

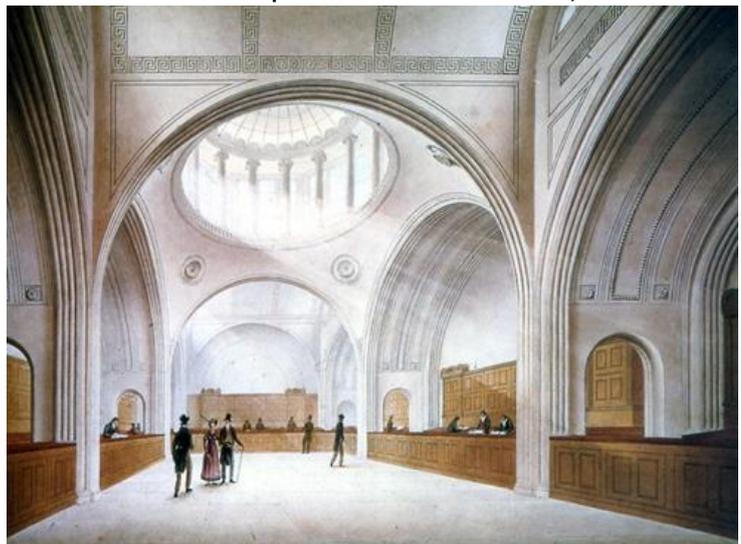
REVOLUCIÓN INDUSTRIAL Y ARQUITECTURA

(Tomado de "Historia del Arte vol. 4 El mundo contemporáneo", dirigida por Juan Antonio Ramírez, Alianza Editorial y López, Isaac: La construcción de un coloso, la torre Eiffel, National Geographic Historia, nº 155

Desde mediados del siglo XVIII, la sustitución del carbón vegetal por el mineral permitió la obtención del hierro fundido o colado en grandes cantidades. Un material duro, inflexible y resistente a la compresión que lo hacía muy apropiado para la construcción de máquinas, de raíles –cuando surgió el ferrocarril- y también para la aplicación a la arquitectura. El hierro forjado adquirió una importancia decisiva cuando a mediados de siglo XIX la invención del laminador universal permitió la obtención de vigas de grandes dimensiones. Más adelante, el acero –combinación de hierro y una mínima parte de carbono- sustituiría al hierro al unir a su gran resistencia una enorme elasticidad. Sin embargo, el uso generalizado de estos materiales aparecidos de forma sucesiva sufriría un notable retraso. El hormigón armado, por ejemplo, que fue descubierto en 1849, no penetrará realmente en la arquitectura hasta el siglo XX. Además, habrá un rechazo por parte de los arquitectos de estos nuevos materiales que alteraban de forma sustancial la imagen tradicional del edificio.

- **hierro colado** (o **hierro fundido**) Producto obtenido de la primera fusión del hierro en los altos hornos, que contiene más carbono que el acero o que el hierro forjado y se rompe con mayor facilidad.
- **hierro forjado** Hierro que se trabaja a golpes, poniéndolo al rojo y enfriándolo sucesivamente; resiste el óxido y puede soldarse con facilidad.

En efecto, si ya ciertas manifestaciones del clasicismo romántico y del neogótico atentaban contra la concepción académica de la arquitectura, el empleo masivo del hierro supondría, según sus detractores, la desaparición misma de esta práctica milenaria. Los proyectos concebidos exclusivamente con hierro producían una impresión de artefacto extraño sin ligazón aparente con la arquitectura. Sin embargo, a pesar de su rechazo conceptual, los arquitectos no tuvieron más remedio que asumir el hierro, dados los beneficios que reportaba. Formando parte de las cubiertas fue utilizado ya en el siglo XVIII, desde las vigas del Palacio de Mármol de San Petersburgo (1768) hasta las **bóvedas del Banco de Inglaterra de Soane (1792)**, sin olvidar las cubiertas de los diversos teatros que construyó el francés Víctor Louis en la segunda mitad de aquel siglo. Inglaterra, como país adelantado en el desarrollo industrial, fue el más precoz en el uso del hierro, con importantes y permanentes aplicaciones desde el último cuarto



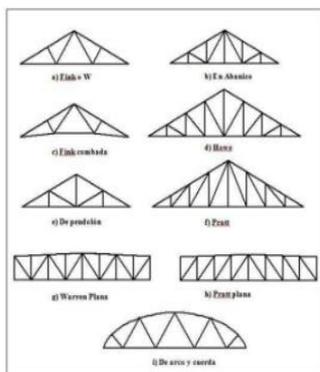
del siglo XVIII. Después se incorporarían Francia y el resto de países industrializados. Desde sus siderurgias saldrían las piezas prefabricadas para puentes y diversos edificios levantados en otros países que, como España, no disponían de una industria siderúrgica desarrollada.

