

Influencias de las variaciones de temperatura en las deformaciones de los tramos metálicos

Bien conocidos son los efectos que las variaciones de temperatura producen en las estructuras metálicas que constituyen especialmente las vigas principales de los tramos, produciéndose alargamientos o acortamientos, según aquélla aumente o disminuya; variaciones de longitud, influenciadas no solamente por las expresadas diferencias de temperatura, sino también por la longitud de dichas vigas.

Igualmente son del dominio general las disposiciones que se adoptan para evitar en aquellas estructuras los esfuerzos secundarios que se producirían sobre los que con carácter normal e inevitable han de resistir las diversas barras que constituyen aquéllas, utilizándose aparatos de apoyo y deslizamiento debidamente preparados y dispuestos para que uno de los extremos de las vigas principales, supuesto el otro fijo o empotrado, pueda moverse con libertad mediante la sustentación de primer grado o de dilatación, evitándose que, por el empotramiento de ambos extremos, sus elementos constitutivos experimenten esfuerzos de tracción cuando la estructura se contrajera con relación a su longitud media de montaje, y de compresión en caso contrario.

No siempre es posible establecer estos medios, como se hace en las vigas rectas, pues hay casos, como en los tramos en arco, etc., en los que es forzoso mantener empotrados y fijos los dos extremos, y entonces, lo contrario de lo que suele ocurrir en las vigas rectas, hay que calcular todos los elementos y barras que forman aquéllas, para los esfuerzos suplementarios que se presenten.

No he de tratar en esta nota de estos esfuerzos, sobradamente conocidos y estudiados, sino de otros no tan observados, que por ello no han sido objeto de investigación tan generalizada.

Nuevas observaciones.—Me referiré, en lo sucesivo, a tramos metálicos con vigas rectas, en las cuales he hecho las observaciones que motivan estos apuntes.

Nadie desconoce que todos los tramos de esta clase se deben construir y montar con una cierta contraflecha, función de la luz y condiciones del tramo, la que tiene por objeto compensar a la flecha, que inevitablemente ha de alcanzar toda construcción por su propio peso y carga permanente, con objeto de que la estructura presente un aspecto adecuado y no quede como si con carácter definitivo tuviera dicha flecha, con el inconveniente, grave, además, en el caso de que haya de ser utilizada para el paso de trenes a grandes velocidades, de que la vía nunca tendría la rasante debida.

Además de esta flecha que se consigue no apareciendo utilizando aquel artificio, siempre se registran las producidas por el paso de las sobrecargas de mayor o menor importancia, según la de éstas y la rigidez dada a la construcción.

Un medio eficaz, rápido y seguro de comprobar el estado de conservación y resistencia de un tramo metálico, especialmente aquél, es medir únicamente la flecha permanente y accidental que presenta y comparar con las que al comienzo del servicio de la obra se registraron, pues es evidente que el aumento de

una y otra demuestran, sin duda alguna, especialmente el aflojamiento, y por ello la pérdida de rigidez de las uniones y enlaces que, dadas las hipótesis y modo de construir de la obra, conviene alcancen valores cuanto más elevados posibles.

Los datos obtenidos por estas observaciones justifican y exigen trabajos de refuerzo, mejoras de la estructura, y, en ocasiones, su reemplazo por otra nueva.

Por ello en todas las disposiciones oficiales existentes en todos los países se exigen estos reconocimientos, que pueden considerarse como en el caso de un enfermo como «la toma del pulso», que, si bien no señala cuál es la enfermedad de éste, sí marca la anormalidad y alteración en su salud; así, en el art. 45 de la vigente Instrucción española se prescribe la nivelación previa de sus tramos a su puesta en servicio, determinándose en su art. 52 la importancia de las flechas medias, apreciándose igualmente en el art. 54 la obligatoriedad de su comprobación cada dos o diez años, según los casos, para seguir de cerca el estado de conservación de la estructura.

Todo ello explica el interés con que es preciso seguir el estudio de estas deformaciones verticales, no siendo menor el que merecen las deformaciones laterales, cuya determinación y comparación también se prescribe en aquellos artículos.

Motivado por ello, se siguen en la Compañía de M. Z. A., con atención preferente, estas deformaciones y medidas, y al realizar estas observaciones se llega, en algunos casos, a la alarma al obtener realidades no esperadas, de categoría muy superior a las previstas, con irregularidades bien extrañas.

