

Fig. 19.

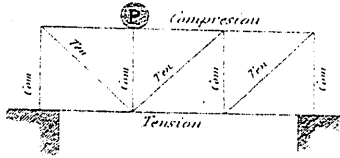


Fig. 20.

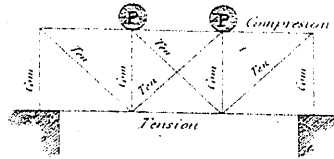


Fig. 21.

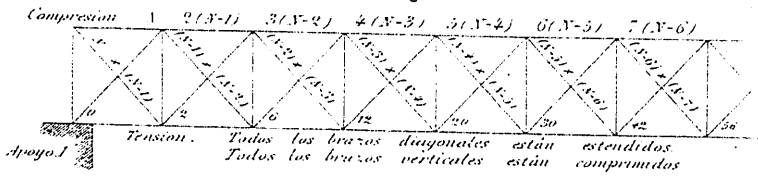


Fig. 22.

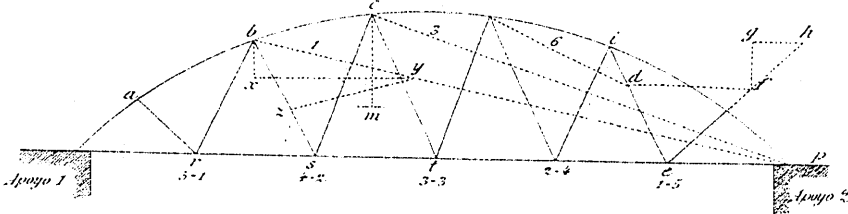


Fig. 23.

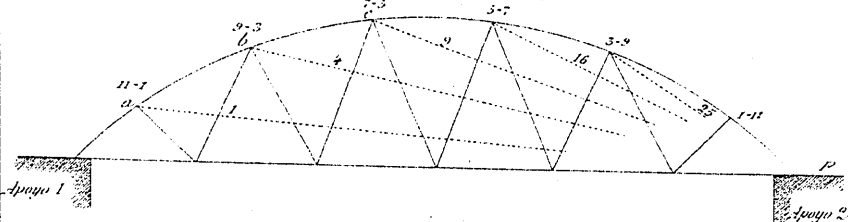


Fig. 24.

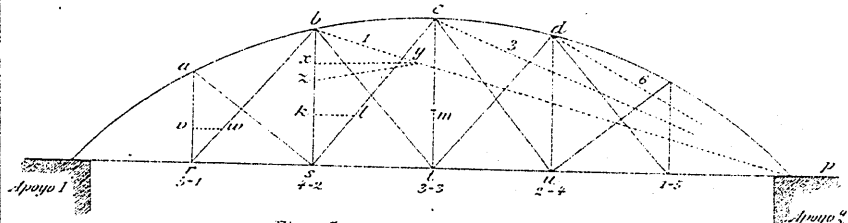
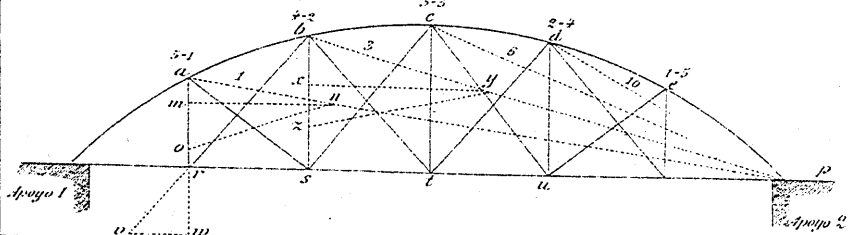


Fig. 25.



MADRID 1.º DE MAYO DE 1866.

TOMO XIV.

NÚM. 9.º

DE LAS FUERZAS QUE ACTÚAN EN LAS OBRAS DE HIERRO.

(Continuacion.)

Cuchillos con montantes verticales.

27. La manera mas ventajosa de disponer los cuchillos de las formas indicadas en las Figs. 18 á 24, es colocarlos de modo que sufran compresion los brazos verticales ó montantes, y tension los inclinados. En este caso presentarán los brazos una buena combinacion, si se los dispone convenientemente, y una reconocida ventaja respecto á la compresion, por ser mas cortos que los inclinados del sistema triangular, no sufriendo como estos un aumento de presion por hallarse situados oblicuamente. Esta ventaja se nota mas en las piezas comprimidas, porque su tendencia á doblarse aumenta, no solamente con el peso que actúa, sino con el cuadrado de su longitud; mientras que las fuerzas que actúan en una pieza extendida, tratan de mantenerla en posicion rectilínea y su longitud, por lo tanto, no ejerce influencia alguna.

28. El autor ha visto varios cuchillos empleados, tanto en edificios como en grandes puentes, sujetos á pesos variables y establecidos segun principios erróneos. Por lo tanto, nos proponemos investigar los efectos que cada peso ejerce sobre la obra, segun sean las condiciones de la construccion.

En un cuchillo de esta clase con un peso central superior, Fig. 18, se da lugar á los siguientes efectos: El peso total está sostenido en el primer caso por el montante vertical a , desde el cual se trasmite la mitad hácia cada apoyo, por medio de los brazos b y c , los que sufren una tension igual á la mitad del peso, multiplicado por la relacion entre su longitud y su altura. Considerando un solo lado desde el centro, tendremos que la tension en b produce, por la descomposicion de las fuerzas, una compresion en d y e . Como d es horizontal, y por lo tanto, impropia para sostener un peso vertical, la pieza e sostiene el peso $\frac{1}{2} P$, y transmitiéndole en direccion del punto de apoyo, ejerce una tension en f y h . La pieza h resiste el peso vertical y produce una compresion en g y i , y esta trasmite finalmente el peso $\frac{1}{2} P$ al apoyo. Iguaes efectos se producen al otro lado, y puede obtenerse el valor exacto de estas fuerzas de la manera siguiente: Refiriéndonos á la Fig. 18, supondremos $P=6$ toneladas, tomando $s v=\frac{1}{2} P$ ó 3, con una

escala dada y tirando las paralelas vt y tr , la longitud de ts dará la tension en el brazo, y rs la compresion en la cabeza superior, que obra de s al centro en P . En y se desarrollan los mismos esfuerzos, estando medida la compresion por la distancia yz , actuando tambien de y al centro; y de aquí se deduce que la division horizontal, próxima al centro, recibe la accion de dos fuerzas, y de una la próxima al apoyo, las cuales se hallan neutralizadas por otras iguales y contrarias, del otro lado del centro; y si hubiera tres divisiones á cada lado, seria la proporcion de las fuerzas horizontales que experimentasen, como 1, 2, 3, y lo mismo para cualquier otro número. La compresion en la division central a es igual á P ó 6 toneladas, y en las demás verticales es $\frac{1}{2} P$; pero si el peso estuviera colocado en la parte inferior, se hallarian análogamente los esfuerzos producidos, y serian nulos para el montante central.