EL HIERRO Y LAS TIPOLOGÍAS ARQUITECTÓNICAS

Podríamos diferenciar entre aquellas tipologías donde el hierro es el componente exclusivo o absolutamente mayoritario, y aquellas otras en las que sólo contribuye, visto u oculto, a la estructura del edificio. En el primer caso la expresión "arquitectura del hierro" se ajusta perfectamente al resultado: objetos de indudable apariencia tecnológica en los que el hierro visto constituye al mismo tiempo la estructura y la forma. En el segundo, este componente es aplicado de forma parcial –pilares, vigas, cerchas– en la obra de fábrica, que continúa marcando el carácter del edificio.



TIPOS DE CERCHAS



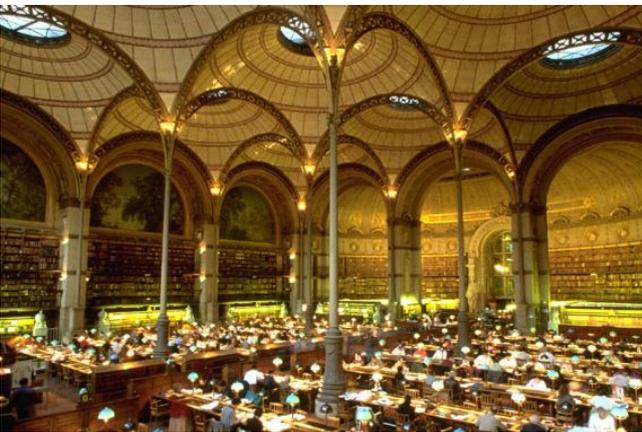
Las tipologías que adoptaron el hierro como componente exclusivo fueron aquellas en las que su eficacia era infinitamente superior a la de la obra de fábrica tradicional; por ejemplo, en el trazado de arcos de grandes luces o en las estructuras adinteladas. En ambos casos se lograba una gran limpieza espacial.

Los puentes y viaductos, los andenes ferroviarios, los invernaderos, los pabellones expositivos, las galerías cubiertas, las fábricas, los

mercados o los almacenes comerciales fueron las principales tipologías afectadas por ese material. Además, su uso se extendería a otras **tipologías menores como los kioscos comerciales y de música**, y otros elementos como el **mobiliario urbano**: bancos, farolas, etc. Si las indudables virtudes de este material no fueron utilizadas por otras tipologías se debió a prejuicios de índole moral e ideológica. El hierro se consideraba un material innoble y por tanto inapropiado para edificios representativos. En Inglaterra



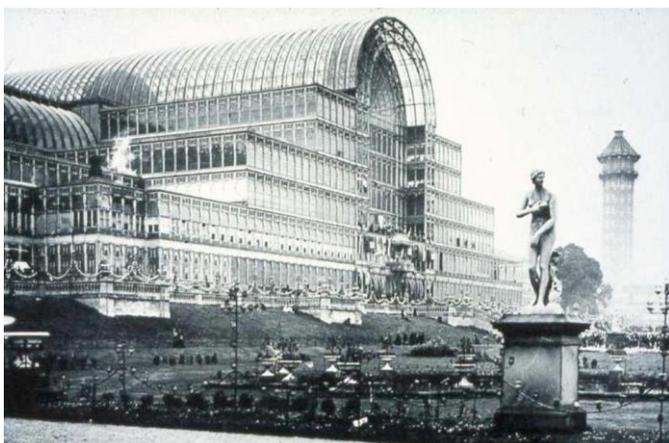
pronto se comenzó a emplear en la construcción de templos, pero la iglesia anglicana lo prohibirá, negándose a consagrar los que no se atuviesen a dicho precepto



Hubo, no obstante, arquitectos que aceptaron con agrado el uso del nuevo material, arrebatándoles la exclusividad de su uso a los ingenieros. El nombre más relevante fue el del francés Henri Labrouste (1801-1875), quien no tenía prejuicio en autoproclamarse "arquitecto del hierro". Su obra fue escasa, pero ha pasado a la historia de la arquitectura por la ejecución de dos bibliotecas: **la de Santa Genoveva de París** (1850) y la **Nacional** de la misma ciudad, a la que añadió una sala de lectura en 1862. En la primera divide el espacio longitudinal en dos partes que cubre con sendas bóvedas de medio cañón metálicas que apoyan en los muros exteriores y en columnas de hierro con altos basamentos de piedra en el interior.