Así, por ejemplo, se apreciarán flechas de carácter permanente, deformaciones verticales, que no deben aparecer en obras nuevas con poco servicio; deformaciones horizontales que solamente se observan en estructuras ya próximas a su desguace, y, lo más sorprendente, deformaciones de una y otra clase con valores cambiantes y diferentes, según sea el elemento observado.

Así, por ejemplo, bien frecuentemente se han estudiado diferencias de éstas, más o menos acentuadas en unas y otras cabezas de las vigas principales, y sin que tampoco hubiera uniformidad en análogos puntos de ambas vigas; una vez registrados estos resultados, si se volvía a medir, en ocasiones diferentes, aparecían con valores absolutos distintos y en ocasiones con signos diferentes.

Estas anomalías me llamaron poderosamente la atención y han originado múltiples ensayos y experiencias que, al descubrir las causas de todas ellas, han permitido obtener determinadas leyes de variación, con resultados casi siempre concordantes con los que debieron deducirse a la vista de las hipótesis trazadas.

Casos concretos.—Veamos algunos casos de anomalías de los anteriormente indicados:

Montado un tramo con la contraflecha adecuada para que al quedar sin andamio ni apoyo intermedio, al ponerse en servicio quede con los ejes de inercia

de las cabezas de las vigas superiores e inferiores de las vigas principales rectos, lo que se comprueba antes del paso de ningún tren de sobrecargas, y que se relacionan cuidadosamente con puntos bien fijos y determinados que no sean precisamente cabezas de roblones, para evitar que al ser éstas sustituidas en cualquier ocasión varíe su referencia, al comprobar periódicamente con arreglo a la Instrucción y en cualquier momento o período de experiencia pierda la rasante medida, tomando en unos casos flechas y contraflechas y en otros en ambas cabezas de cada viga con valores y signos diferentes.

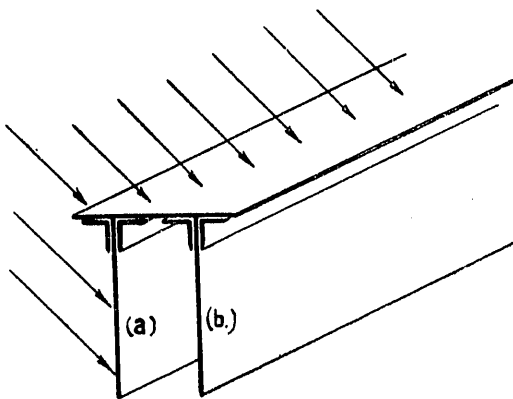
Análogamente la alineación recta longitudinal de las vigas principales, medida precisamente en sus cabezas, varía y se deforma con flechas laterales al exterior o interior del tramo, variando en las cabezas superiores e inferiores en cada viga.

Como antes se indica, comprobadas estas diferencias repetidas veces, en escasas ocasiones se llega a resultados uniformes.

Explicación del fenómeno.—Todo ello es debido a las variaciones de temperatura-ambiente, por afectar de modo muy diverso a las varias partes de la estructura.

Según experiencias cuidadosas, al amanecer, el aire-ambiente que rodea las barras de la estructura está todo él con temperatura uniforme y casi idéntica a la que aquélla alcanza; al salir el sol aumenta aquella temperatura, incrementándose igualmente la de la estructura; pero los rayos solares, al incidir en diversos elementos de ella, afectan más a la parte directamente expuesta a ellos y menos a las que directamente no reciben estos rayos, alcanzando también diferentes valores, según la posición relativa de los componentes de cada pieza.

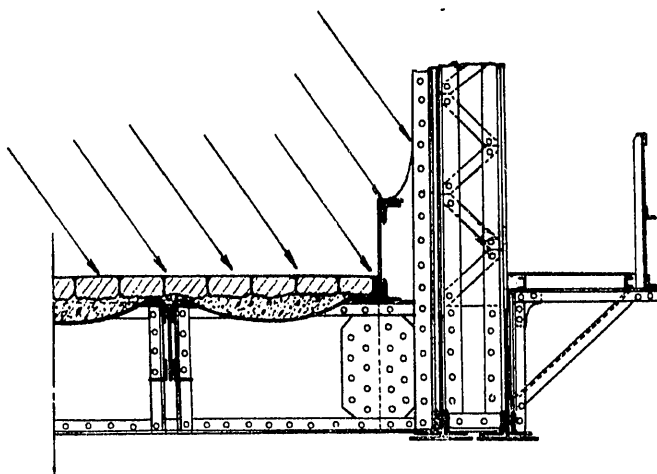
Así, por ejemplo, si se examina la figura 1.^a, en la que se representan por flechas los rayos solares, es