29. Por lo expuesto se ve fácilmente que el objeto principal que se debe tratar de satisfacer, al proyectar una obra de esta naturaleza, es que al colocar sobre ella en un punto cualquiera un peso, se trasmita en ciertas condiciones á los apoyos, y que los brazos que realizan esta condicion sean á propósito para el objeto. Por lo tanto, todo peso, en la clase de obra que consideramos, exige una série de brazos, que le enlace con los apoyos, parallenar las condiciones necesarias á que se la destina.

30. La construccion del cuchillo de la Fig. 18, solo es á propósito para un peso central. Si se coloca una carga á distancias desiguales de los apoyos, se dispondrán los brazos como en la Fig. 19, en la cual se trasmiten los dos tercios del peso al apoyo mas próximo, y un tercio al mas distante, variando la resistencia de los brazos convenientemente.

31. Si un cuchillo de esta especie está cargado en dos puntos intermedios, se construirá como indica la Fig. 20, con objeto de transmitir el peso de una manera conveniente á los apoyos, segun se ha dicho en el párrafo 29. Los cuchillos de esta naturaleza se han usado mucho en el Palacio de Cristal en 1851, y en otros edificios análogos.

32. Si hay cuatro ó mas divisiones horizontales en el cuchillo, con pesos en cada una de ellas, se pondrán dobles diagonales á cada una, excepto la última; aunque en la práctica se ponen ordinariamente tambien á esta, para aumentar la resistencia y obtener un cuchillo simétrico.

33. Ahora nos falta dar las fórmulas necesarias, bajo una forma conveniente, para los usos prácticos, con las cuales puedan conocerse los esfuerzos que experimentan estos cuchillos.

Los que sufren las diversas partes de un cuchillo por una carga central, Fig. 18, han sido ya explicados detalladamente en el párrafo 28.

Para cuchillos de este género cargados uniformemente, da la Fig. 21 una serie de números proporcionales á los esfuerzos de la obra, en funcion del número de piezas ó divisiones horizontales N. Para hallar los esfuerzos de estas, pueden aplicarse las siguientes reglas, y al hacer el cálculo en la práctica, es conveniente poner, sobre un dibujo de la obra proyectada, los números hallados por la fórmula dada en la Fig. 21, llamados números proporcionales.

Cálculo de las cabezas.

Refiriéndonos á la Fig. 21, el esfuerzo horizontal, en la division ó par de divisiones centrales es equivalente á $\frac{pL}{8A}$, como ya se ha visto anteriormente.

Si a es el número proporcional aplicable á la division ó par de divisiones centrales, y b el aplicable á cualquiera otra, el esfuerzo en esta será igual al central, multiplicado por $\frac{b}{a}$ (1).

Cálculo para los brazos extendidos.

El esfuerzo en la última diagonal, cuyo número proporcional es $N(N-1)$, (2), es igual á la mitad del peso total, multiplicado por la relacion de la longitud del brazo á la distancia vertical de sus extremos. Si llamamos c al número proporcional aplicable al último brazo extendido, y d al de cualquiera otro, la tension en este será igual á la del último, multiplicado por $\frac{d}{c}$.

Cálculo para los brazos verticales ó montantes.

Los números proporcionales para los brazos verticales se hallan de la siguiente manera: si el peso está en la cabeza superior, el número en funcion de N , para el primer montante sobre el apoyo, será N^2 ; y para cualquiera otra, será la suma de los números proporcionales de las dos diagonales, que se encuentran en la parte inferior del montante. Si el peso está en la cabeza inferior, será en cada caso el mismo número menos N , y se pueden hallar fácilmente estos valores sobre el dibujo de la obra proyectada, poniendo despues los números proporcionales para los brazos que sufren tension, como se ha dicho mas arriba. La compresion en los montantes se puede hallar entonces de esta manera: la que actúa sobre

el último montante es igual á la mitad del peso de la obra cargada, ó $\frac{1}{2}P$; y si e es el número proporcional aplicable al último montante, y f el correspondiente á cualquiera otro, el esfuerzo sobre este será

igual á $\frac{1}{2}P \times \frac{f}{e}$. Si tenemos, por ejemplo, siete divisiones en un cuchillo, cargado en la cabeza superior y de la naturaleza indicada en la Fig. 21, el número proporcional para el último montante es $N^2 = 49$, y el esfuerzo que ha de resistir es $\frac{1}{2}P$; el número proporcional para el tercer montante es tambien $(N-1)(N-2) + 6 = 6 \times 5 + 6 = 36$, y el esfuerzo que sufre es $\frac{1}{2}P \times \frac{36}{49}$ (1).

Cuchillos en arco.

34. El perfil de esta clase de obras consiste generalmente en una cabeza superior, en forma de segmento de círculo, y en otra horizontal inferior ó tirante, sobre la que se coloca el piso. Entre ambas cabezas se establecen brazos que forman triángulos sencillos generalmente, ó bien con montantes, como ya se ha dicho, y ejemplos de estas construcciones son las Figs. 22, 23, 24 y 25. En esta disposicion el esfuerzo se ejercerá por el arco á los apoyos, y se halla contrareestado por la cabeza inferior ó tirante, necesitando solamente los apoyos poder sostener el peso de la obra.

35. El esfuerzo de compresion en el arco ó cabeza superior, y el de tension en el tirante, son iguales entre sí, y uniformes en toda la longitud (2). El valor de este esfuerzo en el caso de estar uniformemente distribuidos los pesos, es igual á $\frac{PL}{8A}$; en funcion

del peso total, longitud y flecha del cuchillo.

