

DE LAS FUERZAS QUE ACTÚAN EN LAS OBRAS DE HIERRO.

(Conclusion.)

Como complemento á cuanto expone en su obra Mr. Sheilds, creo oportuno dar algunos detalles acerca de la composicion y condiciones de resistencia del hierro, y respecto á la construccion de las juntas.

Composicion y resistencia del hierro.

Para poder aplicar convenientemente los resultados obtenidos en el cuerpo de esta obra, es preciso conocer la naturaleza del material empleado, en las diversas condiciones en que puede hallarse en la práctica.

Bajo el punto de vista de su composicion, se emplea el hierro en las artes en tres estados distintos, que son el acero, el hierro forjado y el fundido, presentando en cada uno propiedades muy diferentes, y aplicado á la construccion, se observa gran diversidad en sus condiciones de resistencia.

El hierro fundido, en efecto, presenta los inconvenientes de que al enfriarse, despues de la fusion, se contrae con desigualdad, y muchas veces sucede que, presentando una gran homogeneidad en la apariencia, se quiebra repentinamente sin causa ostensible, y produce la ruina total de la obra. Los mismos perniciosos efectos tienen lugar por otras causas análogas, como son las ampollas ó escorias que existen en el centro de la masa, las que recubiertas con una capa de hierro sano, hacen suponer en el

material una fuerza y resistencia de que carece por completo.

El hierro forjado es mas dúctil y elástico que el fundido. y su mayor resistencia á la tension le hace mas aplicable, con grandes ventajas, á las construcciones. Por el procedimiento seguido en su fabricacion se consigue que tenga una gran homogeneidad, escupiendo ó separando las escorias y demás sustancias estrañas que pueda haber en su masa, y anulando las ampollas interiores por medio de la forja y los laminadores. A consecuencia de las propiedades antedichas experimenta, aplicado á las construcciones, una deformacion muy perceptible ántes de llegar á la rotura, lo que sirve de indicio para apreciar el estado de resistencia de la obra.

La composicion del acero, como se verá despues, se halla comprendida entre la del hierro forjado, que contiene en general muy pocas sustancias estrañas, y el fundido que encierra bastantes. Presenta ordinariamente más ductilidad, dureza y elasticidad que el hierro forjado, y puede obtenerse, como éste, en estado muy homogéneo por análogos procedimientos; siendo sus caracteres distintivos el temple y el recocido, y pudiéndosele por estos medios dar la dureza ó ductilidad conveniente al objeto á que se le destina. Estas importantes propiedades le hacen de gran aplicacion en las construcciones, y atendidos los perfeccionamientos que diariamente se realizan en su fabricacion y la baratura relativa de los resultados obtenidos, no es difícil prever que, en un plazo no muy largo, reemplazará al hierro forjado en todas sus aplicaciones, como ya sucede hoy en algunas.

La composicion media del hierro, en cada uno de los estados referidos, se expresa en la tabla siguiente:

	Peso específico.	Hierro.	Carbono.	Silicio.	Fósforo.	Manganeso.	TOTAL.
Acero.	7820	99,18	0,72	0,04	0,06	»	100,00
Hierro forjado.	7780	99,60	0,25	0,15	»	»	100,00
Hierro fundido.	7200	95,09	2,39	1,93	0,59	indicios	100,00

De algunos años á esta parte se han practicado muchos experimentos para determinar la resistencia del material que nos ocupa, en las diversas circunstancias en que puede hallarse en las aplicaciones, distinguiéndose últimamente en estos trabajos

Hodgkinson, Fairbairn, Kirkaldy y otros. Como término medio de los diversos resultados obtenidos, se pone á continuacion una tabla que los resume, la cual se refiere á ejemplares ordinarios.

Tabla de las cargas de rotura, coeficientes y limites de elasticidad del hierro, en kilogramos por centimetro cuadrado de seccion.

