Arquitectura industrial [1]

PRÓLOGO

Voy á hablaros de Arquitectura, pero no de la Arquitectura usualmente tratada; no analizaré en mis discursos la serena hermosura del Parthenon de Atenas, ni las artísticas formas de construcción y significativas esculturas de los cenobios románicos; no os explicarán tampoco mis palabras el gran romanticismo de los maravillosos templos medioevales, ni las elegantes líneas del Renacimiento, ni los grados de fiebre de nuestro moderno arte indeciso..., no; sobre todo esto se ha escrito mucho y tenéis á mano magistrales códigos y obras nutridas de pro-

---

(1) Siendo poco menos que imposible, por su gran extensión, dar cabida en el presente volumen al extracto total del Curso de estas Conferencias, así como reproducir todos los documentos y clichés que en las mismas se han expuesto (que aproximadamente ascienden á trescientos) (*), se continúa solamente el resumen de un cierto número de Conferencias con algunos grabados intercalados; pero al objeto de completar, en lo posible, la información de todo el trabajo, siguen al final de dicho resumen los títulos y programas de los restantes estudios desarrollados por su autor con la reseña de los diapositivos proyectados y de los dibujos, planos y demás documentos exhibidos.

(*) La colección de clichés diapositivos, proyectados en estas Conferencias, ha sido regalada por su autor, el disertante, á la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona.

fundos pensamientos y claras reflexiones. Voy, pues, á hablaros de una Arquitectura más nueva, de una Arquitectura á la que también concurre, como en la anterior, el sentimiento de nuestro corazón, pero con una finalidad distinta, con una finalidad explotativa, industrial.

Voy, en fin, á hablaros de la Arquitectura del Ingeniero, ó en cierto modo, si lo queréis dicho de otra manera, de la ingeniería del arquitecto.

*
* *

La construcción en general, este mundo de fábrica, trazado con regla y compás, es un mundo esencialmente evolutivo, es una constante manifestación de los estados sociales, de las ideas y de los progresos de la humanidad.

El gran libro de la historia de las sociedades puede leerse clara y ordenadamente por la observación cronológica de las construcciones y de los edificios en general. Desde los primeros capítulos, que corresponden á la época paleolítica, hasta los últimos, relativos á la edad del hierro y acero, pasando sucesivamente por las intermedias edades, de la piedra pulida, del cobre y del bronce, encontramos luminosamente reflejados los estados espiritual y científico de cada país. Abramos por la actual página este libro inmenso y detengamos la mirada en la metrópolis del siglo xx.

*
* *

Sobre el Manhattam, aquella estrecha roca que surge del agua, la apiñada construcción de Nueva York semeja una formación geométrica (fig. 1) que crece tocando á las nubes por las espantosas alturas de sus *Sky scrapers* con alma de metal, rodeadas de chimeneas que ennegrecen al cielo y de muelles atestados de mercancías. Su rada, guardada por la «Libertad iluminando al mundo», de Bartholdi, y los infinitos

Fig. 1. Una calle de Nueva York

En primer término se levanta el edificio bautizado por los norteamericanos con el nombre de *Flat-iron*, resuelto á base de *skeleton* de acero. Considérase hoy como el edificio más esbelto de Nueva York, pero muy inferior en altura á muchos otros; la planta, sensiblemente es un triángulo isósceles de 60 × 60 × 28 metros.

buques que humeantes surcan sus rías, sobre las que se tienden las mayores catenarias del mundo, las guirnaldas de acero del Brooklyn y del puente de Williamsburg, infunden como una alucinación frenética de comercio y ciencia, plasmada en ladrillo, en hierro y en fuego.

*
* *

Retrocedamos ahora un pliego de páginas..... ved aquella escultura inmensa y llena, como tallada en bloque de una sola pieza; aquel conjunto monumental de horizontales coronaciones con numerosos órdenes de arcadas y columnatas en alineación recta y circular... es la Roma, (fig. 2) la majestuosa Roma Imperial. Los grandes bloques y enormes masas del Coliseum, del Pantheon, del Forum y demás construcciones, respiran, más que ciencia, la soberbia y autoridad de un pueblo que edifica sólo para asimilarse naciones; sus únicas máquinas son los brazos de los pueblos dominados.

*
* *

Así como hemos encontrado expresiones tan distintas en las dos citadas urbes, hojeando más hallaríamos otros senti-

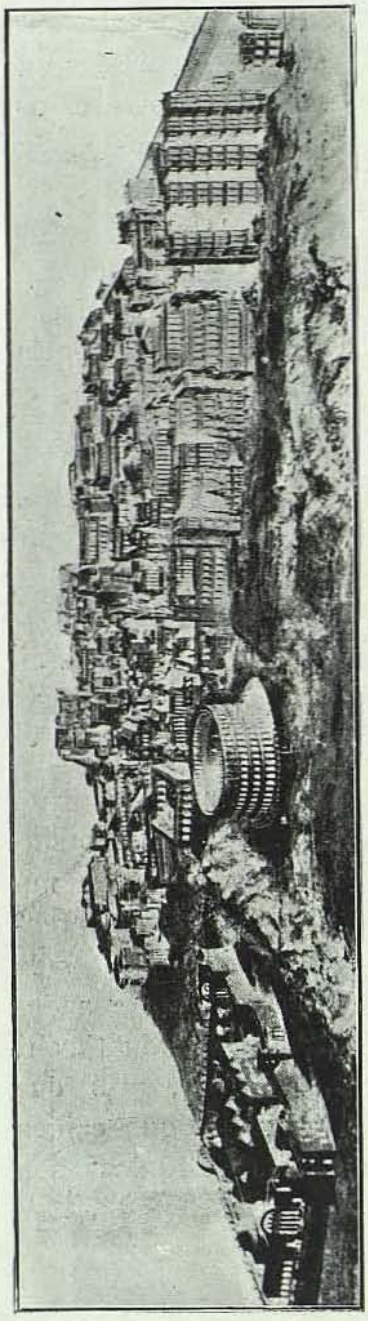

Fig. 2. Restauración de la ciudad de Roma en la época del Imperio. — Obra del Profesor Marcelliants

mientos y expresiones de arte distintas también, en los diferentes capítulos del libro de la construcción.

El arte de los capítulos antiguos de dicho libro, no se ha sepultado; al contrario, se le hace resurgir esclareciendo sus misteriosos orígenes y exponiendo amorosamente sus venerandos restos en los modernos Museos de las industriosas ciudades americanas y europeas, pero... fuerza es confesarlo, aquel arte no ha sobrevivido tampoco, á causa de no poder respirar en el devorante ambiente del actual siglo saturado de hulla y electricidad... Tal vez en lo futuro renazca más religioso y florido que nunca, y esperanzados en que así será, contemplemos á nuestras Escuelas de Arquitectura, donde se enseña aún la edificación de aquellas ciudades helénicas, bizantinas y góticas que murieron ya. Pero al llegar aquí voy á haceros notar un fenómeno en extremo original.