Fig. 1.^a

evidente que la temperatura del alma vertical (a) ha de ser muy superior que la del alma (b), si bien en el transcurso del día y al variar la dirección de dichos rayos solares llega el momento en que la posición relativa sea la contraria, y entonces se eleve la temperatura del alma (b), alcanzando casi la misma que tuvo la (a); pero como ésta no ha perdido, por radiación, al seguir con temperatura alta el aire-ambiente, siempre se observa que la parte de las vigas principales, orientada al Este, alcanza más pronto y conserva más tiempo la temperatura que los elementos orientados al Oeste, mostrándose extraordinariamente más acentuado este fenómeno cuando el eje

de simetría del tramo está orientado en la dirección Norte-Sur, y no tan acentuadamente cuando no es ésta la dirección de este eje.

Veamos, además, otra causa bien patente de la diferencia de temperatura en diversas partes de una estructura; aludo al caso representado en la figura 2.^a, en la cual aparece una sección transversal de un tra-

Fig. 2.^a

mo para carretera de piso superior, en el cual éste protege enormemente la parte interior de la cabeza superior, que suele estar afectada por los rayos solares en su alma (b), puesto que la (a) nunca, o casi nunca, recibe éstos directamente.

Estas diferencias de temperatura en partes varias de una misma pieza se presenta no sólo en las cabezas, sino igualmente en los montantes, diagonales, arriostramientos, etc., dando lugar a que en cada pieza o barra, dados sus enlaces rígidos o articulados con las inmediatas, se experimenten deformaciones, alargándose las partes cuyas temperaturas son mayores, y menos o nada en las de mínima graduación.

Sin embargo, los efectos comprobados, sobre todo en los tramos de dimensiones y luces corrientes, no excepcionales, como son los que en España pueden observarse, presentan máxima importancia en las cabezas, y mínima, generalmente despreciable, en las otras piezas.

Las experiencias realizadas han permitido comprobar que en tiempo nublado, en el cual los rayos solares no irradian directamente a las piezas, sino que elevan y descienden según las horas y circunstancias, casi por igual, la temperatura ambiente y de un modo uniforme, no se presentan estas anomalías de un modo tan acentuado.

Igualmente las experiencias marcan que estas anomalías aparecen con graduación muy distinta en invierno y en verano.

Debe tenerse, además, en cuenta que la estructura metálica, dada su naturaleza, es un verdadero acumulador, como se comprueba fácilmente, pudiéndose citar para su comprobación múltiples casos particulares; entre ellos señalaré que para variaciones de temperatura ambiente entre $+19^{\circ}$ y $+51^{\circ}$, el material llega a la temperatura de $+63^{\circ}$ (puente sobre el río Guadalquivir, en Lora del Río).

Todas estas circunstancias, así expuestas, explican las diversas anomalías observadas.

En efecto, al tomar las flechas con nivelación cuidadosa, han de variar, según corresponde a la cabeza del tramo, más o menos protegida por el piso y ele-

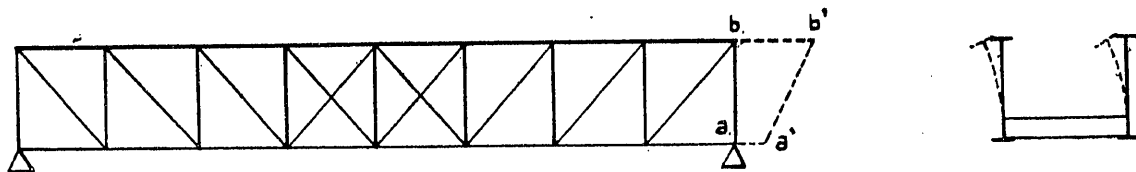
mentos macizos, menos propicios a la absorción térmica y con coeficientes de dilatación muy diversos al acero.

Para explicar el caso prácticamente, veamos qué es lo que ocurre en el tramo de piso inferior, representado esquemáticamente en la figura 3.^a

Al ser de piso inferior, sus cabezas inferiores, pro-

Es evidente que no son de gran consideración, numéricamente hablando, las diferencias medidas; pero son lo suficiente para dar lugar a dichas deformaciones e incrementar los trabajos de los diversos elementos.