	CARGA DE ROTURA.		COEFICIENTE DE ELASTICIDAD.		LÍMITES DE ELASTICIDAD.	
	Tension.	Compresion.	Tension.	Compresion.	Tension.	Compresion.
Acero	6272	»	21.000,000,000	»	3000	»
Hierro forjado	3920	2600	20.000,000,000	1.700,000,000	1500	1400
Hierro fundido	1410	7680	9.000,000,000	8.000,000,000	500	1400
Alambre	6720	»	8.500,000,000	»	1500	»

Es bueno conocer, para obtener con exactitud los resultados anteriores, la relacion que existe entre la longitud primitiva L de un ejemplar cualquiera y su máximo alargamiento por unidad l, despues de sometido á una tension, la cual puede expresarse de una manera aproximada por la siguiente fórmula:

$$l = 0,18 + \frac{25}{L} (1).$$

En la aplicacion del hierro á las construcciones no se debe nunca llegar á los límites marcados en la tabla anterior, siendo preciso reducir la accion máxima de las fuerzas, que actúan por unidad de seccion, á un valor tal, que no produzca en la obra de formacion alguna permanente, esto es, que se diste bastante de llegar hasta el punto llamado limite de elasticidad del metal, lo que se consigue, cuando las fuerzas exteriores son fijas, determinando convenientemente las dimensiones trasversales de la obra.

Con objeto de satisfacer estas condiciones en la práctica, se ha fijado el límite superior de los kilogramos que por centimetro cuadrado se pueden cargar, en las circunstancias ordinarias, en obras de esta naturaleza, para que tengan la resistencia conveniente, y la tabla que se pone á continuacion, expresa los números admitidos en este concepto.

Coefficientes de resistencia práctica.

	Tension.	Compresion.
Acero	1250	»
Hierro forjado	780	550
Hierro fundido	240	1250
Alambre	1250	»

En general se admite una relacion entre la resistencia límite de este metal, la de prueba y la que tiene en obra; por lo tanto, llamándolas respectivamente R, P y O, se hallarán los números que se expresan en la siguiente tabla:

	$\frac{R}{P}$	$\frac{R}{O}$	$\frac{P}{O}$
Acero	2,5	5,0	2,0
Hierro forjado	2,5	5,0	2,0
Hierro fundido	2,0	6,0	3,0

Segun sea más ó ménos puro el estado en que se encuentre el material que haya de emplearse, la naturaleza de las sustancias que se hallen unidas á él y el procedimiento de su fabricacion, así tambien

(1) Fairbairn, Iron its history and manufacture, pág 203.

variará de una manera notable la resistencia del hierro; razon por la que no siempre pueden tomarse los datos anteriores como aceptables y de inmediata aplicacion, pudiendo suceder que el material que se tenga que emplear, en un caso dado, presente ménos resistencia que la media consignada en las tablas anteriores.

Hay ocasiones, por el contrario, en que la resistencia es mucho mayor, siendo conveniente en este caso emplear ménos cantidad de material que en el precedente, pudiendo presentar no obstante la obra la solidez necesaria. Esto precisamente sucede con el acero fundido y laminado ó forjado de Bessemer, que llega en la extension al limite de resistencia de 10756 kilogramos por centímetro cuadrado de seccion (1).

Por las razones que ligeramente se acaban de exponer es fácil deducir, que ántes de llevar á efecto la construccion de una obra, cualquiera que sea su naturaleza, con el material de que se trata, es conveniente verificar algunas experiencias previas, para cerciorarse de que el metal empleado llena por completo las condiciones que han servido de base al estudiar el proyecto de la obra, y de que ésta tendrá la solidez y resistencia necesarias para el objeto á que se la destina.

Juntas.

La seguridad de una construccion, bien sea de hierro ó de otra sustancia distinta, formada de diversas porciones del mismo ó de diferentes materia-

les unidos entre sí, siempre que cada porcion sea bastante fuerte para resistir á las fuerzas que sobre ellas han de actuar, depende sin duda alguna, del sistema de union adoptado para enlazarlas, ó lo que es lo mismo, de la resistencia de las juntas.