La ciudad viva, la moderna ciudad industrial, ¿dónde se la enseña francamente á edificar? ¿dónde poder aprender con carácter arquitectónico la verdadera filosofía de las estruc-

turas constructivas que exigen nuestro comercio y nuestra actividad portentosos?... ¿dónde encontrar textos que especialmente se ocupen de la arquitectura de nuestra industria, de la composición artístico-industrial de nuestras grandes centrales de fuerza motriz, de nuestros puentes, de nuestras fábricas, estaciones, manufacturas, etc., que son precisamente las edificaciones que reflejan el estado y la naturaleza de nuestro siglo?...

La enseñanza del gran libro de la construcción no es, pues, completa, y en verdad no resulta nada fácil el completarla.— Es corriente enseñar el alto matematicismo ó la práctica de los oficios, en las obras industriales, pero con esto, sólo se llega á la verificación de la resistencia de las construcciones ó á los procedimientos de albañilería, carpintería, etc; mas la construcción industrial tiene, como la monumental, algo distinto de todo esto, tiene un fondo, una filosofía, que el ingeniero, hombre de nuestros días, debe sentir y comprender, sintetizando las grandes leyes compositivas á que están sujetas las obras que produce, para que éstas respondan cumplidamente á su fin y se caractericen con la expresión intensa de nuestra época.

Los principios de este fondo de la construcción industrial no están hoy escritos, son de exclusivo patrimonio de ciertos espíritus precursores, y no se ha dado aún en qué forma deben enseñarse ni con qué método se deben agrupar.

Por fortuna, recientemente se ha notado este defecto, y en la carrera de Ingeniero industrial encontramos ya los planes de 1902 y 1907 (1) que contienen una materia relacionada con la de que tratamos, figurando en ellos la asignatura de «Arquitectura industrial».

Dentro de dicha asignatura encajan maravillosamente los datos y ejemplos, aún hoy dispersos, de la composición, construcción y arte característico de las obras del Ingeniero.

---

(1) 14 septiembre y 6 agosto respectivamente.

La unificada colección de tales elementos, con el parecer é ideas de sus autores, á fin de formar la doctrina de Arquitectura industrial, ha sido el objetivo de mi viaje al extranjero (1). La síntesis de las impresiones recibidas está aproximadamente croquizada en la Memoria reglamentaria que redacté inmediatamente al regresar; las Conclusiones de dicha Memoria (2), y principalmente la nueva orientación que á mis cursos de la Escuela de Ingenieros pueden producir las impresiones, datos y elementos recogidos, forman el resultado de mi pequeña labor; pero á más de esto, traigo del extranjero unos bocetos que serán objeto de detallado estudio futuro; entre ellos cuento los temas de las Conferencias que, de un modo general y espontáneo, tendré el honor de explanaros durante este curso, con la sola pena de no ser un Ruskin ó un Viollet-le-Duc para poder infundiros el sentimiento de la Arquitectura industrial con la misma intensidad con que aquellos hombres infundieron á sus países el sentimiento de la Arquitectura gótica.

El «Architectural Treatment» en las Fábricas de Inglaterra

I

PERMITIDME, Señores, que comience exteriorizando una observación que, aún cuando es de carácter general, está, sin embargo, más íntimamente relacionada con la Arquitectura, y que, por tanto, sin otro exordio ni justifi-

(1) En virtud de R. O. de 21 de mayo de 1906.
(2) Publicadas en la *Gaceta de Madrid* del 11 marzo 1909.

cativo me da pie para ingresar directamente en la exposición de esta Conferencia:

El hecho observado estriba sencillamente en el escaso interés que, de ordinario, inspira lo actual en comparación del que inspira lo pasado. Es realmente cierto que lo que discurre ante nuestros ojos tiene menos atractivo que lo que leemos en la Historia, y precisamente por esto, los edificios antiguos, los que en siglos pasados han servido á la humanidad para la realización de sus objetos y de sus vocaciones, nos atraen mucho más que las edificaciones que erigimos ahora para sostenernos en la ruda batalla de nuestra agitada vida.

Gracias á las minuciosas y profundas indagaciones acerca de la arquitectura histórica, se han esclarecido hoy casi todos los principios de composición y codificado completamente las formas y proporciones en todas las épocas y estilos, desde las que nacieron en Asiria y en Egipto, cunas de la construcción, hasta las aparecidas en el Renacimiento; pero respecto á nuestra edificación actual, á la que reclama y exige cada día más poderosamente nuestra industria y nuestro comercio, no hay ninguno de estos estudios francamente planteados, pasando así completamente inadvertida ante nuestros ojos la interesante etapa de la génesis arquitectural que nos corresponde. Hasta la posteridad, en que el misterioso atractivo del pasado revestirá á nuestras obras, ó sus descripciones y proyectos, no serán éstas justamente apreciadas, y sólo entonces se estimarán los procedimientos y formas, así constructivas como decorativas, de nuestra industrial Arquitectura.

Tal vez es, pues, aventurado el querer romper la corriente de la citada observación, y llevaros, anticipando impacientemente los hechos, ante las edificaciones modernas, ante las plásticas expresiones de las ideas y de las costumbres de la época en que vivimos... en este caso perdonad mi atrevimiento, en obsequio, siquiera, á lo que dijo Descartes en su profundo *Discours de la Méthode:* «lorsqu'on est trop curieux des choses qui se pratiquaient aux siècles passés,

on demeure ordinairement fort ignorant de celles qui se pratiquent en celui-ci. »

*
* *

Boileau, en su *Histoire critique de l'invention* en la Arquitectura, ya nos definió á ésta como el arte de producir impresiones estéticas por medio de la construcción científica más avanzada, sentando así el principio de que las más inspiradas composiciones arquitecturales se resuelven con las últimas conclusiones de las ciencias de la construcción. Estas son, pues, capaces de evocar sentimientos artísticos, con éstas se resuelven los programas de nuestra industria, y, por consiguiente, los edificios industriales pueden también constituir completa manifestación de arte. Así lo han comprendido perfectamente diversos países, entre los que descuellan la Alemania y la Francia, los Estados Unidos y la Inglaterra.

Las dos primeras naciones, por su constante sentimiento de belleza y ostentación, unido al desarrollo de su Ingeniería, han propulsado intensamente á la Arquitectura industrial; los americanos, por la portentosa actividad de su carácter eminentemente práctico y la sed de fortuna mostrada en sus negocios, han llegado á definir un sistema de construcción pasajero y evolutivo, pero genuinamente representante de sus ideas, y, por tanto, con arquitectura personal propia; y por fin la Gran Bretaña, país tradicional que asocia discretamente el arte á todas sus manifestaciones, ha logrado, por su propia vitalidad, armonizar su arquitectura con la influencia de la construcción americana, definiéndose también de una manera peculiar. Particularmente en las ciudades de Londres, Edimburgo y en sus alrededores, radican interesantes edificios que abonan esta aserción.