36. El cálculo de los esfuerzos que actúan en los brazos de un cuchillo en arco es mas complicado que en el caso de un cuchillo recto, porque la inclinacion, tanto de los brazos como de la cabeza superior, en las partes comprendidas por los puntos de union, varian continuamente en toda su longitud. El método práctico mas fácil de obtener los esfuerzos de los brazos, es el de establecer la distribucion de los pesos, y aplicar á un dibujo de la obra el siguiente procedimiento gráfico.

37. Cuando el cuchillo en arco está formado con brazos triangulares en un número conveniente de espacios ó divisiones iguales, Fig. 22, y cargado en la cabeza inferior, la distribucion de los pesos es la siguiente. Si el peso que se carga en cada punto se

(1) Véase acerca de este particular lo dicho en la primera nota del párrafo 5.

(2) Véase sobre esto lo indicado en la nota del párrafo 15.

(1) Lo dicho en la nota correspondiente al párrafo 15 puede aplicarse á este caso.

(2) Realmente esta propiedad corresponde á una curva diferente del arco de círculo; pero cuando la flecha de este no pasa del cuarto de la luz, apenas puede apreciarse la diferencia en la práctica.

indica por el número de divisiones, que es 6 en la Fig. 22, las partes de los diversos pesos transmitidos á cada apoyo, estando en razon inversa de su distancia ó número de divisiones á los mismos, serán como los números puestos en la parte inferior de la figura; así del peso 6 sostenido en el punto *r*, se transmiten cinco partes al apoyo 1, y una al 2, y así con los demás. Por lo tanto, examinando los pesos transmitidos por los brazos al apoyo 2, como si actuaran en cada punto de la cabeza superior, resultará que el punto *b* recibe por el brazo *r b* la porcion de peso señalada en *r* por la figura, esto es, 1; el punto *c* recibe el mismo 1 y además 2 del peso en *s*, por el brazo *s c*, total 3; el punto inmediato recibe el mismo 3 y 3 de *t*, total 6; y así sucesivamente, resultando los números 1, 3, 6, 10, 15, 21, etc., que son la adición de la serie 1, 2, 3, 4, 5, 6, etc.

Para hallar el valor de la compresion en los brazos inclinados, desde su parte superior hácia el apoyo 2, tiremos las líneas *bp*, *cp*, etc., que son las resultantes de las presiones transmitidas desde los puntos *b*, *c*, etc., á aquel apoyo, por medio del cuchillo, como se ha dicho mas arriba. Tomemos desde *b* con la escala, $bx = 1$, que es el número correspondiente á *b*, *p é y z* paralela á la recta que une los puntos *b* y *c*; entonces tendremos que *z* representará la compresion del brazo *bs*, en funcion de *N* ó número de divisiones. Tiremos desde *c* la vertical *cm* = 3, que es el número correspondiente á *cp*, y procedamos del mismo modo, teniendo así los esfuerzos que experimentan todos los brazos en funcion de *N*.

Para hallar los esfuerzos efectivos, se multiplicarán los números anteriores por $\frac{P}{N}$, siendo *P* el peso que se considera en un punto.

Tambien pueden hallarse los esfuerzos de tension de los demás brazos que están inclinados hácia el apoyo 1, de la siguiente manera.

Comenzando en el extremo próximo al apoyo 2, tomemos *e d* con la escala, de modo que represente el esfuerzo del brazo *ie*, como se ha dicho mas arriba, tiremos la horizontal *df*, y desde *f* y con la escala

la vertical $fg = P \frac{n}{N}$; siendo *P* el peso que actúa en

un punto, *N* el número total de divisiones y *n* el número de estas que dista *e* del apoyo 2. Tirando la horizontal *gh*, tendremos que *eh* mide en la escala dicha el esfuerzo que actúa en *e f*, sucediendo lo mismo con los demás brazos inclinados hácia el apoyo 1 (Fig. 22).

38. Cuando esta construccion está sujeta á una carga variable, como sucede ordinariamente en la práctica, los brazos deben ser capaces en cada caso de resistir el esfuerzo total de compresion y tension hallado por los medios anteriores, puesto que esfuerzos de una y otra naturaleza pueden obrar en ciertos casos separadamente. Cuando la obra está cargada uniformemente, los brazos están en realidad libres de esfuerzos, porque las fuerzas compresivas y extensivas son iguales y se neutralizan entre sí; en

cuyo caso el arco y la cuerda ó tirante se hallan únicamente cargados, como se ha dicho en el párrafo 25.

Debe tambien observarse que en esta clase de obras los brazos centrales están mas cargados que los próximos á las pilas, al contrario de lo que sucede en un cuchillo recto cargado uniformemente, en que los esfuerzos de los brazos aumenta desde el centro á los extremos.

39. Cuando el peso está colocado en la parte superior de estos cuchillos, con brazos triangulares. Fig. 23, el primer peso en *a* está á la distancia de media pieza ó division del apoyo *s*; el segundo en *b* á la de una y media, y así sucesivamente. Por lo tanto, si llamamos 6 el peso en cada punto cargado, en funcion del número de piezas, como se ha dicho en el párrafo 37, los números proporcionales, que indican las partes del peso transmitido á cada apoyo, serán $\frac{1}{2}$ y $5\frac{1}{2}$ en el punto *a*, $1\frac{1}{2}$ y $4\frac{1}{2}$ en el *b*, y así sucesivamente, estando en razon inversa de las distancias ó número de divisiones á los apoyos; y si se duplican estos números, para mayor facilidad en el cálculo, tendremos los términos 1 y 1 en *a*; 3 y 3 en *b*; 7 y 5 en *c*; etc., como se ha puesto en la parte superior de la Fig. 23. Los números puestos en las resultantes (véase párrafo 37) tiradas desde los extremos superiores de los brazos al apoyo 2, son 1 en *a*; $1+3=4$ en *b*; $4+5=9$ en *c*, y así sucesivamente, formando en este caso la serie de los cuadrados 1, 4, 9, 16, 25, etc. El procedimiento para hallar las fuerzas que actúan en los brazos, comenzando por tomar en la escala los números señalados en las resultantes como ántes, es el mismo descrito en el párrafo 37, solo que los esfuerzos hallados para los brazos deben dividirse por dos en este caso, por haberse duplicado, con objeto de evitar fracciones, los números proporcionales. Las observaciones hechas en el párrafo 38, pueden aplicarse igualmente á éste.