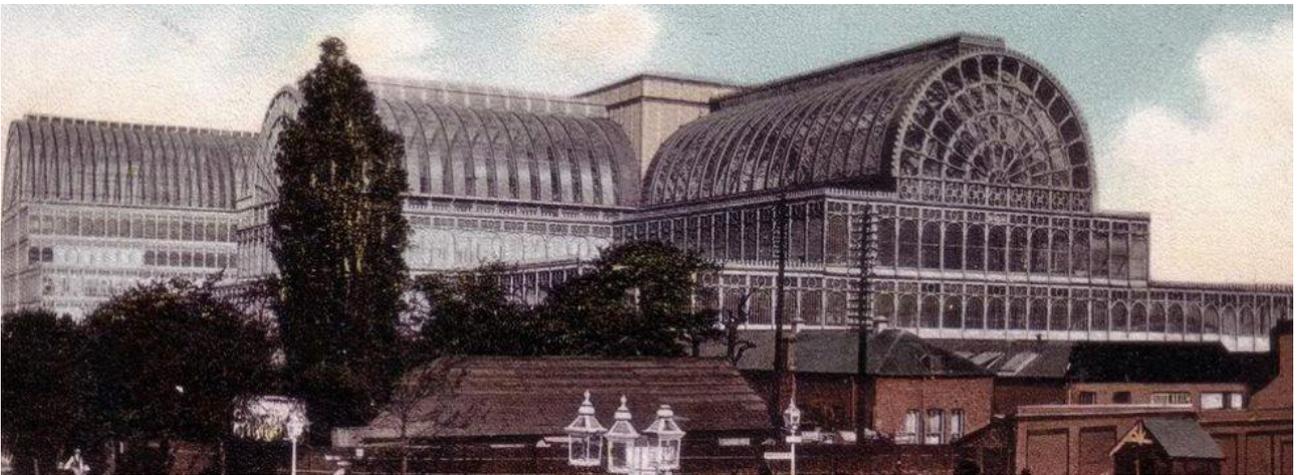
En la segunda fragmenta el espacio mediante cúpulas con claraboyas apoyadas igualmente sobre arcos y columnas de hierro.

La evolución tecnológica de los materiales y de los sistemas estructurales –soportes y cubiertas- fue permanente a lo largo del siglo, y las **EXPOSICIONES UNIVERSALES**, iniciadas con la londinense de 1851, se convirtieron en espacios para la experimentación tecnológica, para la exposición de los últimos logros tecnológicos y científicos a través de reuniones que atraían a miles de visitantes. Para los países organizadores, las exposiciones eran también una oportunidad de demostrar su poder económico y político, y nada conseguía mejor ese efecto que un nuevo gran edificio construido con las técnicas más modernas, como el **Cristal Palace** de John Paxton para la Exposición Universal de Londres en 1851.



De gigantescas proporciones –más de 550 metros de largo- fue construido en hierro, cristal y madera. Su importancia radica en que por primera vez se levantó un edificio a base de piezas prefabricadas de pequeñas dimensiones ensambladas in situ. La columna de hierro fundido constituía el principal elemento estructural del conjunto, aunque su mayor novedad la constituye el cristal, que sustituye al

muro opaco tradicional, lo que significaba un cambio absoluto de la imagen arquitectónica y la permeabilidad espacial. No obstante, la simetría compositiva y las formas semicirculares remiten a la tradición.



Se puede afirmar que la culminación de esta arquitectura del hierro se produjo en la Exposición Universal de París de 1889, donde convergieron dos de sus máximos hitos: la Torre Eiffel –de la que nos ocuparemos ampliamente- y la **Galería de Máquinas**. En esta última se logró cubrir sin interferencias un enorme espacio de 420 metros de largo y 115 de ancho, algo nunca conseguido con anterioridad, gracias a la mejora del sistema de soportes. Cubierta y pilares forman en esta obra una sola pieza de manera que la armadura se prolonga hacia abajo hasta llegar al pavimento.



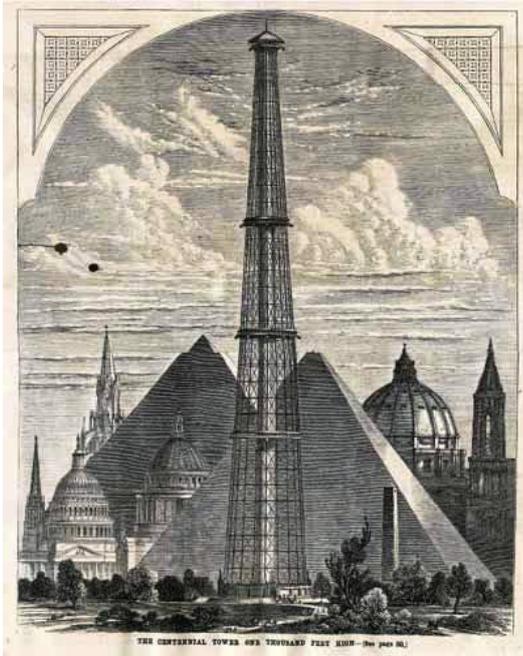
LA TORRE EIFFEL Y LA CARRERA DE LOS TRESCIENTOS METROS

En 1886, cuando las autoridades francesas, para conmemorar el primer centenario de la Revolución Francesa de 1789, decidieron organizar una nueva exposición universal en París –la cuarta tras las de 1855, 1867 y 1878–, convocaron un concurso para que arquitectos e ingenieros presentaran proyectos de todo tipo destinados a la Exposición. Pero sería un punto del concurso el que atraería la máxima atención, aquel que ofrecía «estudiar la posibilidad de erigir en el Campo de Marte una torre de base cuadrada con 125 metros de lado en la base y 300 metros de altura». El objetivo era erigir el edificio más alto de la historia. Justo el proyecto que acababa de elaborar el ingeniero y empresario Gustave Eiffel.