*
* *

El desarrollo científico de los citados países y su práctica aplicación al ramo comercial está constantemente originando

nuevas industrias, dando lugar á programas que el constructor se ve obligado á desarrollar, naciendo así una arquitectura matizada del sentimiento dominante en nuestra época. Entre estas nuevas industrias figuran, en importante lugar, las que se refieren al aprovechamiento de las fuerzas de la naturaleza, bien para utilizarlas directamente, bien para entregarlas al hombre, canalizadas y aptas, para la fácil manipulación. La revolución industrial que este principio entraña, la conquista de la energía que con él se va logrando, se realiza con una inadvertencia y silencio inexplicables; el pasmo industrial causado por las primeras aplicaciones mecánicas del vapor debería resultar pálido ante la impresión del primer transporte de fuerza por la electricidad, y, sin embargo, con la mayor impasibilidad y sin la menor extrañeza hase acogido la aplicación del prodigioso principio. Parece lo más natural el haber domado las gigantestas caídas del Niágara y ver hoy en su radio de 150 kilómetros á ciudades enteras con sus calles iluminadas, sus fábricas movidas y sus tranvías arrastrados por la fuerza de una pequeña parte de aquellas cataratas... y es más: sus siete millones de caballos harto tardan en ser recogidos por las ondas hertzianas para ser transmitidos sin hilos siquiera á cualquiera distancia!...

*
* *

Las edificaciones en que se desarrolla esta rama industrial han evolucionado también extraordinariamente sin que apenas nadie haya fijado en ellas los ojos, y bien merecen la pena, por ser las Centrales eléctricas ejemplos notables, digamos clásicos, de construcciones arquitectónico-industriales. En 15 años se han construído, solamente en Inglaterra, más de 750 edificios de aquella naturaleza, habiendo rebasado este número algunas otras naciones. Calcúlase en 64 millones de libras esterlinas el valor de las centrales inglesas en el año 1903. El desarrollo y perfeccionamiento de estas Cen-

trales data aproximadamente del año 1888, en que aparece favorecida por la legislación británica la erección de las fábricas de electricidad.

Las primeras fábricas de esta época no responden, sin embargo, completamente á su objeto, y explícase esta deficiencia por los progresos rápidos de la electricidad que obligaban á introducir en las Centrales, durante su misma construcción, importantes modificaciones no previstas aún en su proyecto, originando naturalmente, tal circunstancia, la falta de unidad y de composición en los edificios de que tratamos.

Hoy, aunque el tipo de las Centrales eléctricas se ha definido bastante, no está, tal vez, completamente encontrado, puesto que han sido en rigor de escaso interés los datos y estudios sacados de los primeros edificios de este género, por haber los mismos progresado, tal como he citado, es decir, demasiado rápidamente. No obstante, la composición de estas obras respira su correspondiente aspecto en cada uno de los siguientes casos: 1.° Estaciones propiamente llamadas Centrales eléctricas. 2.° Sub-estaciones. 3.° Estaciones que generan y proveen directamente la electricidad, edificios que han sido los precursores de las actuales Centrales.

La composición de estas construcciones también varía notoriamente con la naturaleza de la fuerza original; así la fisonomía de una Central hidroeléctrica es completamente distinta de la de una Central á vapor (fig. 3 y 4).

La Sub-estación es una construcción, digámoslo así, satélite de la Central propiamente dicha, de la cual recibe su energía, cuya tensión reduce para enviarla segura y directamente, á pequeño voltaje, á los consumidores relativamente cercanos. De aquí la necesidad de emplazarla en los barrios céntricos de las modernas ciudades, barrios que de ordinario tienen una artística urbanización y un aristocrático ambiente á los que es indispensable amoldar la estructura arquitectural de la Sub-estación. Además, este género de edificios debe poseer excelentes condiciones de sequedad y de venti-

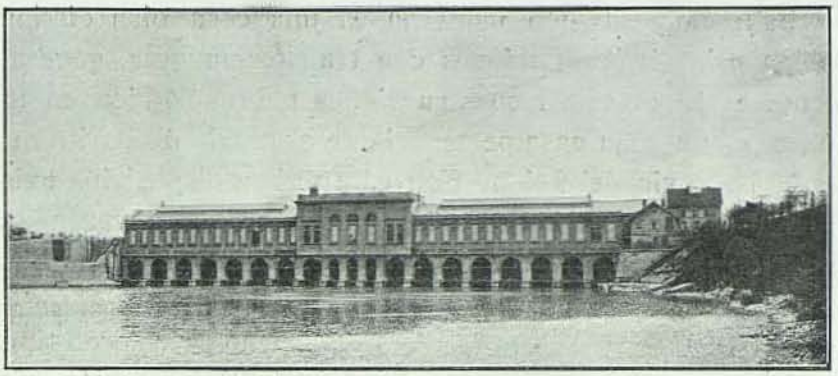

Fig. 3. Central hidro-eléctrica de la Société Lyonnaise des Forces Motrices du Rhône. — Canal de Jonage, Cuset, Lyon

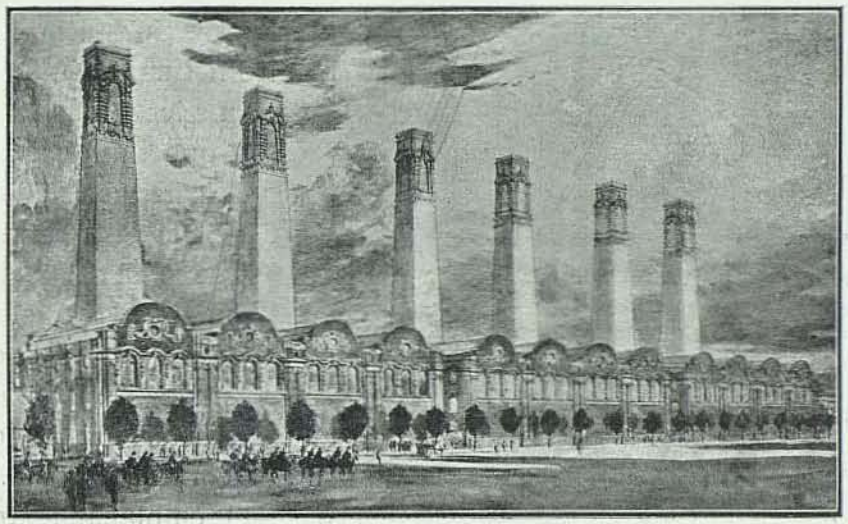

Fig. 4. Central eléctrica á vapor: The Central electric Supply Company, Limited

Actualmente en construcción
Grove Road, Londres. — Proyectada por el eminente arquitecto C. Stanley Peach

lación y la marcha de sus máquinas se ha de verificar silenciosamente, con ausencia de toda transmisión mecánica y de toda vibración. Con la realización completa de estas necesidades hase formado en Inglaterra la moderna Sub-estación transformatriz, cuyo detenido estudio es de un altísimo interés.