40. Cuando los brazos están dispuestos como en las Figs. 24 y 25, en que los verticales resisten generalmente á la compresion y los diagonales á la tension únicamente, pueden obtenerse, de una manera análoga, los esfuerzos que reciben. Suponiendo colocados los pesos en la parte inferior, resultarán los números señalados en las varias resultantes de que se ha hablado en el párrafo 37, y que aparecen en la Fig. 24. El procedimiento para hallar los esfuerzos es semejante, y puede describirse brevemente, para un peso inferior, en cuyo caso tan solo los extremos verticales sufren tension.

Cinco partes del primer peso 6, colocado en *r*, Figura 24, se transmiten al apoyo 1, por la vertical *ra*, y la porcion de arco de *a* al apoyo 1; *ra* sufre una tension igual á 5 ó $N-1$. La diagonal *rb* transmite el resto 1 del peso al apoyo 2, y si se toma en la escala $rv = 1$, y se tira la horizontal *vw*, *rw* representará la tension correspondiente en *rb*; y estos son los únicos esfuerzos á que se hallan sujetos *ra* y *rb*. Tomemos $bx = 1$, siendo el número de la resultante *bp*, tiremos *xy* horizontal *é y z* paralela á *bc*, el valor de *bz* por la escala dará la compresion de la vertical *bs*; si hacemos del mismo modo $sk = bz$, ti-

rando la horizontal kl , el valor de sl dará la tension de sc . Siguiendo el mismo procedimiento tendremos $cm=3$, siendo el número de la resultante cp , y se hallarán los esfuerzos proporcionales sobre ct y td , y así sucesivamente.

41. El anterior procedimiento da la tension sobre todas las diagonales paralelas á rb , y la de las paralelas á sa son respectivamente iguales, teniendo así el esfuerzo, que actúa sobre todas ellas, en funcion de N . Aunque mas complicadas, pueden hallarse las acciones que experimentan las verticales, de este modo: La primera vertical ar , Fig. 24, sufre una tension igual á $N-1$, como ya se ha dicho. La segunda bs , sufre una compresion medida por bz , á causa de los pesos situados entre ella y el apoyo 1, transmitidos al apoyo 2, y otra compresion por los pesos situados entre la misma vertical y el apoyo 2, transmitidos al apoyo 1. Este último esfuerzo es igual al ya hallado en du , producido por los pesos situados entre du y el apoyo 1, transmitidos al apoyo 2. De aquí se sigue por lo tanto, que la adición de los esfuerzos hallados en las verticales bs y du , segun se ha manifestado en el párrafo precedente, da el valor total de la presion en cada una de ellas, sucediendo otro tanto con cada par de verticales correspondientes, excepto las dos primeras que sufren tension. Cuando, como en este caso sucede, hay en el centro una vertical cl , la presion que experimenta, es por la misma razon, doble del valor del esfuerzo hallado, segun se desprende de lo dicho anteriormente.

42. Se obtiene el esfuerzo que experimentan los brazos, multiplicando los números hallados en funcion de N , por $\frac{P}{N}$, siendo P el peso parcial en cada punto. Ya se ha dado en el párrafo 35 la fórmula para obtener el esfuerzo en el arco y el tirante.

43. Cuando se consideran cuchillos de la forma indicada por la Fig. 25 y descrita al principio del párrafo 40, cargado en la parte superior, pueden obtenerse los esfuerzos producidos de la siguiente manera: La figura expresa la distribucion del peso en cada apoyo y los números de las diversas resultantes, como se ha dicho en el párrafo 37. Tomemos desde a , y en una escala dada, $am=1$, siendo el número correspondiente á la resultante ap ; tírese la horizontal mn hasta hallar á ap , y no paralela á ab ; ao medirá entonces el valor de la compresion en ar , en funcion de N . El esfuerzo de la diagonal rb es igual al de ra , multiplicado por la relacion entre su longitud y su altura vertical, y puede medirse con la misma escala en rv , que se determina haciendo $rw=ao$ y tirando wv horizontal, hasta hallar la prolongacion de rb . Siguiendo del mismo modo, y tomando desde b , $bx=3$, que es el número correspondiente á la resultante bp , tiremos xy horizontal é yz paralela á bc , bz será la presion en bs , así como el valor vertical de la tension en sc , y así podrian tenerse los demás esfuerzos, que actúan en la obra, en funcion de N . Respecto á la tension sobre las diagonales, se verá que una vez hallados los esfuerzos sobre rb , sc , td y ue , se tendrían los de to-

das las diagonales, pues que la tension en td es igual á la de tb , y la de ue igual á la de sa . Respecto á las piezas verticales, la compresion en ar es igual á am ó 1 , que es análoga á la de la pieza e ; el esfuerzo total en bs y du , en funcion de N , es equivalente cada uno á la suma de las compresiones halladas para estas piezas, como acabamos de describir y por las razones dadas en el párrafo 41; y el esfuerzo total en la pieza del centro cl , es doble de la compresion hallada de este modo.

44. El esfuerzo efectivo en los brazos, se obtiene multiplicando los totales anteriores por $\frac{P}{N}$, siendo

P el peso que carga en uno de los puntos dados. La fórmula que da los momentos en el arco y el tirante, es la indicada en el párrafo 35.

Cuchillo de forma irregular.

45. Nos falta dar un método general para calcular en detalle los esfuerzos que se producen en un cuchillo de este género, pudiéndose aplicar este principio, segun lo exijan las circunstancias. Tomando, por ejemplo, el cuchillo de la Fig. 26, bastará trazar los efectos de un peso dado P , puesto en uno de los puntos cargados de la construccion, pudiendo estar análogamente distribuidos los pesos en los demás puntos.

Por lo tanto, si llamamos 7 á P , Fig. 26, en funcion del número de divisiones, como se ha explicado en el párrafo 9, se transmitirán 4 partes al apoyo 1, y 3 al 2, estando en razon inversa de la distancia ó número de partes que hay desde el peso á los apoyos. Los esfuerzos producidos por la porcion 4, transmitidos al apoyo 1, pueden fijarse detalladamente de esta manera: Primero se transmite el peso 4 al punto b , por el brazo Pb , que sufre por lo tanto, un esfuerzo de tension, cuyo valor en sentido vertical es 4. Este se transmite luego hácia el apoyo 1, por medio de las piezas bh y bg , y la resultante de las presiones de estas partes se halla en la línea bp , desde b hácia el apoyo. Para determinar los esfuerzos en las partes que confluyen en b , tiremos la resultante bp y tomemos $bd=4$, que es el peso vertical, y la horizontal de , trazando despues ef paralela á la resultante bp ; entónces dará be la tension del brazo bP , y bf la compresion de bc . Procediendo de la misma manera con las demás partes que se dirijen al apoyo, tiremos la horizontal dk desde d , y teniendo bk el valor vertical de 4, representará la resultante de las compresiones en bh y bg ; y si se traza ki paralela á bg , y kl paralela á bh , la distancia ib dará la compresion en bh , y la bl la compresion en bg . Para hallar la tension en gP y gh , que resulta de la compresion del brazo bg , hagamos $gm=bl$ y tiremos las paralelas mo y mn con objeto de descomponer mg en go y gn , y estas darán la tension en direccion de gP y gh .

