ble del del portal de Mercaderes; su altura, de tres varas mayor, y su ancho, mas reducido de poco menos de una vara que el de dicho portal. Su peso, con el de las piezas que debian añadírsele para efectuar la suspension, podria equivaler al de 100 estatuas como la ecuestre de Cárlos IV, ó al de 25,000 infantes mexicanos con armas y mochilas. Esa estupenda mole, tenia que alzarse á mayor altura que las campanas de la Catedral.

Una vez hecha la union de los tubos parciales, la inmensa viga debia soportar por sí misma sin romperse, no solo su propio peso, cosa que parecia imposible; sino tambien el de los trenes del ferrocarril, es decir: 250 á 300 toneladas mas, corriendo con una velocidad de 40 millas por hora!

El público sorprendido, como era natural, acogió con incredulidad tan atrevido proyecto; pero la compañía del ferrocarril tuvo confianza en su ingeniero y le entregó cuantos recursos podia necesitar. ¡Glorioso ascendiente del ingenio! ¡Dulce recompensa de la probidad!

Mil y quinientos operarios pusieron inmediatamente manos á la obra, bajo la direccion de Mr. Edwin Clark, ayudante de Robert Stephenson; al mismo trabajo contribuia la potencia de seis máquinas de vapor que hacian mover muchas otras expresamente inventadas con el objeto de hacer

mas económicas en grande escala, las operaciones de enderezar, cortar, agujerar, doblar y remachar las láminas de fierro, y los clavos redondos ó remaches que se emplearon en la construccion de los tubos. Mientras estos se fabricaban, se levantaban tambien los estribos y los grandes pilares de mampostería, verdaderas torres de Catedral. El del centro, levantado sobre la roca Britannia, mide en los costados de su base 62 por 53 piés y arriba 55 por 45 piés; y su altura total desde los cimientos, es de 230 piés (mas alto que las torres de la Catedral de México). En la construccion de este pilar se emplearon 293,250 piés cúbicos de piedra, que pesan sobre 20,000 toneladas, y 300 toneladas de fierro. Los pilares de la parte de tierra tienen 190 piés de altura sobre las mareas mas altas. Seis buques de vapor estaban constantemente ocupados en el trasporte de los materiales.

Los tubos centrales se construian en la costa de Carnarvon, sobre grandes plataformas de madera. El piso y el techo se formaban, como puede verse en la Lám. II, fig. 6, con dos hileras de planchas de fierro horizontales, separadas por otras verticales que se unian con ellas por medio de conteras remachadas en los ángulos; de manera á formar en el techo, ocho tubos cuadrados de un pié y 9 pulgadas de lado, que se prolongaban en toda la lon-

gitud del gran tubo; y en el piso, seis compartimientos de 2 piés 4 pulgadas de ancho, por un pié 9 pulgadas de alto, que tambien se extendian en toda la longitud. El piso y el techo adquirian así una gran rigidez.

Los costados ó paredes del tubo se construian con láminas de fierro verticales, unidas firmemente unas con otras por medio de dobles conteras en forma de T, que por fuera y por dentro, cubrian las juntas y se remachaban, atravesando cada remache, las dos dobles conteras y la lámina interpuesta. Las mismas dobles conteras interiores, prolongadas fuera de las paredes y dobladas á escuadra, se remachaban con las piezas del piso y del techo, y unian estos con los costados; y para hacer todavía mas firme la union, así como para prevenir cualquier movimiento de torsion en los ángulos del tubo, se remacharon contra las T en los ángulos, unas piezas en forma de triángulo rectángulo *(gusset pieces)*, que impedian toda separacion. Todas las juntas de las láminas se tapaban remachándoles una pieza encima, tanto para reforzar la junta, como para preservar el metal de la accion oxidante de la atmósfera. Se hacia lo posible para que dichas juntas no se encontraran en la misma línea; y en fin, se tomaron cuantas precauciones podian creerse necesarias, para hacer del todo,