El ansia del hombre por construir un edificio que supere en altura a cualquier otro ha sido recurrente a lo largo de la historia, desde el mito bíblico de la torre de Babel hasta las pirámides, obeliscos, columnas o basílicas que han jalonado la historia de las grandes civilizaciones. Sin embargo, la Revolución Industrial de los siglos XVIII y XIX abriría posibilidades de construcción en altura que resultaban inimaginables en períodos anteriores, y ello gracias a la difusión del hierro como nuevo material estructural. Gracias a su ligereza y su resistencia, el hierro permitía construir, en mucho menos tiempo que anteriormente, edificios más amplios sin el sistema de muros, pilastras y columnas que requerían los edificios en piedra, y también más elevados. Fue esta última posibilidad la que alimentó la fantasía de crear el edificio más alto del mundo, más que los 146 metros de la Gran Pirámide de Keops o los 136 de la cúpula de la basílica de San Pedro en Roma. Un edificio, para dar una cifra redonda, de 300 metros de altura.



Desde la década de 1830, hubo varios proyectos para construir una torre de 300 metros o, según la medida usual en los países anglosajones, de mil pies (304,8 metros). El primero fue el de un ingeniero inglés, Richard Trevithick, el constructor de la primera locomotora, que en 1832 proyectó la Columna de la Reforma, una torre de fundición de mil pies de altura con un diámetro de treinta metros en su base y formada por mil quinientas planchas caladas de fundición. Trevithick imaginó incluso un ascensor impulsado por un sistema de aire comprimido a través de un tubo interior, pero murió sin que nada de esto se llevara a la práctica.



En 1852, Charles Burton propuso una torre de hierro con la que pretendía reciclar los elementos estructurales del palacio de Cristal de la Exposición de Londres de 1851, pero dado que empleaba los mismos componentes y criterios que esta última construcción es de suponer que hubiera sido igual de inestable frente al viento. Otro proyecto frustrado de **torre metálica de mil pies de altura** fue el propuesto por la empresa estadounidense Clarke Reeves & Company **para la Exposición Universal de Filadelfia en 1876**, rechazado debido a cuestiones económicas y lo incierto de sus resultados.

En los años siguientes, paralelamente a Eiffel, los ingenieros franceses Sébillot y Bourdais propusieron una torre de granito de mil pies de altura para la exposición parisina de 1889, que hubiera resultado totalmente inviable debido a la escasa capacidad de la sillería para resistir las flexiones provocadas por el viento.



Junto a estos proyectos que nunca se llevaron a cabo, cabe recordar otras construcciones que, al margen de la carrera por los 300 metros, fueron alcanzando cotas cada vez más elevadas. Un primer ensayo, todavía precario tecnológicamente, fueron las torres de fundición del americano James Bogardus, como la torre para alarma de incendio en la calle 33 de Nueva York (1851). Pero el antecedente más significativo de la Torre Eiffel fue, sin duda, el **Monumento a Washington**, diseñado por el arquitecto

norteamericano Robert Mills. Compuesto por varias hojas exteriores de piedra y un núcleo central de escaleras de hierro conectado a la piedra, este obelisco debía alcanzar los 183 metros, pero desde el inicio de la construcción en 1848 sufrió numerosas dificultades,

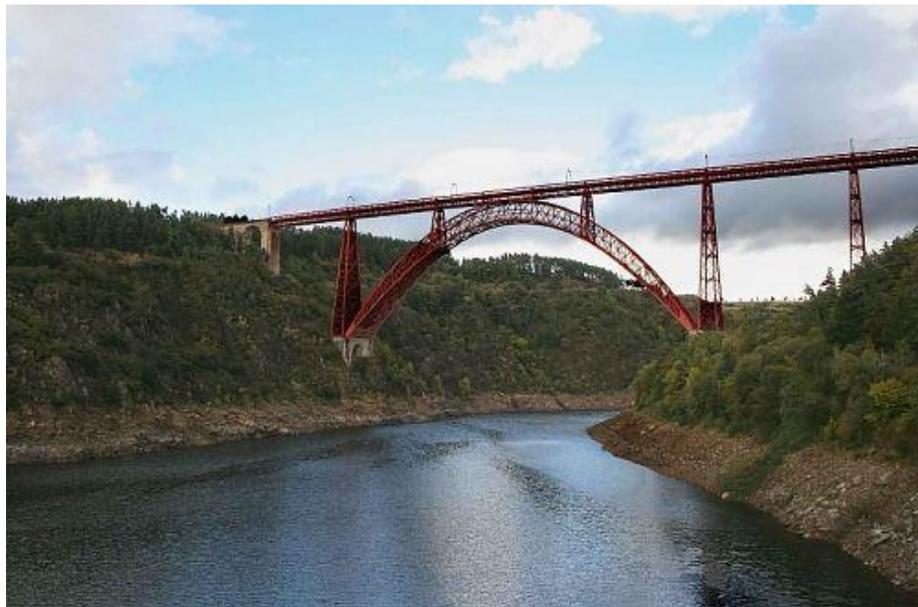
incluido un importante desplome al llegar a los 46 metros, que obligó a reforzar las cimentaciones. Finalmente se detuvo en 1884, al alcanzar los 169 metros.