Generalmente se admiten en las obras de hierro dos clases de juntas, conocidas con el nombre de juntas sobre-puestas y al tope, pudiendo decirse que ordinariamente no se hace uso de las primeras en la construccion, pues siempre puede sustituirlas una al tope con mejores condiciones de resistencia. La disposicion de estas juntas está representada en las Figs. 43 y 44, y en ámbos casos se fijan las planchas que se sobreponen, bien entre sí ó con las que se trata de unir, por medio de roblones que las atra- viesan.

Al determinar una junta es conveniente fijar: 1.º el número de roblones necesarios para su resistencia; 2.º la distancia de uno á otro y la que debe existir respectivamente desde el extremo de la plancha y desde la línea de junta al roblon más próximo; 3.º las dimensiones de la plancha que la recubre, y 4.º la disposicion general de las diferentes partes que la forman.

El diámetro de los roblones depende directamente, no tanto de la intensidad de la fuerza que actúa en las planchas ó barras que se han de unir, como del espesor de las mismas, y la proporcion entre estas dimensiones más conveniente en la práctica se ha deducido por experiencias. A continuacion se inserta una parte del estado que publica Mr. W. Fairbairn sobre los resultados que últimamente ha obtenido acerca de este punto (1).

Espesor de las planchas en centímetros.....	0,48	0,64	0,79	0,96	1,27	1,60	1,90
Diámetro de los roblones en centímetros.....	0,97	1,27	1,60	1,90	2,00	2,40	2,87

Si suponemos que A representa la seccion total de los roblones que se necesitan en la mitad de la junta, ó bien en un lado de la misma, y S la seccion transversal de la plancha que se quiere unir, tendremos para que los roblones presenten la resistencia necesaria, $A = S$. Llamando N el número de roblones de un lado de la junta y a la seccion de uno de ellos, resultará que $A = N a$ ó bien $N = \frac{S}{a}$.

Si llamamos y la distancia que hay entre los centros de dos roblones consecutivos, en direccion normal á la junta, y x la que existe entre el centro del roblon más próximo y los bordes exteriores de la cubre-junta, ó la línea de junta (generalmente se hacen iguales estas distancias) se deducirá que para el caso representado en la Fig. 45, $x = \frac{b}{2}$, siendo b el ancho de la cubre-junta; habiéndose admitido en

(1) Fairbairn, Iron its history and manufacture, página 214.

(1) The civil engineer and architect's journal. Diciembre de 1864.

las aplicaciones para valor de y el que resulta de la expresion $y = \frac{2x + d}{2}$, que para el caso que se

considera se reduce á $y = \frac{b + d}{2}$, siendo d el diámetro de un roblon.

Cuando en lugar de una sola hilera de roblones conviene poner dos ó más, se ha aceptado como regla práctica en las construcciones, que la distancia de una á otra hilera sea de 0,075 á 0,100 metros, y de este modo se puede determinar, conociendo el ancho de la cubre-junta, el número de hileras que pueden colocarse: la distancia x tiene por valor mínimo en este caso 0,05 metros.

Una vez determinados los valores de x ó y , se obtiene fácilmente la longitud de la cubre-junta, que tendrá por expresion $l = 2x + (n - 1)y$, siendo n el número de roblones que hay en la hilera que tiene más longitud. El espesor de las cubre-juntas ha de ser tal que su suma sea por lo ménos igual al de las planchas que se tratan de unir, cuando tienen el mismo grueso, ó al de la plancha de más espesor cuando son desiguales, en cuyo caso se adopta la disposicion representada por la Fig. 46.