De esta manera se transmite el peso 4 al punto h , desde el que se refiere hácia el apoyo por hv y hr . Procediendo como hemos dicho, tirando la resultan-

te $h p$ al apoyo, tomando $h g = 4$, trazando la horizontal por g hasta la resultante, y desde aquí paralelas á $h v$ y $h r$, es fácil ver que la compresion de $h r$ está dada por $h y$, y la de $h v$ por $h x$; la tension de $v r$ por $v j$ y la de $v g$ por $v u$, segun la escala adoptada. Transmitiéndose el peso 4 al punto r , no hay mas que tomar $r s = 4$ y tirar $s t$ paralela á $v p$, y $r t$ nos dará entónces la compresion de $r p$, y $t s$ la tension de $v p$.

Siendo horizontal la cabeza inferior, se mide la tension total de $g P$, por $g n + v u + t s$; la de $v g$, por $v u + t s$; y la de $v p$ por $t s$, como hemos demostrado en las explicaciones dadas en el párrafo 7.

Los esfuerzos producidos en las demás partes de la obra, por la porcion de peso P transmitido al apoyo 2, se pueden determinar análogamente; y si suponemos la obra cargada en varios ó todos los puntos, la suma de los esfuerzos semejantes producidos por cada peso, dará el efecto total en cada una de sus partes.

El peso P arriba dicho, se deduce en funcion del número de divisiones N , y los esfuerzos hallados tienen la misma relacion con el esfuerzo definitivo que N con el peso.

Cuchillos llenos.

46. Estos excelentes cuchillos son de un uso muy general, y el cálculo de los esfuerzos que sufren se verifica como se ha dicho en los párrafos 3, 4 y 5.

Cuando hay que sostener grandes pesos, ó cuando se necesita mucha seguridad y estabilidad laterales, se emplean ordinariamente cuchillos tubulares; y el cálculo de su resistencia no difiere en nada del ya descrito en los párrafos citados.

47. La cantidad necesaria de material, conveniente á cada parte de la obra, en que ya se han determinado los esfuerzos, se arreglará por varias condiciones. Así es, que si la carga está sujeta á cambios repentinos de intensidad y posicion, deberá ser la obra mas resistente que si tuviera que sufrir una carga uniforme; y como cambian en cada caso, las condiciones del hierro, la necesidad mas ó ménos grande de disminuir la flexion y otras varias circunstancias, puede decirse que esta cuestion depende en gran parte de la experiencia y conocimientos prácticos del Ingeniero.

Comparacion de las diferentes especies de cuchillos.

48. Una vez descritas las resistencias de las diversas especies de cuchillos empleados en la práctica, nos proponemos considerar brevemente las respectivas ventajas de cada uno.

Los cuchillos llenos son indudablemente superiores á los demás. Producen, á igualdad de condiciones, una construccion más rígida, resistente y duradera; presentan un carácter mas sencillo y son mas económicos en cuchillos pequeños. Sin embargo, cuando las luces pasan de ochenta á noventa pies (24,4 á 27,4 metros), son mas baratos los cuchillos en celo-

sía y poco inferiores en resistencia; y como pueden laminarse barras de mayor longitud que las planchas, se construyen las celosías, aun en cuchillos muy altos, con piezas que comprenden toda su altura, al paso que hay necesidad de establecer juntas horizontales empleando planchas, para alcanzar la altura conveniente.

Los cuchillos con brazos ó simples triángulos son ménos rígidos que los demás, y se hallan expuestos á graves inconvenientes, puesto que una falta en un brazo cualquiera, lleva consigo la destruccion de toda la obra. Bajo otro aspecto, presentan algunas ventajas por su baratura y fácil trasporte, pudiéndolos llevar en pequeñas y ligeras piezas á puntos de difícil acceso, y montarlos con poco gasto. Sin embargo, un doble sistema triangular, roblonando los brazos de sus intersecciones, da iguales ventajas y es una construccion mejor, con un coste adicional pequeño.

En resumen, y suponiendo que los esfuerzos y el material se hallen en iguales condiciones, puede establecerse por regla general, que las ventajas respectivas de los diferentes sistemas de cuchillos dependen de dos circunstancias. La primera es la continuidad y perfeccion de la pared que une ambas cabezas, y bajo este punto de vista, ocupan el primer lugar, los cuchillos llenos; el segundo, las celosías en que los brazos se cruzan varias veces, acercándose á los cuchillos llenos; y el tercero, los triangulares. La segunda circunstancia es el modo de asegurar las diversas partes del cuchillo entre sí, que se verifica ordinariamente, por medio de roblones ó pasadores, que atraviesan las piezas en sus intersecciones. El primer método es, sin disputa, superior y se adopta universalmente para los cuchillos llenos, y con mucha frecuencia para los de celosía, aunque su aplicacion en estos no es, en todos los casos igualmente eficaz. Los roblones son mas aplicables cuando las presiones verticales están muy repartidas, como en el caso de los cuchillos llenos ó en celosía muy compacta; los grandes pasadores son mas convenientes para el sistema triangular, sea sencillo ó doble, en que las presiones están reducidas á muy pocos puntos, pero con mayor intensidad (1).

(1) Los puentes de tramos rectos, bien sean los cuchillos llenos, en celosía ó de cualquier otro sistema, presentan varias ventajas especiales que los distinguen de los demás puentes metálicos. Si se prescinde de la accion horizontal producida por la dilatacion de los cuchillos, y cuyo efecto en la práctica se reduce notablemente por ciertas disposiciones particulares, como los rodillos de friccion y otras análogas; se verá que las resultantes de las fuerzas desarrolladas en los puntos de apoyo son verticales, circunstancia por la que se pueden disminuir las dimensiones de estos, procurando una gran economía cuando los apoyos son muy altos, si se los compara con los puentes en arco que producen empujes horizontales de gran intensidad, en ciertas circunstancias.