Procedimiento experimental.—Veamos, antes de seguir adelante, cómo se toman las temperaturas en

Fig. 3.^a

tegidas eficazmente por los elementos de dicho piso, no alcanzan nunca la temperatura de las superiores, directamente afectadas por ésta.

No es exagerado, y las experiencias lo confirman, llegar con aquéllas, en un determinado momento, a $+40^\circ$, y en éstas a $+55^\circ$; estos 15° de diferencia, si se toma una luz teórica, que podemos suponer de 40 metros, por ejemplo, acusan diferencias si suponemos temperatura igual y uniforme del amanecer de $+10^\circ$, para la dilatación en ambas cabezas; de $45^\circ \times 40 \text{ m} \times 0,000012 - 30^\circ \times 40 \text{ m} \times 0,000012 = 0,0072$ metros.

Suponiendo que los extremos izquierdos, en la figura, de las vigas principales son fijos, y libres los derechos, la dilatación producida por la elevación de temperatura traslada de a a a' el extremo de la cabeza inferior, y de b a b' el de la cabeza superior, tomando el montante de apoyo la posición $a'b'$, inclinado un ángulo con la vertical, función de las diversas dilataciones de sus cabezas, consecuencia de las circunstancias antes citadas.

Ahora bien, para llegar a estas posiciones se precisa que todos los montantes y diagonales unidos en los diversos nudos de las dos cabezas superiores e inferiores se deformen en ellos, y al ofrecer estos elementos las resistencias naturales, dada la rigidez que deben tener, además de incrementar fuertemente sus esfuerzos normales, que las piezas han de soportar, dan lugar a deformaciones de la cabeza superior, en este caso con presentación de flechas extraordinarias que ocasionan las anomalías observadas; es decir, que la resistencia natural ofrecida por los enlaces por estos desiguales calentamientos, puede ser vencida, apreciándose las flechas anormales observadas.

Estos esfuerzos que motivan estas deformaciones pueden dar lugar a flechas verticales o laterales y a ambas a la vez, pudiendo la sección transversal de tramo aparecer como se representa en la misma figura de puntos, con posibles alteraciones en uno y otro caso, de la vía, si se trata de tramos metálicos para ferrocarriles, las que pueden llegar a ser peligrosas o, por lo menos, de muy mal efecto exterior.

Cuanto hemos dicho al considerar el caso que, como ejemplo se ha presentado, que las dos cabezas de cada una de las dos vigas principales alcanzan temperaturas diferentes, se exagera más todavía al ocurrir, como ya se ha indicado, que dentro de cada cabeza hay dilatación distinta en sus diversos elementos, según éstas se encuentren más o menos afectadas por los rayos solares, según las condiciones atmosféricas y las horas del día en que las mediciones se realicen.

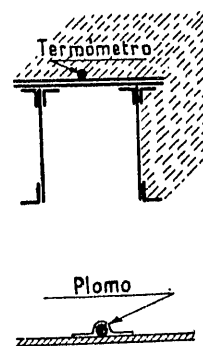
los diversos elementos de una estructura. Se emplean termómetros muy sensibles, desprovistos de tabla, chapa, etc., y con la graduación en el mismo cristal, apoyándose la ampolla o depósito de mercurio en contacto con la chapa, cuya temperatura se quiere determinar, rodeándose dicha ampolla con un papel de plomo de ancho suficiente para cubrir aquélla, el que se extiende, además, por uno y otro lado para que quede buena superficie de él en contacto con la pieza metálica y para que dada su buena conductibilidad y absorción de la temperatura establezca una excelente transmisión térmica con el termómetro. Este, en su columna, se cubre con fieltros, para aislarle en lo posible de las influencias exteriores.

Si, como aparece en la figura 4.^a, sólo se coloca un termómetro y se hace una sola lectura en la pieza en ella representada, las indicaciones no corresponderán más que a la medición de la pieza cuyo contacto se establece; si fuese la cabeza superior, ésta tiene una temperatura máxima y superior a la media; si, por el contrario, se admitiese la del alma vertical protegida, llegaríamos a medir la temperatura inferior a la media, y como para conocer verdaderamente la temperatura media hay que tomar varias mediciones simultáneamente, se suele, en el caso representado en la figura, tomar tres y deducir dicha media.