La experiencia ha demostrado que los bordes de las cubre-juntas tienen una gran tendencia á separarse de las planchas que recubren, y que esta tendencia es tanto más enérgica, cuanto mayor es la distancia que se deja entre los bordes y los roblones más inmediatos; y con objeto de evitar este inconveniente, se terminan las planchas como aparece en la parte A de la Fig. 45 y en ámbos extremos de la 47. Cuando el número de hileras de roblones es de dos ó más, pueden adoptarse dos disposiciones distintas, como se ve en la citada Fig. 47, en la que la parte de la derecha los tiene formando líneas paralelas á la junta y en la opuesta están alternados. Para conocer cuál de estas disposiciones es la preferible, consideremos la seccion M N que nos da para su área efectiva $S' = S - 2de$, llamando S la seccion total de la cubre-junta, e el espesor de ésta y d , como ya se ha dicho, el diámetro de los roblones. Una seccion paralela á ésta, y situada en la parte de la izquierda, tal como la C D, nos dará para la superficie efectiva $S_1 = S - de$; y desde luego se ve, que, bajo el punto de vista de la resistencia, es preferible esta disposicion á la anterior. Pudiera, sin embargo, suceder que tendiese á verificarse la rotura por la línea quebrada C F G E; pero fijándonos en este caso tendremos que llamando z la separacion que hay entre los centros de las dos hileras de roblones y suponiendo, como sucede con mucha frecuencia en la práctica, que la distancia entre los centros de dos roblones consecutivos de la misma hilera sea también z , el valor de la seccion por esta línea sería:

$$S_2 = S + e \sqrt{z^2 + \frac{z^2}{4}} - 2de$$

y la diferencia entre este valor y el de S_1 , que es

$$e \left(\sqrt{\frac{5}{4} z^2 - d} \right),$$

nos dará el aumento ó disminucion que se haya obtenido. Esta diferencia es siempre positiva, por ser en todos los casos z mayor que d ; y de aquí se deduce que la seccion por la línea quebrada es más resistente que la C D, y ésta lo es á su vez más que la M N, de donde resulta que la disposicion más á propósito, en el concepto de la resistencia, es la representada en la parte A de la Fig. 47. Como los demás casos en que haya tres ó más hileras de roblones, pueden considerarse como una repeticion ó combinacion de los dos anteriores, se deducirá fácilmente la disposicion que en cada uno sea la más aceptable y conveniente.

Cuando las planchas que se tienen que unir no se hallan en el mismo plano, formando un ángulo más ó ménos abierto, entónces las cubre-juntas forman el mismo ángulo, y son aplicables todas las consideraciones expuestas. Este ángulo es ordinariamente en la práctica recto, y en las Figs. 48, 49, 50 y 51, se representan los casos que con más frecuencia se encuentran en las aplicaciones.

Se ha dicho anteriormente que las planchas que se sobreponen en las juntas, se fijan por medio de roblones que las atraviesan, y parece conveniente decir algo acerca de este particular.

Todo roblon está formado de un vástago central y dos cabezas generalmente semi-esféricas, Fig. 52, que tienen por objeto mantener en intimo contacto las planchas atravesadas por el vástago; y la relacion entre las dimensiones de estas diversas partes debe ser tal, que la resistencia de las cabezas, en sentido de la longitud del roblon, iguale por lo ménos á la que presente el vástago. Llamemos, para obtener esta relacion, F la fuerza total que actúa en sentido longitudinal del roblon, f la correspondiente á la unidad de seccion trasversal del vástago, y se verificará la ecuacion

$$F = \frac{\pi}{4} d^2 f = 0,7854 d^2 f \dots (1).$$

Si representamos por x las distancias $ab = cd$, Fig. 53, suponiendo que la fuerza f , por unidad de seccion, sea la misma en ámbos casos, resultará que

$$F = \pi d f x = 3,1416 d f x,$$

é igualando ámbos valores se deduce $x = \frac{1}{4} d$ y en

atencion á los choques, oxidacion y demás causas exteriores, que pueden disminuir la resistencia de las cabezas y deteriorarlas, se toma ordinariamente

$$x \text{ entre } \frac{1}{3} d \text{ y } \frac{1}{2} d.$$

Estas mismas fórmulas y consideraciones se pueden aplicar a la resistencia de las cabezas de los pasadores, dando análogos resultados; pero generalmente se hacen en la práctica de igual altura que la tuerca que se pone en el otro extremo, Fig. 54, estando ambas determinadas por el diámetro del vástago.