Esta Sub-estación moderna es una cosa bien distinta de las primitivas estaciones con transformadores, generalmente emplazadas en construcciones pobres, ó bien en los sótanos de alguna casa perteneciente al barrio ó distrito que se debía servir del flúido. Con esta última disposición existen aún actualmente en París algunos *secteurs*, verdadera tradición de esta primitiva forma de alojamiento de las Sub-estaciones.

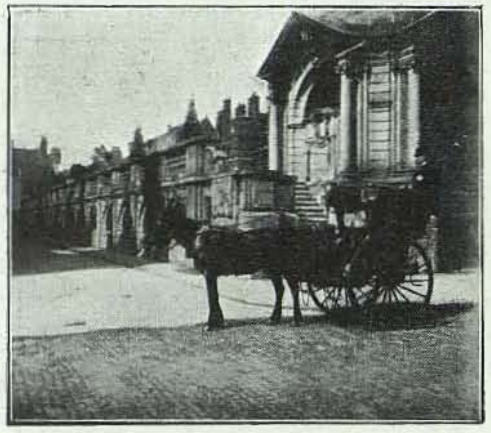

Fig. 5. Motor generator and Italian garden

Estación transformatriz de electricidad, correspondiente á la Compañía The Westminster Electric, Supply Corporation, de Londres. Interesantísima construcción arquitectónico-industrial del Duke-street, recientemente inaugurada.

Uno de los prototipos de la Sub-estación moderna inglesa lo encontramos indudablemente en el «Italien Garden and Electricity Substation», inspiradísima composición artístico-industrial (fig. 5) que se levanta cerca de la hermosa calle Regent-Street, de Londres. Ocupa el solar en que existían los jardines particulares del duque de Westminster. La sociedad de electricidad de Westminster (Westminster Electric supply corporation Ltd.) se incautó de aquellos terrenos para el emplazamiento de una de sus Sub-estaciones transformatrices, pero á condición de alojarla en un edificio de carácter monumental y de poca altura, que pudiese además ser utilizado para solaz del público. El programa del edificio industrial, complicado por estas circunstancias especiales, ha sido maravillosamente interpretado por el célebre arquitecto Mr. Charles Stanley Peach, habiendo merecido sus planos, expuestos en la «Royal Academy», de Londres, la universal aprobación.

El «Italien Garden» está compuesto á base de una gran terraza rectangular (fig. 6) y dos pabellones, uno en cada extremo de la terraza. Esta, que es de poca altura, unos 2'80 m., constituye el techo de la gran sala de motores electrógenos, dispuesta en semisótano y recibiendo, por tanto, luz directa por ventanales en segmento circular, abiertos en los muros longitudinales de apoyo de la terraza. La construcción realizada en piedra Portland, está arquitecturalmente tratada con un severo estilo neoclásico.

Fig. 6. Vista parcial de la terraza pública de la Estación transformatriz de electricidad, emplazada en el Duke-street, de Londres.

Interiormente, está toda la construcción revestida de ladrillo esmaltado, blanco y azul, conteniendo, además de la gran sala de máquinas que producen 9 mil kilovatios, todas las dependencias secundarias que el edificio necesita. Los pabellones referidos están habilísimamente utilizados para dos montacargas de 20 Ts., cada uno, los que, en combinación de las grúas y vías ó carriles de la sala, permiten realizar las operaciones de la introducción y montaje de máquinas con gran facilidad y silencio. Los cuadros de alta y baja tensión, sus galerías de acceso, etc., completan los servicios internos con la más irreprochable perfección.

La terraza, que gravita sobre un resistente entramado de metal, está rodeada de una decorativa balaustrada de piedra, con un surtidor en el centro, bancos ornamentales, parterres con flores, etc., recordando completamente una disposición de jardines suspendidos. Los pabellones, con sus laterales escaleras de acceso á la terraza, su esférica cúpula

de piedra y su puerta maciza, de hierro, acaban de dar al conjunto de la construcción todo el interesante aspecto de una obra original, en que armonizan admirablemente el arte más correcto con la industria más científica.

Del mismo arquitecto Mr. Stanley Peach, el gran protagonista de la Arquitectura industrial inglesa, es obra también la gran Central de Londres « The Power Station of the Central Electric Supply Company, Ltd.» que actualmente se está construyendo en el Grove Road. Esta fábrica que, una vez terminada, podrá engendrar más de 100,000 kilovatios, tiene hoy solamente montada la mitad de su primera sección, que funciona con generadores de vapor verticales para 14,800 H. P. de potencia. El completo proyecto del edificio, de naves paralelas extendidas al pie de una alineación de gigantescas chimeneas piramidales, acusa una composición tan vigorosa, una decoración tan discreta y una tal majestuosa expresión de austeridad y grandeza industrial, que no es aventurado decir que una vez terminada la obra competirá seguramente con las más hermosas Centrales del mundo, por ejemplo, con la Central municipal de Viena, con la del Quai de la Rappé, de París, etc. (véase fig. 4, anteriormente referida).

*
* *

Las grandes fábricas, en general, pero sobre todo las inmensas centrales de electricidad, son frecuentemente recriminadas por los artistas apasionados de la naturaleza, que tristemente ven ennegrecerse muchas verdes y floridas comarcas con el polvo de la hulla que se extrae de sus entrañas ó quedan sorprendidos ante la audacia del ingeniero, viéndole aprisionar, en tubería forzada, al blanco torrente que poco antes inundaba de murmullos y poesía las regiones de algún país ; pero será justo observarles que si bien desaparecen los espectáculos hermosos de la naturaleza, para obedecer así á la apremiante ley del trabajo, en cambio se rinde

tributo á los principios utilitarios de nuestro siglo, y se engendra, como vemos, un nuevo arte, materializado en estas construcciones y envolventes intensamente expresivas de la mecánica y la electricidad, es decir, de la vida propia de la industria, que va á su vez preparando para el futuro grandes utilidades y desconocidas maravillas.

Into the future, far as human eye can see,
See the vision of the world, an all the wonders that will be (*)

*
* *

Demostrado el desarrollo ó aplicación de la Arquitectura en la esfera industrial, cabe directamente preguntar: ¿se debe en las obras de que nos ocupamos mantener ó no la tradición de las formas arquitectónicas conocidas? Es decir, ¿deben las obras industriales tratarse con un ropaje arquitectural propio de estilos ya codificados, haciendo, por tanto, que reflejen más ó menos veladamente el aire de los edificios del Renacimiento ó de la Edad media, y hasta de épocas más primitivas, ó bien, por el contrario, débese procurar la emancipación completa de las formas y elementos clásicos, góticos, etc., resolviendo á entera libertad las grandes estructuras y originales composiciones reclamadas poderosamente por nuestras florecientes industrias?...