Los peraltes se medirán colocando en cada nudo de las vigas principales y en sus cabezas superior e inferior listones de madera de determinada longitud y con trazos bien visibles a un metro de su extremo, siendo estos listones de longitud prácticamente invariable, dada su poca dilatabilidad.

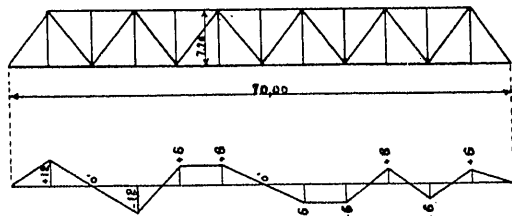
Se colocan todos estos listones en la tarde anterior al día en que se hayan de hacer las experiencias, así como los termómetros correspondientes en los sitios marcados en las diversas piezas, y se comienzan las mediciones para determinar el movimiento de cada listón, para hallar, en definitiva, las flechas de las cabezas en las primeras horas de la madrugada y después cada dos o tres horas, señalando en cada anotación el estado atmosférico, viento, dirección, etcétera, así como la temperatura ambiente en la sombra.

Indicaré a continuación los resultados obtenidos en un caso concreto objeto de múltiples experiencias

Fig. 4.^a

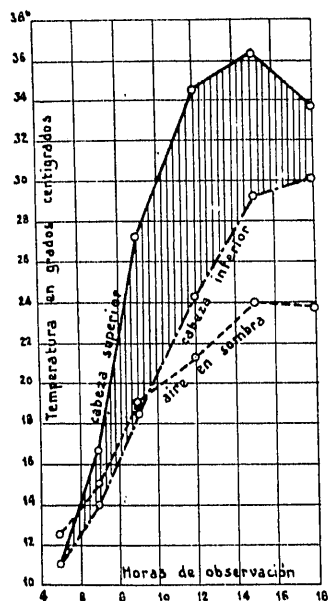
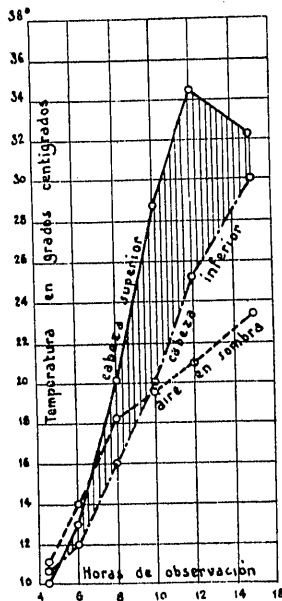
o sea el tramo metálico de 70 metros de luz, colocado sobre el río Guadiato en la línea de Córdoba a Sevilla, en las proximidades de Almodóvar, lugar apro-

salida del sol, y las que siguiendo la línea quebrada se marcan, son las lecturas, en análogas condiciones, el día 10 de junio, pudiéndose apreciar hay modificaciones en sentido positivo y negativo con relación

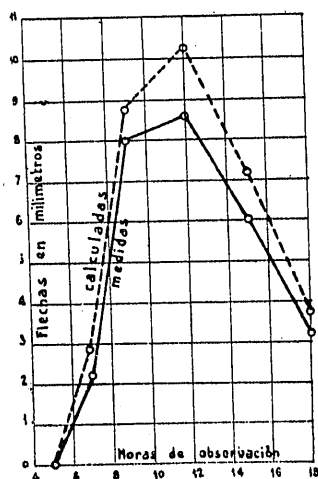
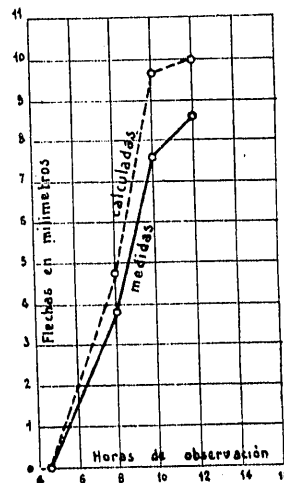
Fig. 5.^a

piado por sus condiciones meteorológicas para esta clase de experiencias.

La altura de sus vigas principales es de 7,26 m y

Fig. 6.^aFig. 7.^a

la separación de los planos de simetría de las mismas, 5,60 m. Aquéllas son de tipo Warren, divididas en 12 recuadros, y el tramo es de piso inferior.