Si la fuerza actúa en sentido trasversal al roblon ó pasador, como sucede en el caso de unir dos eslabones de una cadena de suspensión, Fig. 55, se puede obtener el diámetro que le corresponda despejando d de la ecuación (1) en función de la fuerza total y de la que pueda adoptarse en las aplicaciones para la unidad de sección trasversal, fijada de tal modo que dé a la obra la resistencia conveniente.

Como los casos hasta aquí examinados, así respecto a la resistencia del material que nos ocupa, como a la manera de unir y enlazar las diversas partes que han de formar el todo de una construcción, son los que con más frecuencia se presentan en la práctica, no creo necesario, atendida la índole de estos apuntes, entrar en más detalles acerca de este particular.

FERRO-CARRIL DE BARCELONA A FRANCIA.

PUENTE SOBRE EL RIO BESÓS.

Acaba de tener lugar la inauguración de un puente de tramos metálicos, obra de las más importantes del ferro-carril de Barcelona a Gerona, situado cerca de la primera de dichas poblaciones, sobre el río Besós, junto a su desembocadura en el mar.

Quando se construyó la línea férrea de Barcelona a Mataró, que tuvo el privilegio de ser la primera de esta clase que se inauguró en España, se estableció para el paso del Besós un puente provisional de madera, que frecuentemente ha estado sufriendo desperfectos, dejando interceptado más de una vez aquel punto para el paso de los trenes.

Era de urgentísima necesidad el reemplazar obra tan poco sólida por otra que reuniese todas las condiciones apetecibles de estabilidad y resistencia, y a este fin se propuso por la Empresa el proyecto de un puente de apoyos de fábrica y tramos metálicos de tres cuchillos de paredes continuas, el del medio de más resistencia, por haber de ocupar el centro de la entavía de las dos para que se construyen las obras del arte.

Aprobado ese proyecto, la Empresa propuso al Gobierno la sustitución de los cuchillos de pared continua por otros de celosía; sistema el más generalmente adoptado para los puentes de grandes luces que se construyen en la actualidad; por más que se hallen divididas las opiniones de los Ingenieros respecto al sistema que en absoluto, y para una luz dada, proporciona más ventajas.

Fue aceptada la propuesta de la Empresa, y adoptado definitivamente el proyecto del puente con estribos y pilas de sillería y mampostería ordinaria, dejando cinco claros de 24,10 de luz los dos extremos, y 28,20 los tres centrales con los cuchillos de celosía, unidos en toda la extensión del puente y de una longitud total de 141,80 metros.

Habría sido conveniente, debiendo ser la obra para dos vías, adoptar sólo dos cuchillos, lo que hubiese proporcionado más economía de material que el establecimiento de tres (uno correspondiente al centro de la entavía) según está proyectado, permitiendo el arriostrado superior de los cuchillos, estando como está el suelo del puente en la inferior de los mismos, condición que impone la altura relativa de la rasante del camino y la de máximas aguas

del Besós; pero como ahora no se obliga a la Empresa al establecimiento de dos vías en la línea, reporta en este caso gran ventaja habiendo proyectado el puente con tres cuchillos y no estableciendo por el pronto sino dos, hallándose siempre en disposición de establecer, cuando se exija y sea necesario, el tercer cuchillo y sentar la segunda vía.

La altura total de los cuchillos es de 2,50, la que no permite el arriostrado superior, así que a pesar de que las piezas de las aspas son de sección de simple T, tanto las que resisten a la extensión como a la compresión, las oscilaciones laterales de los cuchillos al paso de los trenes son muy sensibles.

Los estribos y pilas se hallan fundados sobre cajas de palastro de 3,60 metros de altura, macizadas de hormigón hidráulico, habiéndose empleado con muy buen éxito para los agotamientos bombas de fuerza centrífuga movidas por máquinas de vapor de 2 a 16 caballos, que daban hasta 17 metros cúbicos de agua por minuto.

Contratada la construcción y establecimiento de los tramos metálicos en la casa Lanet de Marsella, se procedió a montar estos en la explanación correspondiente a la segunda vía de la margen izquierda del Besós.