El desafío de levantar una torre de 300 metros de altura sólo estaba al alcance de un ingeniero con una sólida experiencia previa en la construcción de obras metálicas de gran complejidad técnica. En la década de 1880, nadie poseía más experiencia de este tipo que Gustave Eiffel y sus colaboradores. En los pasados treinta años, Eiffel había realizado una serie de grandes puentes y viaductos de hierro que tuvieron mucha repercusión y en los que puso en práctica los mismos métodos que aplicaría a la torre de 1889. Así, en el puente de Burdeos (1858) situó las cimentaciones en el cauce del río, para lo que utilizó un sistema de aire comprimido que permitía excavar en seco bajo el nivel freático, igual que haría con las cimentaciones de su torre a orillas del Sena. En 1869 construyó dos viaductos, en Rouzat y en Neuvial, con unos pilares de sorprendente parecido con el trazado de la futura torre de 300 metros.

Muy poco después, Eiffel ejecutó tres obras extraordinarias: los **puentes María Pía**, y Luis I en Oporto (1875/1880) y el **viaducto de Garabit** (1878). De dimensiones espectaculares –160 y 166 metros de luz respectivamente–, fueron montados en voladizos sucesivos, lo que exigía una enorme precisión para conseguir que los agujeros de las dos mitades del arco coincidieran y así poder unirlos, como se haría también en la torre de 1889. Para unir todos los componentes del viaducto de Garabit se utilizaron 500.000 roblones, una especie de remaches que los operarios debían introducir al rojo vivo. Por otra parte, Eiffel contaba desde 1865 con una factoría propia, los talleres de Levallois-Perret, donde diseñaba y fabricaba sus estructuras de hierro, lo que le daba total autonomía y control sobre el proceso de prefabricación.

Los puentes de Oporto sobre el río Duero, construidos por la Compañía Eiffel, constituyeron prototipos que lanzaron al éxito a Eiffel de forma definitiva. El primero en construirse fue el de María Pía (1875), siendo el ingeniero aún muy joven. Obra de enorme plasticidad y elegancia, supuso un gran reto tecnológico al cubrir los ciento sesenta metros de anchura del río con un solo arco, que además fue construido en voladizo, es decir, mediante la sujeción con cables de acero de cada uno de los dos semiarcos iniciados en las orillas, hasta su unión en el centro. Este gran arco se apoya en una base de piedra y se completa con dos pilares metálicos a cada lado, más un montante (pilar pequeño apoyado sobre el arco). El tablero se apoya sobre los pilares, los montantes y la parte central del arco. La composición de todos los elementos con vigas de celosía asegura esa imagen de ligereza. El de Luis I repite el modelo con el añadido de un tablero inferior que duplica su capacidad de tránsito.