Parece más liberal el segundo procedimiento que el primero, pues la expresión de la obra debe ser una consecuencia espontánea, imprevista, un resultado enteramente ingenuo de la racional labor del Ingeniero que ha tenido tan sólo en cuenta la utilización de las propiedades de los materiales empleados y la resolución de la armonía entre la estructura y el objetivo de la construcción. Esta labor intensa

---

(*) Penetremos en lo futuro con nuestra mirada
y evoquemos la visión del mundo con todas las maravillas que contendrá.

puede, realmente, producir la *propiedad* en la Arquitectura industrial; es para nuestros días, lo que era para los suyos, la labor de los arquitectos helénicos y medioevales, pero... la labor de estos arquitectos fué, á su vez, tan fecunda y nos dió elementos de tal universalidad de expresión, permitiendo al material pétreo hablarnos con tanta elocuencia y manifestarnos tal multiplicidad de sentimientos, que no ha llegado á caducar aún el tratamiento arquitectural de ninguna obra por aquellos elementos. Por esto es que las construcciones industriales pueden también caracterizarse enérgicamente con las arquitecturas codificadas.

Tenemos, por estos conceptos, planteadas en la Ingeniería dos corrientes arquitectónicas, que se dibujan con más ó menos precisión, respectivamente, en Inglaterra y en Francia, ó mejor dicho, en los radios de Londres y de París. Respecto á la segunda corriente ó procedimiento, he de insistir y dar múltiples ejemplos en una conferencia especial; en cuanto á la primera, la vemos ya comprobada en los clichés proyectados, pero la confirmaremos justificándola seguidamente.

En efecto, el carácter eminentemente práctico y tradicional del pueblo inglés le hace aceptar inmediatamente las innovaciones industriales y mirar, en cambio, con recelo el crecimiento rápido de un arte. La industria progresa velozmente y hay que seguirla al lado para no fracasar en los negocios; y, por el contrario, un arte, para tener solidez, necesita la mano de muchísimas generaciones. Solamente están absolutamente resueltas las arquitecturas clásicas y medioevales que han pasado por una gestación secular.

Por la citada característica del pueblo inglés, encuentran en él fácil acogida los modernos procedimientos de erección y estructura de las construcciones (fig. 7); así, el sistema americano de *skeleton*, tal vez importado por los irlandeses más bien que introducido por los mismos yanquis, ha cuajado perfectamente en Inglaterra, pero síguense en dicha

nación manteniendo con amor las formas de aquellas resueltas arquitecturas, vistiendo casi exclusivamente con su ropaje á todo género de edificios, incluso, como hemos visto, á los de carácter puramente industrial.

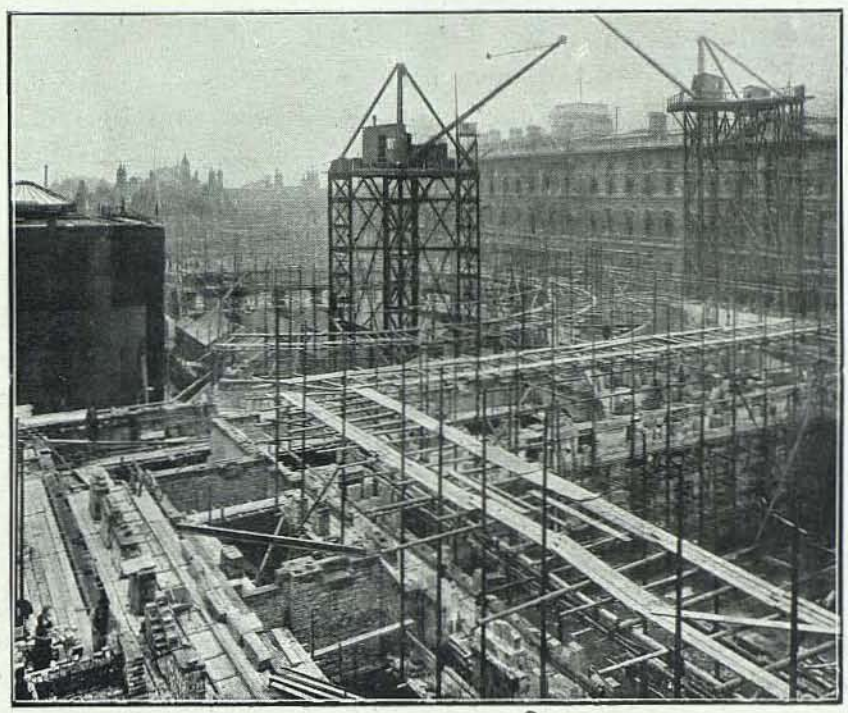

Fig. 7. New Governement Offices. — White-hall, Londres. — S. W.

Ejemplo del moderno montaje de construcciones con el empleo de grúas de movimiento universal; procedimiento corrientemente seguido en Inglaterra

No es, pues, solamente el *génie français* el propulsor de la arquitectura en las obras comerciales é industriales, sino que con frecuencia, en Inglaterra, encontramos también construcciones de este género, cuya exterior majestuosidad es únicamente debida á un interesante y bien entendido *architectural treatment,* del que profundamente se preocupan los ingenieros y arquitectos británicos. Este *architectural treatment,* se obtiene, por lo general, con formas prestadas á

los estilos del Renacimiento y al arte gótico inglés, el Tudor con predilección.

II

Las construcciones fabriles en piedra son escasas en Londres, por la poca cantidad de este material, y si exceptuamos la citada Sub-estación «Italian Garden and motor generator station», pocas obras pétreas encontraremos más, pues aun cuando abunden las que aparentan sillería, resultan ordinariamente chapeadas de granito, procedente del Norte, como, por ejemplo, sucede con el soberbio edificio que actualmente erigen en el «Strand» (Londres) los arquitectos Mewes and Davis, destinado á la imprenta y servicios del «Morning Post», grandiosa obra con osatura interna de acero. Otra construcción que se está terminando en el Piccadilly, el «Ritz-Hotel», está resuelta de la misma manera y es debida también á los citados arquitectos; es un sistema de construcción muy abundante en Inglaterra, esencialmente americano, sobre el que insistiré al tratar de la «Filosofía de las estructuras».

El ladrillo es el material más corriente, y con ser tan usual permite también la suntuosidad de las obras, gracias á la fantasía y movimiento de los distintos cuerpos de una construcción (ejemplo: «Universiti College Médical», de Londres), ó al justo empleo de la piedra discretamente localizada, en los puntos que se trata de acentuar, sobre los grandes paños de ladrillería (ejemplo: en la hermosa decoración estilo Renacimiento de las chimeneas, ventanales y lucernarios, de la antes referida «The Central Electric Supply Company Limited). El mismo gran almacén comercial del Oxford Street, New Premises, es indudablemente un ejemplo notable de la armoniosa composición á que da lugar el simultáneo empleo del ladrillo rojo y la piedra tratada en formas clásicas.