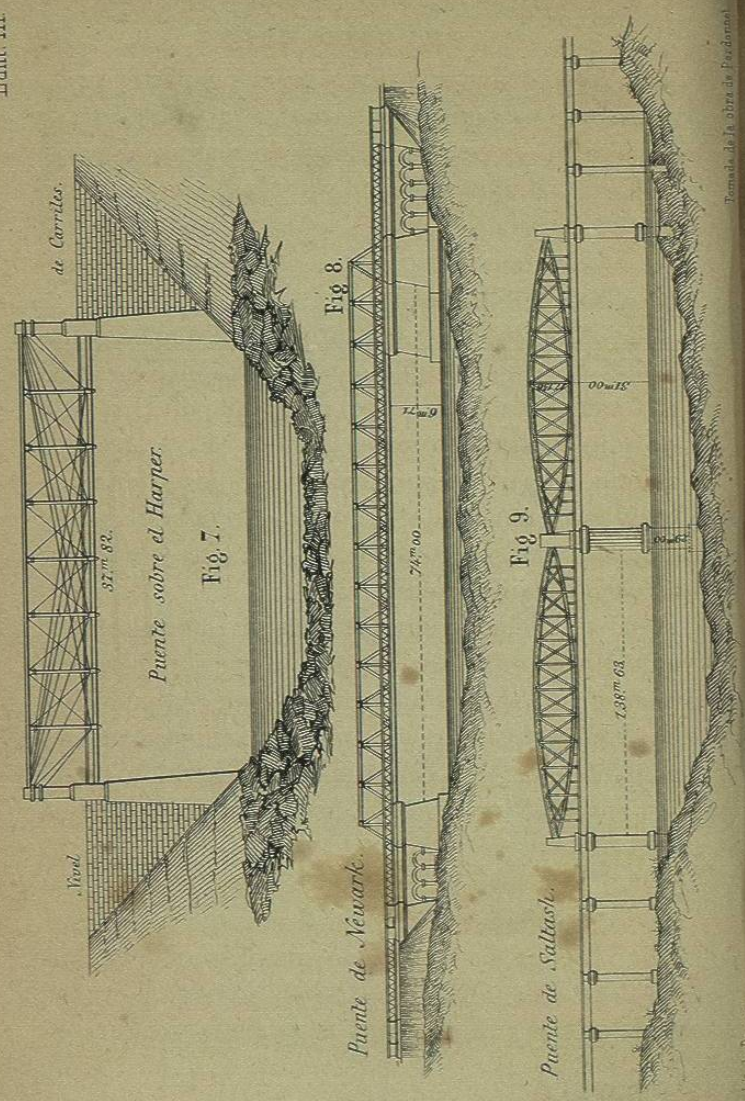
un conjunto perfectamente rígido y sólido. Las láminas que se emplearon, variaban en largo desde 6 hasta 12 piés, en ancho desde 1 pié 9 pulgadas hasta 2 piés 4 pulgadas; y en grueso, desde $\frac{2}{4}$ hasta $\frac{3}{4}$ de pulgada. Los clavos ó remaches, de los cuales se emplearon mas de 2,000,000 en el puente, tenian poco mas de una pulgada de diámetro, y se ponian á 4 pulgadas de distancia uno de otro en el techo y piso, y á 3 pulgadas en los costados. Cada tubo contiene sobre 10 millas de conteras y dobles conteras.

Una vez concluido un tubo, se hacia flotar sobre ocho lanchas ó pontones, aprovechando la subida de la marea. Se le conducia y situaba debajo del lugar en que debia quedar colocado definitivamente; y por medio de potentes prensas hidráulicas, se le alzaba sobre sus pilares. Una sola de las grandes prensas hidráulicas empleadas en esta operacion, hubiera podido sostener por sí sola, el peso del tubo, 1,600 toneladas. Como eran dos las vias que debian atravesar el canal, se construyeron dos grandes trabes exactamente iguales, pero independientes; de esta manera en el puente completo se emplearon 10,400 toneladas de fierro, y quedó concluido en menos de cuatro años.

La experiencia ha confirmado plenamente cuanto Robert Stephenson habia previsto, y su mag-

nífica obra, que en materia de aplicacion del fierro laminado á las construcciones fué el primer ensayo notable y verdaderamente sorprendente; ha servido de fecundísima enseñanza para la industria de los ferrocarriles, y ha contribuido á acelerar sus progresos.

Muy pronto, en efecto, se hizo general el uso de los puentes tubulares; mas como despues de realizado el proyecto, se creyese que en el "*Britannia*" se habia empleado un exceso de fierro sin una absoluta necesidad, y contrariamente á la economía; varios otros sistemas se inventaron con el objeto de reducir la cantidad de metal, y el precio de su manufactura; pero conservando siempre el mismo principio mecánico de los puentes tubulares, cuya verdadera resistencia reside en la parte superior y en la inferior, ó techo y piso de las trabes; sometido el primero á una compresion y el segundo á un estiramiento. El mismo R. Stephenson juzgándola sin duda innecesaria para la solidez, suprimió en los puentes de Brotherton y Montreal, la parte celular del techo y del piso que habia usado en el "Britannia;" y se contentó con darles un poco mas de espesor, y una ligera combadura hácia arriba. Pero en lo que mas se distinguen entre sí los diversos sistemas que ha hecho nacer la iniciativa de R. Stephenson, es en la ma-



nera de establecer la union entre las partes resistentes de las trabes, para darles la estabilidad y resistencia necesarias del modo mas económico.

En el sistema propiamente tubular, la union del piso y del techo se efectúa, puede decirse, por medio de una sola pieza de fierro laminado que forma el costado del tubo.

En el de *treillis* ó de enrejado (á que pertenecen el puente de Offenbourg sobre el Kinzig en Alemania *(Lám. IV)*, y el magnífico de Dirschau sobre el Vístula, de seis claros de 121 metros cada uno), la parte superior de las trabes se une con la inferior, por medio de piezas de fierro largas y delgadas que se cruzan diagonalmente, y forman una especie de enrejado.

En el de Warren, ó triangular, las piezas de union forman triángulos con la parte superior y la inferior. A este sistema pertenecen el puente de Newark Dyke sobre el Trent en Inglaterra *(Lámina III, fig. 8)*, construido por J. Cubitt, y el viaducto de Moorabool en Australia, de 1,450 piés de largo, por Mr. Darbyshire.