Con el empleo de esta clase de cuchillos se pueden

Proporcion entre la longitud y altura de los cuchillos.

49. Generalmente la altura de los cuchillos está entre $\frac{1}{10}$ y $\frac{1}{15}$ de la luz. La más económica, respecto á la cantidad del material, es $\frac{1}{12}$, ó una pulgada por pie (0,083 por metro), y es una proporcion excelente en la práctica; pero muchas veces hay necesidad de variarla por las diversas circunstancias de cada caso. Sin embargo, es importante advertir que la rigidez de la construccion es proporcional al cuadrado de la altura, y por lo tanto, aunque tenga la misma resistencia efectiva, aumenta con mucha rapidez la flexion, cuando se disminuye la altura. Por esta causa, en dos cuchillos que tengan igual luz y carga y de las alturas respectivas de $\frac{1}{10}$ y $\frac{1}{15}$ de la luz, ambos contruidos con las dimensiones convenientes para resistir los esfuerzos que actúan sobre ellos y cargados de la misma manera, se necesitarían pesos iguales para romperlos; pero la flexion del uno sería doble de la del otro (1).

salvar grandes luces, disminuyendo el número de pilas; ventajas que tienen gran importancia, cuando las fundaciones son difíciles y costosas, ó cuando es conveniente dejar la mayor seccion de desagüe posible.

Si se verifica un asiento en una de las pilas, es fácil levantar los puntos de apoyo convenientes del cuchillo, sin perjudicar la solidez de la construccion, al paso que en los puentes en arco puede comprometer toda la obra el movimiento de un solo apoyo.

Los puentes en arco, cuando tienen un tirante inferior, presentan ventajas en ciertas circunstancias, bajo el punto de vista de economia del material, dando lugar solamente á presiones verticales sobre los apoyos, y evitando los grandes empujes que sin el tirante produce este sistema, lo que obliga á darles dimensiones mucho mayores que en el primer caso. Cuando hay necesidad de construir varios claros sucesivos, son preferibles los cuchillos rectos.

(1) No se puede, en efecto, aumentar demasiado la altura de los cuchillos, porque además de los pesos de la construccion, tienen que resistir á ciertas fuerzas transversales, producidas por las sobrecargas que accidentalmente tengan que sufrir, lo que obliga á darles en este sentido la estabilidad conveniente; de los diversos experimentos practicados con este objeto, se ha deducido que la mejor relacion entre la altura del cuchillo y su longitud, bajo el punto de vista de la estabilidad y de la economia del material, es la que da el autor. Además, se deduce de las experiencias verificadas por Hodgkinson, que los cuchillos de hierro forjado pueden sostener aproximadamente la carga de rotura, sin experimentar desviacion lateral, cuando el ancho de las cabezas es $\frac{1}{22}$ de la

Carácter de la obra.

50. Cuando hay que llenar la condicion de economia de tiempo y coste de la obra, deberá adoptarse una disposicion de un carácter tan sencillo, que basten para su ejecucion los operarios ordinarios y los materiales usados generalmente. Si se proyecta la obra de tal manera, que exija materiales de un volumen y peso extraordinarios, máquinas especiales, ó trabajadores muy entendidos, en este caso, sólo puede llevarse á efecto por un limitado número de personas, cuya paga es muy crecida, y el coste total aumenta extraordinariamente. Así es que ciertos sistemas que, generalmente hablando, son inconvenientes y hasta ruinosos, deben evitarse á toda costa; y para esto es indispensable que los que tienen el encargo de proyectar la obra, posean conocimientos prácticos acerca de los procedimientos empleados en la preparacion del hierro que ha de usarse.

Por lo tanto, la obra deberá constar, en cuanto sea posible y aplicando estos principios, de materiales de las dimensiones ordinarias, con roblones u otros medios de enlace, colocados en cada caso, en los puntos convenientes. Estas clases de obras son siempre muy buscadas y preferidas por los fabricantes, pudiéndose adoptar en todos los casos, con muy rara excepcion, aun en construcciones de la mayor importancia.

Cubiertas de hierro.

51. La disposicion generalmente usada para las cubiertas, es de un carácter sencillo, y fáciles de determinar los esfuerzos que actúan sobre ellas.

En la forma indicada en la Fig. 27, que es la adoptada ordinariamente para cubiertas de dimensiones regulares, crecen los esfuerzos, desde el centro á los extremos, en el tirante y los pares, sucediendo lo contrario con los brazos. Suponemos que el peso se halla colocado en cada punto de interseccion de los brazos con los pares, y puede explicarse su accion de esta manera: Refiriéndonos al peso P, en la Figura 27, que representa una cubierta con seis divisiones, las partes del mismo transmitidas á cada apoyo son cuatro sextos al 1, que se transmiten directamente por el par P A, y dos sextos al apoyo 2 que los reciben primero P C y P D, transmitiéndolos por estas piezas y el pendolon D C al punto C, de la manera ya explicada en el párrafo 45: desde este punto se transmiten por el par C B al apoyo 2. Puede determinarse el esfuerzo en cada una de estas partes, tiran-

longitud (véase The Civil Engineer, etc., Abril de 1865), y como en la práctica no llega nunca la sobrecarga á este límite, se podrá disminuir esta relacion sin que por esto deje de tenerla conveniente resistencia lateral; pudiéndose de esta manera, obtener las dimensiones relativas del cuchillo, que llenen la condicion de la mayor economia y resistencia de la obra.

do la resultante desde P al apoyo 2, y procediendo como se ha explicado en el párrafo que se acaba de citar.

52. Cuando el tirante es horizontal y los pesos están distribuidos uniformemente, puede hallarse una serie de números de la manera dicha en los párrafos anteriores, que den los esfuerzos proporcionales en cada parte de la obra, en funcion de N ó número de porciones en que están divididos los pares. Las fórmulas para este caso, están puestas en la Fig. 28, y son aplicables á cualquier número de piezas. El término *a* aplicado á los pares es igual á

$$\frac{1}{2} N \times \frac{AB}{BC}, \text{ y el } b \text{ aplicado al tirante es}$$

$$\frac{1}{2} N \times \frac{AC}{BC}, \text{ ó lo que es lo mismo, el número de}$$

divisiones de un par solo, multiplicado respectivamente por las longitudes del par y del tirante y dividido por la altura de la cubierta.