A medida que se armaban simultáneamente los cuchillos de aguas arriba y central, se iban colocando las viguetas y corriendo los tramos.

El montaje de esta obra por la casa constructora ha dejado mucho que desear, habiendo sido preciso antes de autorizarse oficialmente el paso de trenes por ella, el cambiar la mayor parte del roblonado hecho en otra, y las piezas adicionales de los cruces de aspas, que fueron puestos de fundición, en vez de serlo de hierro forjado.

Hecho esto, se procedió a hacer las pruebas oficiales según se detallan en el adjunto cuadro, estacionando una locomotora del peso de 42,000 kilogramos en el centro de cada uno de los tramos, y examinando las flechas horizontales y verticales de ambos cuchillos; después la misma locomotora recorriendo todos los tramos a la velocidad de 10 a 51 kilómetros; estacionando dos locomotoras de peso total de 84 toneladas en el centro de cada tramo, recorriéndolos a velocidad de 12 y 45 kilómetros; recorriendo los tramos tres locomotoras, su peso total 140 toneladas, a las velocidades de 10 y 35 kilómetros; y por último con cuatro locomotoras; peso total de 182 toneladas, pasando por el puente a las velocidades de 8 y 46 kilómetros.

La mayor flecha vertical observada de 18 milímetros, ha tenido lugar para el tramo central, cuchillo de aguas arriba, al paso de tres locomotoras a la velocidad de 36 kilómetros.

La amplitud total de la oscilación horizontal de la cabeza del cuchillo del tramo del centro aguas arriba, que es la que las dá más pronunciadas, ha llegado a ser de 37 milímetros para el paso de cuatro locomotoras a la velocidad de 46 kilómetros, lo que confirma lo expuesto anteriormente sobre la poca rigidez del sistema para oponerse a los movimientos laterales.

El aumento de las flechas permanentes observado después de someter el puente al paso de los trenes, ha sido de un milímetro para los tramos 1.º y 2.º, ó para el 3.º y 4.º y dos milímetros para el 5.º del cuchillo de aguas arriba, numerando a partir de la margen derecha.

Vemos, pues, que los resultados de las pruebas, aun en los casos del paso por el puente de las mayores cargas que lo pudieran frecuentar, y a las mayores velocidades admisibles en las líneas de España, son satisfactorios y acusan en la construcción un exceso de resistencia, ofreciendo todas las garantías apetecibles del éxito de la construcción.

L.