Fig. 8.^aFig. 9.^a

Se hicieron observaciones los días 15 de marzo y 10 de junio, y en el diagrama representado en la figura 5.^a la línea recta que aparece se asimila a las lecturas correspondientes al primer día citado, a la

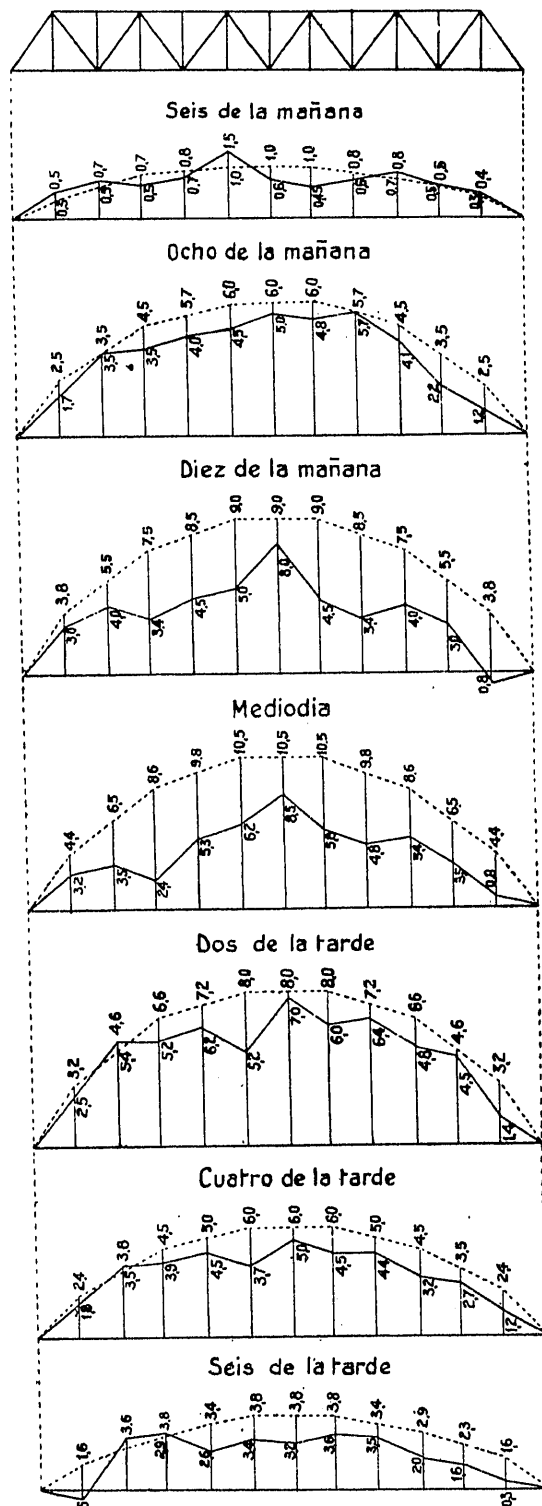


Fig. 10

a la recta representativa antes fijada, que llegan a 6 milímetros.

Las observaciones completas del día 10 de junio se representan en los diagramas de las figuras 6.^a y 7.^a, y en ellos y en abscisas se marcan las horas de observación, y en ordenadas, las temperaturas en cada una de las cabezas de las vigas principales, y en el ambiente en sombra y en la proximidad de ella, correspondien-

do la figura 6.^a a la viga más afectada directamente por el sol, o sea, la orientada al Este, y en la figura 7.^a la que corresponde en su orientación al Oeste.

En ambos diagramas aparece que en los primeros momentos en que la observación se desarrolla, la temperatura ambiente es superior a la de los elementos metálicos de las vigas principales; hacia las seis de la mañana, poco después de la salida del sol, aumenta la temperatura de las cabezas superiores más que en el ambiente, cortándose las curvas representativas, elevándose rápidamente la que corresponde a las temperaturas de dichas cabezas superiores.

Las temperaturas de las cabezas inferiores aumentan aunque con menor rapidez, como debe ser, por estar más protegidas por el piso, cortándose sus curvas a la de la temperatura ambiente hacia las diez de la mañana, quedando siempre muy por bajo de la temperatura de la cabeza superior, llegando a existir diferencias de 10° al medio día entre ambas cabezas, y mayor la de la cabeza superior que la de la temperatura ambiente en unos 15°.