Los números proporcionales, en funcion de N, correspondientes á las piezas verticales, forman la serie $\frac{1}{2} N$; N; $1\frac{1}{2} N$; 2 N; etc.; pero el número correspondiente al pendolon se deberá duplicar, puesto que recibe los esfuerzos de cada lado de la cubierta. Se hallan los esfuerzos de los brazos inclinados tirando líneas desde cada punto de aplicacion de los pesos en un par al apoyo mas distante, y tomando partes como los números 1, 3, 6, 10, 15, etc., segun ya lo hemos explicado en el párrafo 37. Para hallar el esfuerzo proporcional en cualquier pieza inclinada, la cuarta, por ejemplo, desde el extremo en la Fig. 28, tomemos *b p* igual á 10, número correspondiente desde o al apoyo mas lejos, tirese *p r* horizontal hasta cortar esta línea y *r s* paralela al par, o *s* representará la compresion de la pieza inclinada. De la misma manera se hallan los esfuerzos en las demás piezas inclinadas, tomando en las verticales el número correspondiente en cada caso, como se ha dicho ántes.

El esfuerzo que actúa en los pares puede hallarse de esta manera: El que sufre la última pieza del par, junto al apoyo 1, es igual á la mitad del peso que actúa, ó bien el peso de un par multiplicado por la relacion entre su longitud y su altura, que es la de A C á C D, Fig. 27. Por lo tanto, si llamamos *m* el número proporcional para la pieza dada (siendo (N-1) *a*, como aparece en la Fig. 28), y designamos por *n* el número proporcional para otra cualquier parte, tendremos que el esfuerzo en esta, será igual al de la última pieza, multiplicado por *n* y dividido por *m*.

53. Cuando el tirante de una cubierta es inclinado, como sucede muchas veces en la práctica, no son aplicables las fórmulas generales dadas en la Fig. 28, y pueden obtenerse los esfuerzos de esta manera:

En el cuchillo, que aparece en la Fig. 29, suponemos que el extremo inferior del par en *a* está sostenido por un muro ó columna, como se hace ordinariamente, y el extremo *b* lo está á su vez por una presion igual y contraria, producida por el otro par.

Basta, por lo tanto, tratar de la mitad de la cubierta, observando únicamente que la tension del pendolon *b c* debe duplicarse por recibir un esfuerzo igual por cada parte.

Habiendo tres divisiones en la Fig. 29, cada punto *d, e y b* recibe un tercio del peso del par (1), supongamos para hallar los esfuerzos, que *d f* representa el peso en *d*, tiremos *f g* paralela al par y *g h* al tirante, entonces nos dará *d g* la compresion del brazo, y *g f* la del par entre los puntos *a y d*, siendo *g h* la tension del tirante entre *a y k*. El brazo *d k* imprime á *k e* una tension medida por *d h*, que unida al tercio del peso del par actúa en el punto *e*. Tomemos *e l* igual á esta fuerza, tiremos *l m* paralela al par y *m n* al tirante, entonces nos dará *l m* un segundo esfuerzo en el par desde *a á e*; *m n* otro en el tirante desde *a á c*; y *e m* el esfuerzo en el brazo *e c*. El brazo *e c* imprime á *c b* una tension (duplicada como se ha dicho ántes) medida por *e n*, y que unida á la otra tercera porcion del peso del par, se trasmite al punto *b*. Tomemos *b o* igual á esta fuerza, tiremos *o p* paralela al tirante, y tendremos que *p o* y *p b* darán los valores respectivos del esfuerzo en el tirante y el par. De esta manera, se obtienen las fuerzas que actúan en cada brazo, y la suma de los esfuerzos arriba enumerados en el par ó tirante, dará el esfuerzo total en cada una de sus partes.

54. Si consideramos una cubierta, como aparece en la Fig. 30, cargada en su parte superior, y si representamos por *b c* la mitad del peso, los esfuerzos respectivos en cada parte serán como *a b, a c* y dos veces *c d* en la vertical *b c*, y cuando es horizontal el tirante no hay esfuerzos en el pendolon.

55. Presentamos las Figuras 31 á la 34 con objeto de facilitar el cálculo de estas fuerzas, en los casos que ocurren con mas frecuencia en la práctica. Aparecen las fuerzas respectivas en diversas clases de cubiertas, en las cuales están inclinados los pares en $2\frac{1}{2}$ por 1 y los tirantes en 15 por 1 que son las proporciones mas admitidas en la práctica. La luz y el peso en estas figuras, están representados por 1, y en las mismas se indican las fuerzas que resultan en cada una de sus partes, las que se han hallado como se dijo en el párrafo 53.

Pueden hallarse las fuerzas efectivas en cualquiera de las figuras anteriores de este modo: multiplíquese la luz de la cubierta por el ancho entre dos cuchillos consecutivos, y el producto por el peso, por unidad superficial, que sufre la obra; multiplicando el resultado por los números que aparecen en la figura, se obtendrán las fuerzas en cada una de sus partes, en funcion del mismo peso.

(1) Esta suposicion no es completamente exacta para una carga uniforme, porque el peso sostenido por *b* es menor que el de una parte entera. Sin embargo, la diferencia es inapreciable en la práctica, y el resultado es aumentar ligeramente el esfuerzo y la resistencia de la construccion.

56. Las fuerzas que actúan en el tirante y pares de una cubierta aumentan con la luz y disminuyen con la altura en el centro, como sucede con un cuchillo ordinario, del que no es mas que una variedad.

57. El autor, por último, cree deber citar las fuentes de donde ha sacado los datos y noticias, que se refieren al objeto de este tratado. Sus principales conocimientos los debe al difunto Mr. Carlos Heard Wild, cuya ilustre carrera ha sido cortada por una muerte temprana y muy sentida. También debe mencionar la utilidad que ha reportado de la lectura de la obra bien conocida de Mr. Edwin Clark, sobre el puente de Britannia; de un excelente tratado acerca de los cuchillos de Mr. Roberto Enrique Bow, y de una memoria sobre los brazos diagonales, leída en el Instituto de Ingenieros Civiles, por MM. Dogue y Blood.

(Se continuará.)

FERRO-CARRIL DEL NOROESTE.

SECCION DE LEON Á ASTORGA.