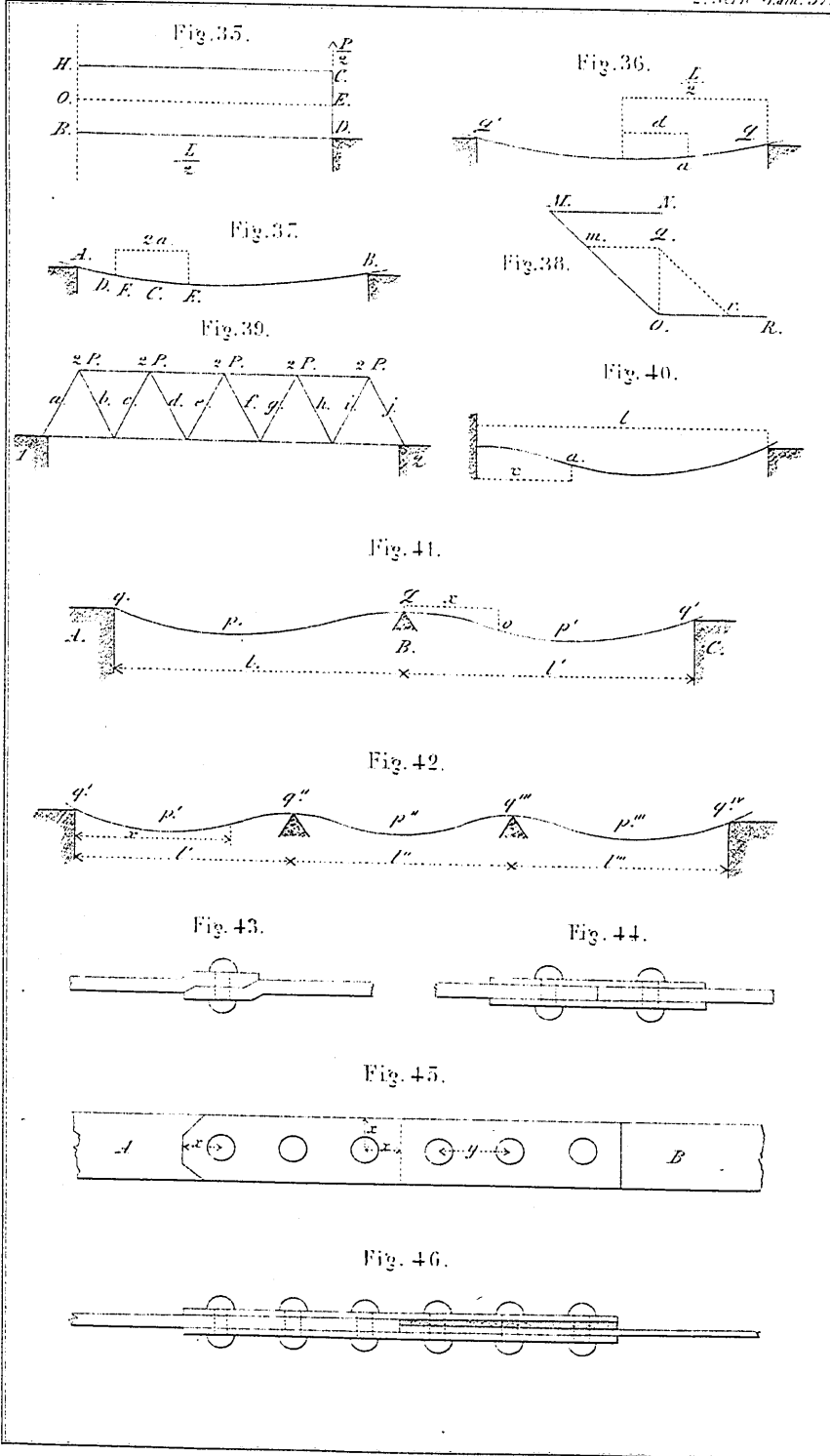


Fig. 47.

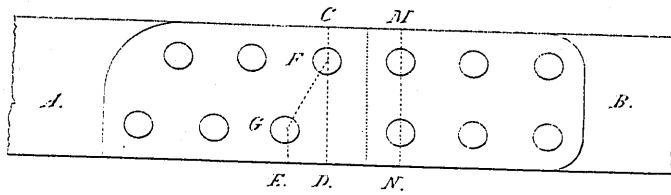


Fig. 48.

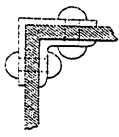


Fig. 49.

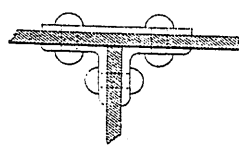


Fig. 50.

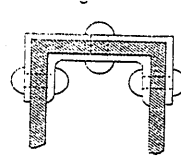


Fig. 51.

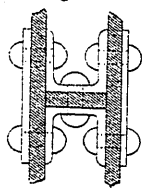


Fig. 52.

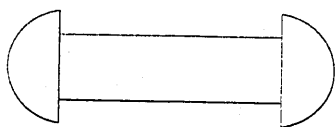


Fig. 53.

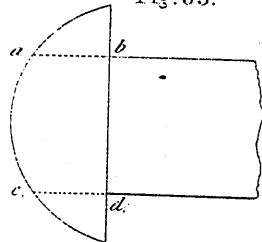


Fig. 54.

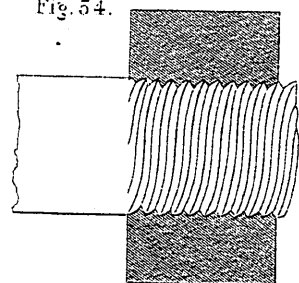


Fig. 55.