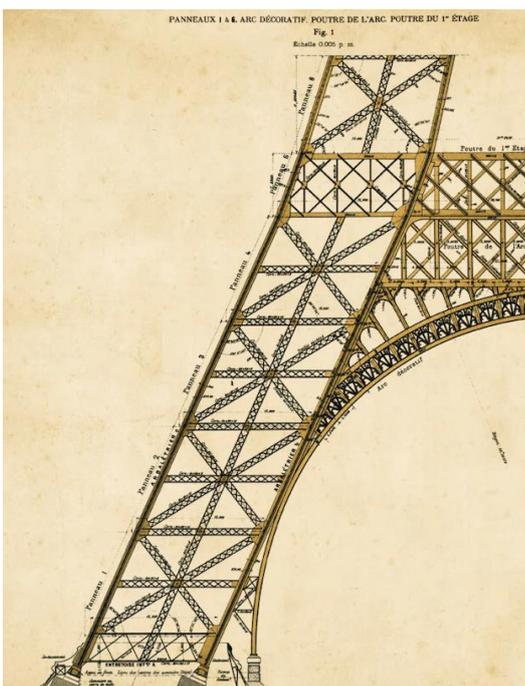


El primer proyecto de la torre de 300 metros no fue de Eiffel, sino de dos ingenieros de su despacho, Émile Nougier y Maurice Koechlin. En 1884, éstos imaginaron un gran pilono metálico formado por cuatro pilares que se curvaban en la base y se unían en la cúspide. Eiffel no mostró inicialmente gran interés, quizá por el escaso atractivo visual de ese primer esbozo. En cambio, cuando el arquitecto Sauvestre le añadió una profusa ornamentación, Eiffel comprendió el atractivo del proyecto y el 18 de septiembre firmó junto con Koechlin y Nougier una patente denominada *Nueva disposición que permite construir pilares y postes metálicos de una altura que pueda superar los trescientos metros*. Posteriormente, Eiffel compraría a sus ingenieros el derecho de patente a cambio de un porcentaje de los ingresos que produciría la obra. El diseño final redujo la decoración de Sauvestre, de modo que la estructura se convirtió en el elemento preponderante de la torre. Fue este proyecto el que ganó el concurso de 1886.

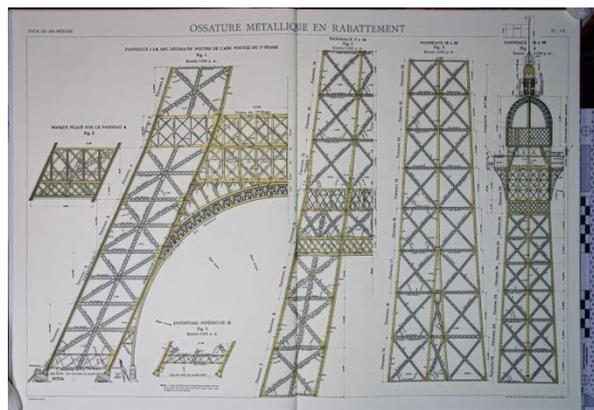
El diseño de la torre Eiffel fue fruto de pormenorizados análisis a cargo de unos 40 ingenieros y delineantes, quienes realizaron 700 planos de conjunto y 3.600 dibujos de taller. La primera preocupación de los ingenieros era impedir que la torre volcara, lo que se logró mediante el trazado campaniforme de sus cuatro pilares, que le proporcionan la estabilidad suficiente. Las 7.341 toneladas de peso de la torre quedaron así firmemente asentadas.



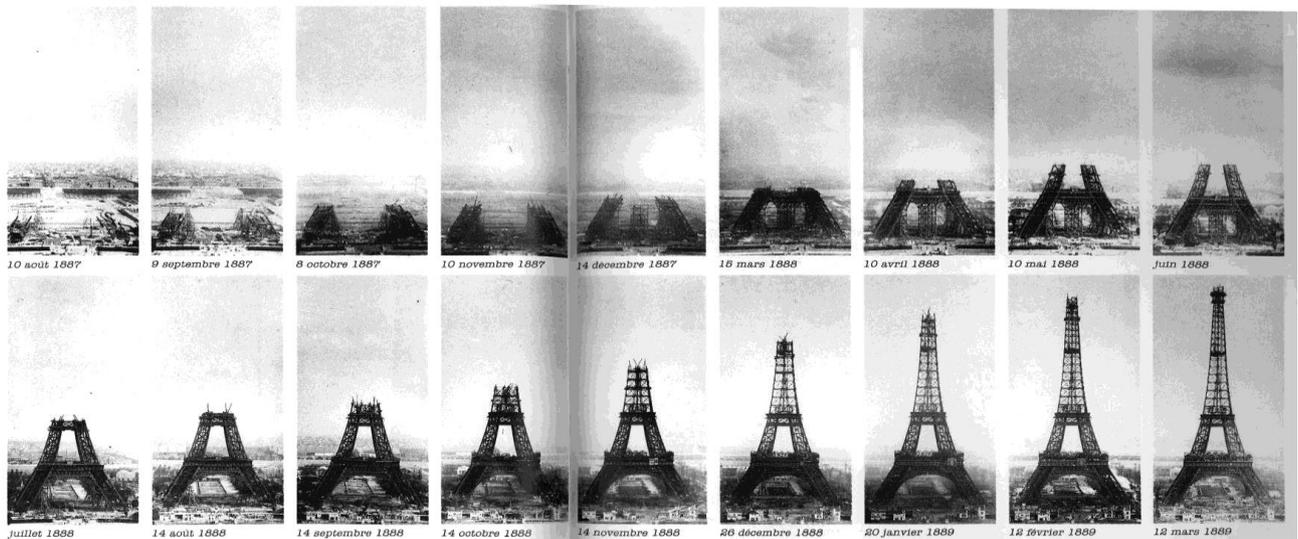
La segunda preocupación era evitar que la torre se deformara (o balanceara) en exceso a causa de la acción del viento, por lo que debía ser una estructura de elevada rigidez. Esto se consiguió mediante dos recursos: la conexión de los cuatro grandes pilares de la torre mediante una gran viga de celosía a la altura de la primera planta y el sistema de la triangulación.



