la misma espresion:

$$150 \text{ sen}^2 (a + 10^\circ) \text{ kilógramos}$$

por metro cuadrado de superficie en elevacion.

El artículo 3 supone que el viento tiene una presion de 150 kilógramos por metro cuadrado de superficie normal a su direccion, i que esta hace un ángulo de 10.º con el horizonte.

Llamaremos P esa presion por metro cuadrado:

$$P = 150^k \times 1 \text{ metro}_2$$

Sea A B (figura 1) la normal a la direccion del viento, que se tomará igual a 1 metro i la que hará un ángulo β con la vertiente A C. En el triángulo A B C se tiene:

Fig. 1

$$A\,B = A\,C \cos B;$$

pero

$$\beta = 90.^{\circ} - (\alpha + 10.^{\circ})$$

de donde

$$A\,B = A\,C \operatorname{sen} (\alpha + 10^{\circ}.)$$

Si tomamos A C = 1 metro, tendríamos que la presion del viento por metro cuadrado de superficie de vertiente es igual a:

$$P' = 150^{k} \times \operatorname{sen} (\alpha + 10.^{\circ}) \times 1 \text{ metro}^2$$

Esta fuerza la descomponemos en una paralela i en una normal a la vertiente.

La componente paralela no actúa sobre aquella; determinemos, entónces, el valor de la componente normal:

Representemos por A′ B′ (figura 2) la presion P′, la que quedará descompuesta en la paralela B′ C′ i la normal A′ C′.

Fig. 2

La primera no obra i la segunda tendrá un valor de:

$$A'\,C' = A'\,B' \cos \beta.$$

Reemplazando los valores de A′ B′ i de β, i llamando N la componente normal A′ C′ se tendrá:

$$N = 150^k \text{ sen}^2 (\alpha + 10^o) \times 1 \text{ metro}$$

Esta fuerza N, la volveremos a descomponer en dos: una vertical i otra horizontal a la vertiente.

Llamaremos A″ B″ (figura 3) lafuerza normal N, la que se descompondrá en la vertical V = A″ C″ i la horizontal H = B″ C″.

En el triángulo A″ B″ C″, se tiene:

$$V = A'' B'' \cos \alpha, \text{ poniendo sus valores:}$$

a) $$V = 150^k \text{ sen}^2 (\alpha + 10.^o) \times 1 \text{ metro}^2 \times \cos \alpha,$$

b) $$H = A'' B'' \text{ sen } \alpha = 150^k \text{ sen}^2 (\alpha + 10^o) \times 1 \text{ metro}^2 \times \text{sen } \alpha.$$

Pero 1 metro² × cos α, en la fórmula (a) es la superficie cubierta por un metro cuadrado de vertiente, o sea su proyeccion horizontal H′ = O A″ cos α, suponiendo que O A″ = 1 metro.

Fig. 3

El valor de un metro² × sen α, de la fórmula (b), es la superficie en elevacion de un metro cuadrado de vertiente o sea su proyeccion vertical:

V′ = O A″ sen α, si, como acabamos de suponer, O A″ = 1 metro.

En otras palabras podemos decir, entónces, que: «la accion del viento sobre la techumbre, se puede reemplazar por una sobrecarga vertical igual a 150 sen² (α + 10°) kilógramos por metro cuadrado de superficie cubierta por la vertiente donde obra el viento i por un empuje o componente horizontal que tiene la misma espresion, 150 sen² (α + 10°) kilógramos por metro cuadrado de superficie en elevacion de aquella vertiente,» que es lo que se trataba de demostrar.

Antes de terminar, es conveniente averiguar, como dato ilustrativo, la diferencia que habrá entre la antigua sobrecarga para el viento de 100 kilógramos por metro cuadrado de superficie normal con la inclinacion de 15°, i la nueva sobrecarga de 150 kilógramos por metro cuadrado, con una inclinacion de 10°.

Tomemos como ejemplo una techumbre con un ángulo de 27° con respecto a la horizontal, pendiente comunmente empleada en las rejiones lluviosas para las cubiertas de fierro galvanizado.

La componente vertical del viento con la nueva sobrecarga, aplicando la fórmula (a), será:

$$V = 150^k \text{ sen}^2 (27^o + 10^o) \cos 27^o = 48^k 43 \text{ por metro}^2$$

Con la antigua sobrecarga:

$$V' = 100^k \text{ sen}^2 (27^\circ + 15^\circ) \cos 27^\circ = \frac{39.88}{8.55} \text{ por mt.}^2$$

Restando tenemos:

Es decir, que para la vertiente, con una inclinacion de 27°, empleando la nueva sobrecarga, se tiene una componente vertical del viento: 8.^{k}55 por metro cuadrado, mayor que la componente vertical de la antigua sobrecarga.

La componente horizontal del viento con la nueva sobrecarga, aplicando la fórmula (b) es igual a:

$$H = 150^k \text{ sen}^2 (27^\circ + 10^\circ) \text{ sen } 27^\circ = 24^k68 \text{ por metro}^2$$

Con la antigua será:

$$H = 100 \text{ sen}^2 (27^\circ + 15^\circ) \text{ sen } 27^\circ = \frac{20.31}{4.37} \text{ por mt.}^2$$

Restando:

Es decir, que la primera es 4.^{k}37 por metro cuadrado, mayor que la segunda.

Observacion final.—Actualmente en Chile las cubiertas de los edificios públicos no se someten a ninguna prueba de resistencia i seria de desear que el Ministerio de Industria i Obras Públicas adoptara el presente Reglamento siquiera para aquellas obras de alguna importancia, como ser Estaciones de los Ferrocarriles i otras, que están espuestas a las grandes presiones de los fuertes vientos que nos visitan con tanta frecuencia.