La combinación de ladrillería con elementos de cerámica vidriada está también perfectamente resuelta en muchas

Fig. 8. St. Pancras Station. — Londres

Estación de término de la Midlant, Railway. — Soberbia composición en ladrillería y cerámica vidriada

fábricas británicas; en la misma grandiosa «St. Pancras Station» (Euston Road, Londres), (figs. 8 y 9), encontramos un interesante ejemplo: la magistral composición de este edificio es gótica, sus aberturas están enriquecidas con columnas de mármol, y en su recortada y hermosa silueta destaca la soberbia torre del reloj, encuadrando admirablemente la obra con el intenso tráfico, mercantil y de pasajeros, que sin interrupción hormiguea por su planta y alrededor. La serie de los gigantescos cuchillos metálicos apuntados, de tirante subterráneo, que estructuran la gran nave interna, constantemente poblada de trenes, *hansoms* y *cabs*, envueltos en la velada luz que filtra por la región vidriada de la cubierta, dibuja una misteriosa perspectiva, imponente y reveladora de la gran importancia que se da en Inglaterra á los servicios de ferrocarriles.

Otra construcción de Londres, esencialmente industrial, el «Doulton's Pottery» (figura 10), situada en el Albert Embankment, está compuesta también á base de la propia combinación de ladrillería y cerámica vidriada.

Fig. 9. Perspectiva de la St. Pancras Station tomada desde la Euston-Road, Londres

Su estilo, con ser de menor pureza que el de «St. Pancras Station», resulta, sin embargo, de una gran elegancia y carácter, armonizando singularmente con la peraltada cubierta francesa y la esbelta chimenea decorada, en su región cercana al vértice, con una cuadrada terraza de calado pretil. Esta notable composición constituye característica nota arquitectónico-industrial, demostrando la entera compatibilidad entre el arte y los edificios fabriles.

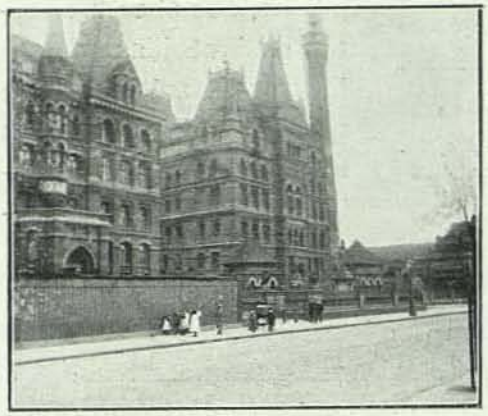

Fig. 10. Fábrica de cerámica emplazada en el Albert Embaukment, Londres, conocida por Doulton's Pottery.

*
* *

La seriedad profunda que respiran invariablemente las fábricas inglesas, es debida, como hemos podido observar, al clasicismo (digámoslo así) del ropaje arquitectural con que de ordinario son tratadas. El arte con toda su amplitud es, sin duda, sentido por los constructores, pero la sobriedad y discreción con que lo aplican imprime el especial sello característico de la construcción británica, diametralmente opuesta á la francesa, llena de libertad y abundante en decoración. El mismo tratamiento artístico del hierro comercial, laminado, que es un arte nuevo y típico, hijo de la fantasía de los arquitectos é ingenieros franceses, y del que he de hablar más adelante, no está aplicado en Inglaterra, con todo y ser uno de los países donde se construye más en hierro y donde existe, como he demostrado, una indudable atmósfera de arte en la rama industrial. Y es más, aquella especie de clasicismo, y también de romanticismo, ó hablando más generalmente, aquella restauración industrial de las arquitecturas monu-

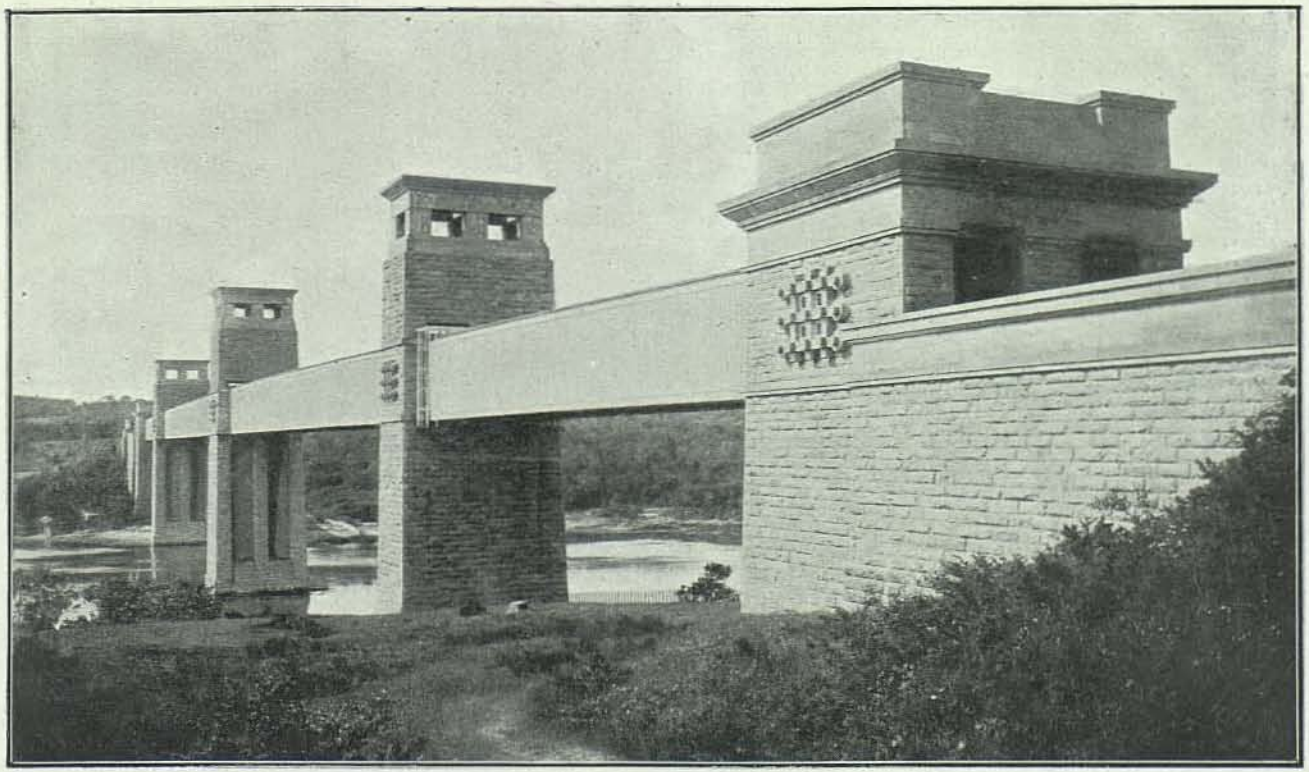

Fig. 11. Vista del Britannia Tubular Bridge. — North Wales

Puente con cuatro tramos tubulares de metal, estimadísima obra de la ingeniería inglesa, concebida por Robert Stephenson