La unidad estructural básica de la torre Eiffel es el cuadrilátero triangulado. Cada uno de los cuatro pilares de la torre está formado por 28 de estos cuadriláteros o paneles, de entre 6 y 11 metros de lado; en el tramo hasta la primera planta, a 57,63 metros de altura, se contabilizan 4. Gracias a este sistema se logra la casi total rigidez de la torre frente al viento.



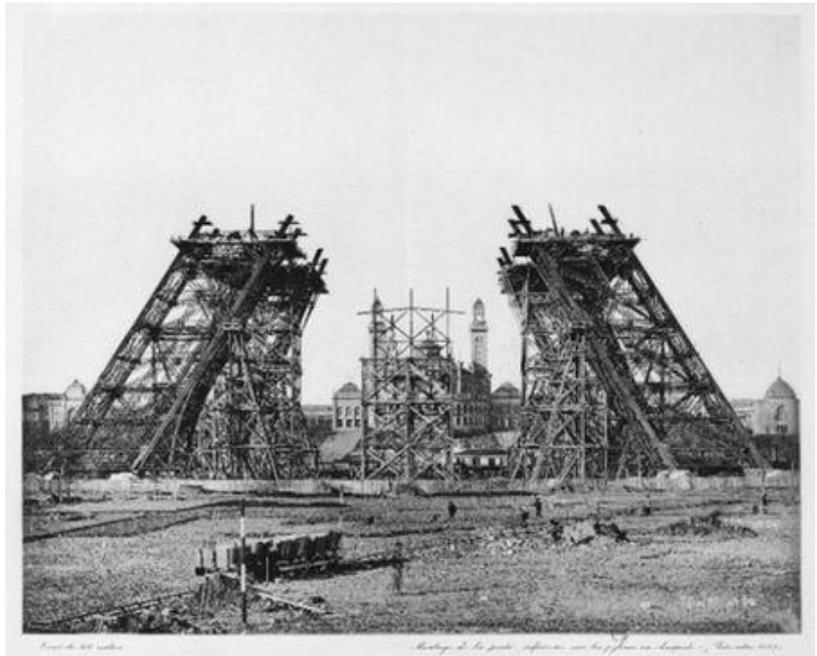
La torre se construyó en un tiempo récord: las obras empezaron el 26 de enero de 1887 y terminaron el 31 de marzo de 1889, a tiempo para la inauguración de la Exposición Universal dos meses más tarde.



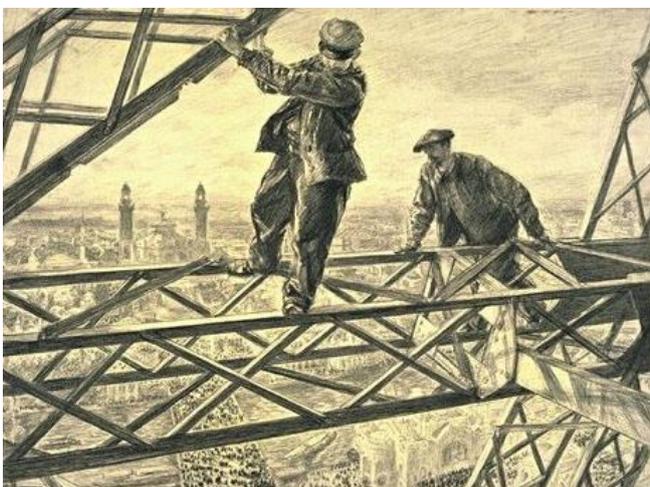
Durante los cinco primeros meses de las obras se ejecutó la cimentación. Ésta consistía en un lecho de grava compacta a varios metros de profundidad sobre el que se dispusieron pesados bloques de hormigón. Sobre dichos bloques se construyeron grandes zapatas de piedra en las que quedaron anclados los cuatro pilares de la torre. La construcción de los cimientos de los pilares N y W, los más próximos al Sena, fue especialmente compleja debido a que era una zona pantanosa e inestable, por lo que fue necesario excavar cinco metros por debajo del nivel freático hasta alcanzar terreno firme. Para realizar la excavación, Eiffel empleó un sistema de cajones neumáticos que se había introducido en Inglaterra en 1830 pero que nunca se había aplicado a una obra de las dimensiones de la torre Eiffel.



Para el montaje de la primera planta se utilizaron andamios de madera de forma piramidal a fin de apuntalar los pilares. A continuación, se construyeron cuatro grandes torres de carga sobre las que se montaron las cuatro grandes vigas de la primera planta. Al conectar estas cuatro vigas a los pilares inclinados, éstos quedaron estabilizados. A partir de la primera planta se montaron sobre cada uno de los cuatro pilares grúas trepantes impulsadas por vapor que iban deslizándose por los pilares e izando las secciones de la torre.