El 16 de Febrero último se ha dado principio á la explotacion de este trozo de ferro-carril, continuacion del de Palencia á Leon, formando entre ámbos una longitud de 175 kilómetros, de los que 52 son los nuevamente entregados al tránsito público.

El proyecto oficial, que sirvió de base á la concesion, llevaba su traza directamente desde Leon á Ponferrada, dejando á Astorga á 17 kilómetros á la izquierda. Aunque no sea esta una ciudad de movimiento comercial extraordinario, es sin embargo un centro establecido ya de muchos años, y que no convenia en manera alguna á la Compañía concesionaria abandonar, tanto por buscar el tráfico donde hoy dia existe, que es más seguro que contar con el que ha de nacer, como por tener una cabeza de linea de buenas condiciones para Galicia, interin se continúan las obras por la divisoria principal del Miño. Circunstancias son estas que, á pesar de su importancia, se concibe muy bien que no fijasen la atencion de los distinguidos autores del proyecto oficial, ocupados en trazar una linea de más de quinientos kilómetros, en la que ciertos pormenores debian quedar oscurecidos ante las cuestiones de primer orden de tal trabajo. Por todo ello, apenas se otorgó la concesion á la actual Compañía en 1861, se dió principio al estudio de la variacion de Astorga, de cuya ejecucion se encargó el Ingeniero militar don Pedro Leon de Castro.

El proyecto formado por este Ingeniero tomaba su origen un kilómetro ántes de la estacion de Leon, haciendo un punto de retroceso. Desde allí enfilaba la entrada de la divisoria entre el Vernesga y el Orbigo, junto á Quintana de Raneros, y casi paralela-

mente á la carretera se dirigia por el páramo á pasar el último rio en Veguellina, y más allá en Nistal el Tuerto, al pié de las alturas de su divisoria con el anterior, llegando á Astorga por debajo del lado norte de la ciudad. Por diversas causas que no atañen al trozo en cuestion, este trazado no se aprobó hasta principios de 1864, exigiendo el Gobierno, de acuerdo con la Junta consultiva, que se suprimiese el retroceso y se buscara la prolongacion de la linea hecha hasta encontrar su empalme en el nuevo trazado. Esto ocasionó por un lado algun pequeño aumento de longitud, y por otro permitió acometer con más facilidad la subida á la divisoria de Quintana, reduciendo considerablemente la enorme cortadura de 28 metros de profundidad que proponia Castro.

En un país llano como este, el trazado no ofrece grandes dificultades.

Una curva de 400 metros á la salida de Leon es la más cerrada de todas, pues las demás no bajan de 500 metros. La distribucion de la traza es como sigue:

	Metros.	Cents.
Longitud total.	52.080,30	
" en recta.	42.366,48	
" en curva.	9.713,82	
Número de alineaciones rectas.	20	
" " curvas.	20	

La mayor recta tiene 24 kilómetros de longitud en el proyecto, pero al hacer el replanteo se conoció la conveniencia de emplazar el puente sobre el rio Orbigo 210 metros más abajo del punto elegido, para separarlo todo lo posible del pueblo de Veguellina, evitando su inundacion en las grandes avenidas, y prescindiendo de una particularidad que en sí vale poco, se ha dividido dicha recta con ligeras quebraduras en tres trozos, de los que el mayor mide 13 kilómetros. Las pendientes mas fuertes son de 10 milésimas de inclinacion, y de estas la mas larga tiene 4.357 metros. Al empezar la explotacion habia una de 2.100 metros con 13 milésimas, pero se continúa trabajando en ella para reducirla en breve plazo á los debidos límites, habiéndose puesto la via sin concluir, porque de esperar que se terminase el desmonte que atraviesa en el kilómetro 7.º, se hubiera atrasado sin fruto la ejecucion del resto de las obras. La distribucion del perfil es esta:

	Número.	Longitud.
Total de rasantes.	42	52.080,30
Horizontales.	17	15.173,30
De 0 á 0,005. { Subiendo.	2	6 040,00
{ Bajando.	9	11.670,00
De más de 0,005 á 0,010. { Subiendo.	8	11.557,00
{ Bajando.	5	7.640,00
Cota de Leon.		837,57
— de Astorga.		859,52
— intermedia más elevada (de carriles)		923,77
— idem más baja.		822,59

Fig. 26.

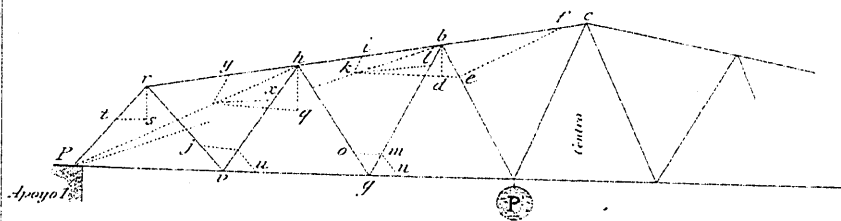


Fig. 27.

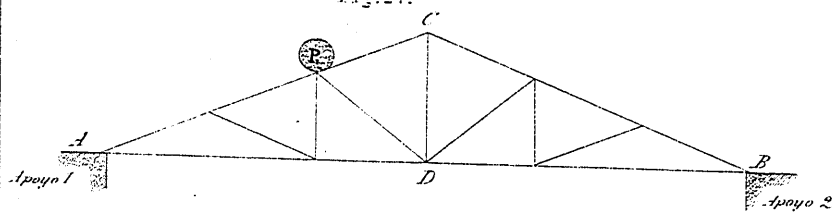


Fig. 28.

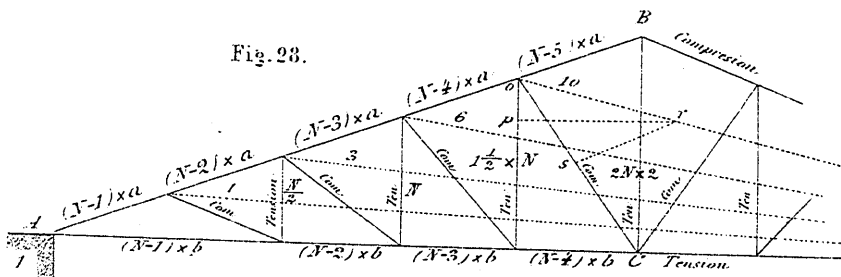


Fig. 29.