En el de *Bow-strings*, cuya primitiva idea pertenece al célebre Brunel, la parte superior y la inferior, vienen á ser como un arco y su cuerda, unidos por piezas intermedias, ademas de estarlo en sus extremidades. No siempre se ha mantenido la cuer-

da en línea recta, como en el puente de Windsor; sino que á veces se le ha dado una curvatura en sentido inverso á la del arco superior, como en el puente de Saltash *(Lám. III, fig. 9)*, y en el de frente á Maguncia, sobre el Rhin, de 3,375 piés de largo.

Respecto á los sistemas de *treillis* y de Warren; R. Stephenson, en una carta dirigida á la compañía del Grand Trunk-railway, en el Canadá, ha probado que cualquiera de esos dos sistemas aplicado al caso particular del puente de Montreal, sobre el San Lorenzo, hubiera sido mucho mas costoso que el tubular, sin proporcionar una obra mas sólida; pero no pone en duda, que puede haber casos, aunque raros, en que aquellos saquen alguna ventaja en el costo; nunca en la solidez.

El sistema de Bow-strings, tratándose de puentes de un solo claro, parece tener un costo ventajoso; pero son algo desfavorables sus condiciones de estabilidad, y está sujeto á fuertes vibraciones cuando soporta una carga que muda de lugar, como acontece con los trenes de ferrocarril. Para disminuir este último inconveniente, Brunel recargaba sus puentes con bálast.

La duracion de los puentes de hierro laminado ó forjado, depende mucho de la calidad de la pintura con que se les cubre. La de minium, que es

la que mas se ha empleado hasta ahora, no excluye la oxidacion. En todos casos, es necesario que al dar la pintura, la superficie del metal esté perfectamente limpia de todo moho, para que aquella pueda adherirse; de lo contrario, se revienta y desprende con las vibraciones.

Prescindiendo de la forma de las trabes, la construccion de los puentes metálicos presenta otras diferencias. En unos, la plataforma en que descansa la via, está situada abajo; en otros, á una altura intermedia, y en otros encima de las trabes.

Cuando se ha tratado de hacer pasar dos vias, algunos ingenieros, siguiendo el ejemplo del puente "Britannia," han hecho un puente independiente para cada via, y otros uno solo para las dos vias. Cuando el puente ha necesitado varios claros, las trabes se han hecho unas veces continuas, ó formando todas una sola pieza, y otras, separadas. No pudiendo tratar aquí estas cuestiones, que exigen consideraciones teóricas, recomendamos al lector curioso la memoria publicada por Mr. Couche sobre los ferrocarriles alemanes en los *Annales des Mines* de 1854, y la obra sobre los puentes metálicos de Molinos y Pronnier, publicada en Paris en 1857.

El puente metálico de mayores dimensiones construido hasta ahora, es el de Montreal en el

Canadá, sobre el San Lorenzo, para una sola via, llamado, "Victoria-Bridge." Su largo total, comprendiendo la parte de mampostería, es de 9,144 piés ingleses. El largo de los tubos de 6,592 piés, y su peso 9,044 toneladas. Descansa sobre 24 pilares de mampostería de piedra de granito; el claro del centro tiene 330 piés, y los otros de 242 á 247. Miden las obras de mampostería, 2,713,095 piés cúbicos; en andamios, cajones, etc. se emplearon 2,280,000 piés cúbicos de madera. Empezado el 20 de Julio de 1854 este puente, se concluyó el 17 de Diciembre de 1859; habiendo trabajado bajo la direccion de Mr. Ross 3,040 hombres, 144 caballos, 4 locomotivas, 6 buques de vapor de 450 caballos de fuerza, y 75 barcas. Costó mas de siete millones de pesos.

Hay, por último, otra clase de puentes; pero cuyo uso en los ferrocarriles ha encontrado grande oposicion: *los puentes colgantes.* Estos, como se sabe, se componen en general de dos ó mas cadenas ó cables de alambre de fierro, á los cuales está suspendido el piso del puente. Las ondulaciones que uno siente al pasar sobre uno de estos puentes, y los accidentes frecuentes á que han dado lugar, justifican bastante la repulsion que hay para adoptarlos en los ferrocarriles; sin embargo, mediante un buen sistema de amarras, se les puede

dar la rigidez necesaria, siquiera para el tráfico de trenes de mediano peso y velocidad; y hay casos en que segun la opinion del mismo R. Stephenson, cualquiera otro sistema de los inventados hasta ahora, seria impracticable. El puente colgante sobre el Niágara, construido por Mr. Roebling, á media milla de la gran catarata, salva en un solo tramo un precipicio espantoso de 820 piés de ancho y 240 de profundidad. Es una obra imponente que debe haber llenado de orgullo á su autor; todas las precauciones están tomadas para disminuir las ondulaciones, que el tránsito de los trenes y los vientos puedan producir. Parados nosotros sobre el puente en los momentos en que pasaba un tren de mas de 100 toneladas, apenas sentimos una flexion casi imperceptible y poco duradera.