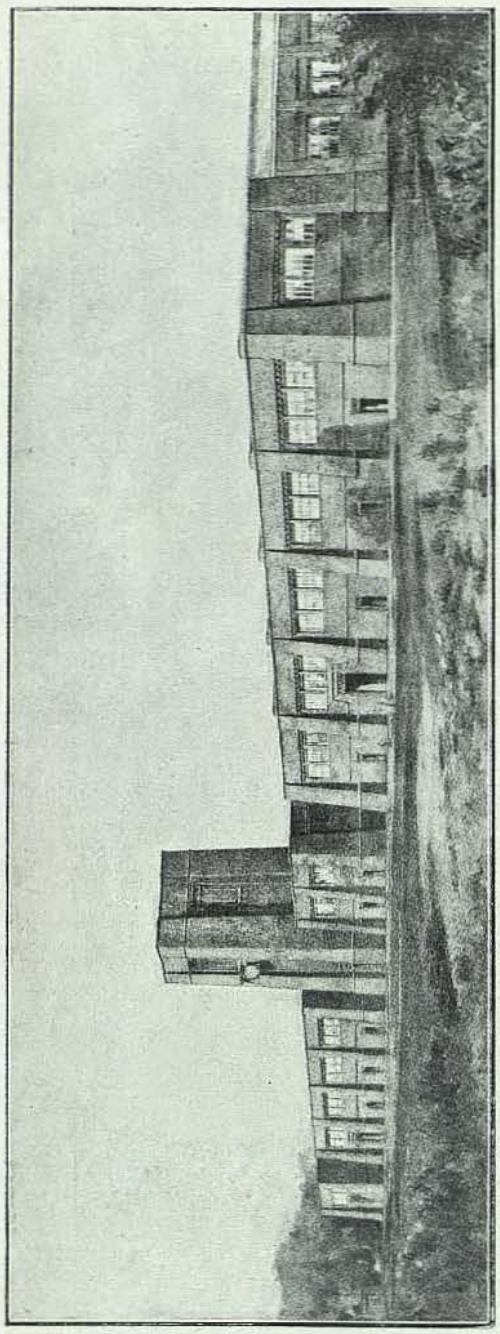

Fig. 12. Talleres metalúrgicos de Queensferry, Flintshire
Originalísima composición de ladrillería y metal que para Mrs. Williams & Robinson, acaban de construir los arquitectos londonenses Mrs. Creswell & Maule

mentales pasadas, y que vemos tan claramente reflejada en la maravillosa composición (figura 11) de Stephenson, el «Britannia tubular bridge» y en el mismo «Westminster bridge» de Londres, etc., ha llegado á extremarse en la actualidad, hasta el punto de reproducir con entera exactitud, en los edificios genuinamente ingenieriles, las mismas formas de artes remotísimas. Nos demuestran esta observación los interesantísimos edificios de Queensferry, Flintshire, de Mrs. Williams & Robinson, Limited, destinados á talleres metalúrgicos (fig. 12). Efectivamente, la construcción proyectada por Mrs. Creswell & Maule, comprende distintos cuerpos y está desarrollada con un entero programa de servicios para

máquinas, talleres, trabajo del acero, estación de fuerza motriz, laboratorios metalúrgicos, habitaciones del alto personal, etc., etc. El conjunto de la obra evoca instantáneamente la imagen de una construcción del antiguo Egipto, pues el predominio de los macizos sobre los huecos, las pequeñas puertas abiertas en el basamento, la recta horizontalidad de la coronación y el ataluzado de los muros, recuerda con claridad el general aspecto de los templos anteriores á la dinastía de los Ptolomeos, llenos de grandiosa gravedad, austeros y estables é impregnados de tristeza y quietud.

Toda la obra está proyectada con ladrillo vidriado, de rojo-púrpura; los chassis de las aberturas, en hierro fundido, y la cubierta, de pizarra, está sostenida por entramado de acero. Una torre central, que á manera de gigantesco obelisco truncado compone admirablemente la majestuosa construcción, contiene un gran depósito de agua y los acumuladores de fuerza.

*
* *

La extremada tradición arquitectónica revelada en el «Britannia tubular bridge», en los talleres de Queensferry, etc., es preciso confesar que de no mantenerla con gran sentimiento y razón, puede conducir á la Arquitectura industrial inglesa en marcada decadencia, pues que resulta altamente dificultoso el resolver las construcciones del siglo xx con las mismas formas que crearon el clima, la religión y la sociedad de las arcaicas civilizaciones. La intensísima expresión arquitectónica de que están impregnados los últimos ejemplos citados de construcciones industriales, por lo mismo que es dificilísima de alcanzar, indica cómo no es precisamente ésta la orientación del arte industrial, y puede llegar á desdecir del carácter eminentemente práctico, manifestado de un modo claro por los ingleses en la composición de un gran número de sus edificios para la ingeniería, en la invención de sus cu-

biertas *Sheds,* y en todos sus procedimientos de construcción, carácter que (hemos de convenir en ello) no deja, sin embargo, nunca de transparentar un cierto viso de arte que se descubre en todas las obras, hasta en las de oficio más comercial, como puede fácilmente observarse, discurriendo, por ejemplo, por el industrial barrio de Londres, situado tras el Blacfriars bridge, en la orilla opuesta de St. Pauls's Cathedral, donde abundan las construcciones de esta última clase.

Fig. 13. Composición arquitectónica de fachada, de la Bristol Tramways Central Power Station.

*
* *

Donde los constructores británicos expresan, en el terreno industrial, con mayor justicia su sentimiento artístico es, pues, en las obras tratadas con formas medioevales y del Renacimiento. La universalidad de expresión de tales formas permite fácilmente caracterizar con propiedad irreprochable las actuales manifestaciones de la Arquitectura de nuestro comercio; díganlo, si no, entre otras obras, las hermosas composiciones de Mr. Stanley Peach, así como los demás clichés que he tenido el honor de proyectaros.

Para corroborar esta aserción, que viene, en resumen, á definir un característico *architectural treatment* de las fábricas de Inglaterra, podemos además observar la composición correcta de la celebrada Central de Bristol (figs. 13 y 14), de la Midland Station, de Nottingham (fig. 15), etc., y finalmente contemplemos la genial estructura, el más sugestivo y gran-

dioso monumento que á su Ingeniería ha elevado la Arquitectura de la Gran Bretaña, el «Tower-bridge» (fig. 16), del que otro día he de hablaros con detalle por su historia y por su arte.