El avance de las obras fue regular: unos 10 metros al mes. En septiembre de 1888 se alcanzó la segunda planta, a 115 metros de altura. Desde aquí, la torre toma la forma de un pilono propiamente dicho y el proceso de construcción se hizo más sencillo. La última fase fue la instalación de los ascensores, otro logro técnico sin precedentes; las empresas Edoux, Otis y Combaluzier instalaron tres tipos de ascensores, superando el reto de ascender 276 metros.



En la torre trabajaron a la vez entre 150 y 300 obreros. Su labor consistía en ensamblar las piezas que otro centenar de trabajadores fabricaban y premontaban en talleres situados a las afueras de París, de donde llegaban por vía férrea. Por ello, la principal tarea era la de unir las distintas piezas mediante roblones, un precedente del tornillo.

Para colocar los roblones se formaron equipos de cuatro hombres: el grumete accionaba la fragua, calentando el roblón al rojo; el sostenedor lo

introducía en el orificio, que ya venía realizado del taller, y lo sujetaba por la cabeza; el remachador golpeaba el vástago para formar la cabeza opuesta, y finalmente el golpeador la remataba con una maza. En la primera fase operaban cuarenta equipos que colocaban unos 4.200 roblones al día. En total, la torre Eiffel tiene 2,5 millones de roblones.

Los obreros fueron contratados entre carpinteros de París acostumbrados a trabajar a cierta altura y que demostraron ser inmunes al vértigo. De hecho, se produjo un único accidente mortal, que ocurrió además fuera del horario de trabajo. Más que la altura, el mayor problema de los obreros fue el frío, sobre todo durante el gélido invierno de 1888-1889. La jornada de trabajo era de 9 horas que llegaban a 12 en verano. Ante las exigencias de los obreros, que a finales de 1888 llegaron a declararse en huelga en dos ocasiones por considerarse insuficientemente pagados, Eiffel les ofreció primas por resultados y mejoras en sus condiciones de trabajo, como una cantina en la primera planta, donde podían calentar la comida que se traían de casa.

La inauguración oficial de la torre Eiffel se hizo el 15 de mayo de 1889 (pintada de rojo oscuro aunque desde 1868 está pintada de color de bronce) Mientras que Gustave Eiffel y un grupo de personalidades izaban una bandera de Francia en lo más alto de la torre, ésta se iluminó con bengalas y se dispararon veintiún cañonazos desde el primer piso. En un disculpable alarde de chovinismo, Eiffel diría: «La bandera francesa es la única que posee un mástil de 300 metros».



Durante la construcción se habían alzado algunas voces, particularmente de artistas y literatos, que denunciaban las dimensiones «monstruosas» de la torre y su fealdad. El novelista Maupassant, por ejemplo, la consideraba un «esqueleto feo y gigante», y otro

escritor, Huysmans, hablaba de «ese repugnante poste de rejas». Sin embargo, para entonces la estética de la arquitectura en hierro ya no resultaba totalmente nueva y la propia torre incorporaba elementos puramente decorativos, como los arcos en la base, que buscaban armonizarla con los gustos de la época. Lo que realmente impresionó fue la escala del edificio, sus dimensiones colosales, y eso tanto si se lo miraba desde abajo como por las perspectivas que se obtenían desde la cúspide. En la prensa aparecieron opiniones extasiadas: *“La torre Eiffel se impone a la imaginación, tiene algo de inesperado, de fantástico, que deleita nuestra pequeñez”*. *“Sólida, enorme, monstruosa, brutal, se diría que, despreciando silbidos y aplausos, trata de buscar y desafiar al cielo”*, y durante la Exposición Universal hubo un auténtico aluvión de visitantes –se calcula que dos millones–.

La torre Eiffel fue concebida al margen de cualquier utilidad, con el único fin de batir un récord y convertirse en un símbolo de la civilización industrial, al modo de un menhir moderno. Algunos creían que tras la exposición universal de 1889, tarde o temprano, se desmantelaría y por ello el propio Eiffel trató de darle nuevas funciones de tipo científico. Primero se hicieron experimentos aerodinámicos, en 1898 se realizó la primera retransmisión telegráfica y en 1906 se instaló una emisora de radio. Además, la torre dio lugar desde el principio a una industria de souvenirs y se utilizó como reclamo de infinidad de productos. Para atraer al público, en la primera planta de la torre Eiffel se instalaron tiendas de regalos, restaurantes e incluso un teatro aunque gran parte de estas estructuras se eliminaron unas décadas más tarde.



Famoso, cargado de honores oficiales, y multimillonario, Gustave Eiffel murió en 1923. Pocos años después, su torre perdió la condición de edificio más alto del planeta en favor de dos rascacielos norteamericanos acabados respectivamente en 1930 y 1931: el Chrysler Building del arquitecto William van Allen, de 319 metros, y el Empire State Building, de 381 metros, diseñado por William F. Band

No obstante su torre se ha convertido en símbolo de Francia y es el monumento más visitado del mundo con más de 7 millones de visitantes anuales.