En la viga directamente afectada por el sol comienza el descenso de la temperatura en las cabezas superiores, o sea las expuestas a los rayos a las quince, y sólo a las diez y ocho horas, en las inferiores, donde hay menor radiación, aunque también ha ascendido menos.

En la viga orientada al Oeste, o sea menos afectada, comienza el descenso al medio día en la cabeza superior, y en la inferior, a las quince.

En los diagramas representados en la figuras 8.^a y 9.^a se señalan las flechas máximas medidas en las vigas más o menos afectadas por los rayos solares, indicándose en las abscisas las horas de observación y en ordenadas los milímetros medidos en estas deformaciones.

Aparecen dos curvas: una de trazos y otra de línea llena, aquélla determinada por mediciones directas siguiendo los métodos expuestos y ésta mediante el cálculo o fórmulas de las que más adelante nos ocuparemos, fórmulas aproximadas únicamente.

Se aprecia la similitud de forma y ritmo, aunque no la coincidencia de ambas representaciones.

En la figura 10 se representan los diagramas completos de las deformaciones en todos los nudos de las vigas izquierdas, apreciándose las curvas de deformación, calculadas y medidas por análogos signos convencionales.

Quede para otro artículo la exposición de algunas fórmulas que tratan de determinar analíticamente los efectos que las variaciones de temperatura producen en las vigas metálicas, para evaluar los esfuerzos suplementarios que son su consecuencia.

D. MENDIZÁBAL

Ingeniero profesor de la E. de C., C. y P.

La actual legislación sanitaria y sus modificaciones convenientes¹

IV

Alcantarillas públicas

El Reglamento de Obras y Servicios municipales contiene en los artículos 6 y 23 disposiciones relativas a las alcantarillas públicas que son acertadísimas, pues exige que siempre que en la misma vía existan conductos para las aguas negras (alcantarillas) y los destinados a la alimentación, deberán éstos encontrarse encima de aquéllos. Estas disposiciones tienen su precedente en el art. 7.º, párrafo f) de la Real orden de 9 de agosto de 1923. Su objeto es evitar que una filtración que se produjera en el alcantarillado pueda encontrar en las capas inferiores tuberías de agua potable, y su redacción es tan concreta y precisa que lo mejor es no modificarla.

En los mismos artículos referidos se preceptúa que se establezcan las canalizaciones subterráneas en forma tal que puedan hacerse fácilmente las reparaciones, reduciendo todo lo posible la parte de pavimento que se levante. El acierto de esta norma general es también evidente; pero refiriéndose en especial a las alcantarillas públicas, aunque se hayan proyectado de tal modo que no se produzcan en ellas depósitos en su funcionamiento normal, se debe prever su limpieza en forma que no sea preciso le-

vantar el pavimento. Si la alcantarilla tiene dimensiones que la hagan visitable, puede hacerse esta operación desde dentro de ella; pero, en otro caso, es preciso dividirla en trozos rectos de menos de 50 m por medio de registros, en los que se puedan introducir los operarios encargados de la limpieza; por consiguiente, se precisarán registros en los cambios de dirección, pendiente, sección, en las confluencias y en trozos rectos, de modo que las longitudes comprendidas entre registros sean inferiores a 50 m; se elige esta distancia porque es la máxima longitud en la que prácticamente se puede hacer bien la limpieza. Las dimensiones de estos registros han de ser suficientes para que se puedan hacer dichas operaciones, y en su fondo habrá el espacio preciso para desviar los caudales afluentes, haciendo que confluyan en la misma dirección. A fin de que las aguas circulen constantemente encauzadas, el fondo de los registros debe presentar canales, teniendo los espacios inmediatos a ellas pendiente hacia las mismas. Las canales deberán ser del mismo material adoptado para la tubería, y los espacios inmediatos estarán, al menos, enlucidos con mortero rico en cemento.

Otra circunstancia que debe tenerse en cuenta es el caso de que la alcantarilla se desarrolle al nivel o por debajo de la capa acuífera. La Real orden de 3 de enero de 1923 dice en su art. 2.º que cuando el suelo de una población o parte del mismo asiente sobre un terreno en que la capa acuífera se encuentre a poca

¹ Véanse los números de 15 de octubre y 15 de noviembre de 1929, páginas 390 y 411, y el de 15 de abril de 1930, página 159.