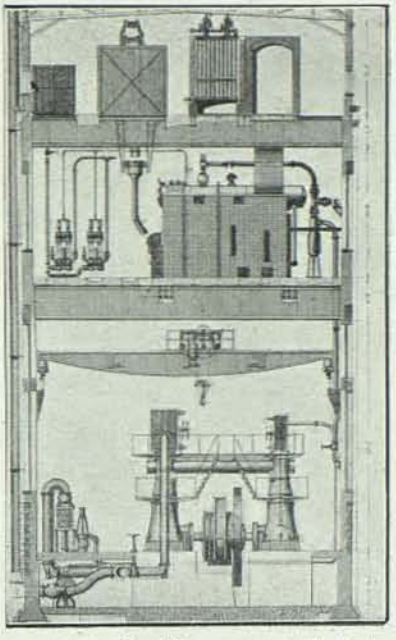

Fig. 14. Sección transversal de la Bristol Tramways Central Power Station.

Clichés proyectados

High Level & Swing bridges.— Newcastle-on-Tyne.

New Morning Post.—London.

North Metropolitan Electric Tramway, Power Station. London.

New Governement offices. — Wite-hall.–S. W.–London.

The Westminster Electric Supply Corporation. — Motor generator and Italian Garden. — London.

El anterior tomado desde otro punto de vista.

Chiswick Electric Power Station.

The Power Station of the Central Electric Supply Company, Limited. — London.

The Central Electric Supply Company Ltd. — London.— Detalle.

St. Luke's Central Station.

Bristol Tramways Central Power Station. — Fachada.

Bristol Tramways Central Power Station.-Interior

Fig. 15. Nottingham-Midland Station

Fig. 16. Vista del Tower-bridge

Grandiosa composición de piedra y metal, inaugurada en Londres en julio de 1894

Waterloo Station. — London.
Great Northern, Railway, King's Cross. — London.
Britannia tubular bridge. — Vista general.
Britannia tubular bridge. — Detalle.
Lancashire & York Railway. — York Station.
Paddington Station. — London.
Tower hill. — London.
Tower bridge. — London.
Railway Offices. — Lisson Growe. — London.
Baltimore, Eton avenue, London. — N. W.
Midland Station. — Nottingham.
Victoria Station. — Nottingham.
Greenwich. — Estación municipal de los tranvías eléctricos de Londres.
Doulton's Pottery. — Albert Eubaukment. — London. — Vista parcial.
Doulton's Pottery. — Vista general.
St. Pancras Station. — London.
St. Pancras Station. — Euston Road. — London.
Midland Railway Terminus, St. Pancras. — London.
New Vauxhall bridge. — London.
Enginnering works at Quensferry. — Chester.

Génesis
de las grandes estructuras de metal

I

Hay una porción de datos autorizadísimos en que poder apoyarnos para deducir los orígenes del empleo del metal en la construcción.

Nosotros comenzamos á conocerlo desde las invasiones asiáticas.

El embrión originario de nuestras gigantescas estructuras metálicas lo encontramos en los simples dados y elementos de fijación de las piedras empleadas en civilizaciones antiguas. Primeramente estos elementos fueron confeccionados en material leñoso (Egipto); después en bronce (Mycenas), y más adelante (en plena Grecia), aparece ya el dado ó clavija de consolidación de sillares, en hierro.

El hierro es sin duda el elemento propulsor de toda arquitectura: La perfección de la Arquitectura pétrea ha corrido parejas con el adelanto del utilaje para el labrado. No se concibe un pueblo buen constructor, sin estar bien utilado, excepto las civilizaciones caldeas y asirias, cuyo suelo arcilloso las dispensaba de herramientas perfeccionadas. El utilaje no se ha perfeccionado hasta que no ha sido fabricado en hierro.

El hierro aparece en la historia asociado á dos grandes inventos: la escritura alfabética y la moneda. Estos tres

factores quitan el marasmo á las edades del utilaje de cuarzo y de bronce, produciendo decididamente, á fines de la época prehelénica, el desarrollo y franco desenvolvimiento de los pueblos.

*
* *

No es mi afán el hacer historia; por tanto, no seguiré á pasos la construcción en hierro, que nace aquí. Notaré sólo unos hechos, en orden cronológico, para llegar al período actual de la génesis metálica, que es el más interesante:

La gran fecundidad del principio de construcción de los romanos no está en el empleo y desarrollo de la bóveda, no, pues á ésta, concrecionándola, la despojaron de elasticidad y de articulación, bases precisamente del desarrollo de las grandes formas aligeradas con que se envanece la Arquitectura posterior, la medioeval. La fecundidad de su principio constructivo está en la invención del elemento que trabaja á tensión, del *tirante*. El cuchillo de armadura romano es el primero que se encuentra con verdadero tirante en toda la historia de la construcción. Los romanos demuestran entender la filosofía de la Arquitectura precisamente en esto, comprenden que la construcción en material flexible no debe formarse con elementos amontonados, *apilados*, como en la piedra, y por esto toman el cuchillo griego, le suprimen el elemento vertical que transmite el peso de los pares al elemento horizontal, articulan las extremidades de éste á las partes inferiores de aquéllos, y engendran así el cuchillo de forma, atirantado, germen de la construcción racional tensada, fundamento de la gigantesca estructura de metal moderna.

Este principio fué el que hizo progresar primeramente la construcción leñosa en la Edad media. En cuanto á la metálica, si bien se nos citan algunos ejemplos interesantes en la Roma imperial y nos hablan algunos autores ingleses de columnas de fundición encontradas en la India, es preciso

convenir en que su desarrollo no es bien manifiesto hasta la época del Renacimiento. Efectivamente, hasta el siglo XVIII no se comienzan á conocer industrialmente la fabricación de la fundición y los demás grandes procedimientos de obtención del hierro, porque el desarrollo de los altos hornos con el afino por pudelaje, y el grande invento de Bessemer, datan aproximadamente del año 1850, siendo más recientes aun los métodos de obtención del acero Martín, Martín-Siemens, etc.

Anteriormente al siglo XVIII, y aun durante el mismo, el hierro aplicado á la construcción era ordinariamente el obtenido con el sistema llamado por los ingleses *la forja catalana*, sistema que debió, en principio, ser empleado ya tres mil años atrás en la India, y después en Grecia y en Roma.

*
* *

Durante el Renacimiento, reaparecen las formas clásicas en piedra, formas que al dovelarlas, por sus grandes dimensiones, engendran los empujes, que por ser impropios de las construcciones arquitrabadas, obligan á neutralizarlos artificiosamente por medio de atirantados internos. Estos atirantados en hierro forjado (dinteles de gran luz, tímpano del Panteón de París, etc.), constituyen un segundo período de gestación (digámoslo así), del desarrollo del metal en el seno ó macizo de las construcciones pétreas.

Sigue el hierro por mucho tiempo encerrado en el interior dé las obras, desempeñando exclusivamente el papel de elemento de consolidación de las piedras, hasta que por fin aflora á los paramentos interiores de los edificios de sillería, manifestándose ya completamente visto, pero asociado aun á la piedra (Iglesia de San Agustín, París), (fig. 17).

En la época de referencia, no tiene aun la construcción metálica vida independiente, toda vez que sigue plegándose á las formas constructivas propias de un material de distinta

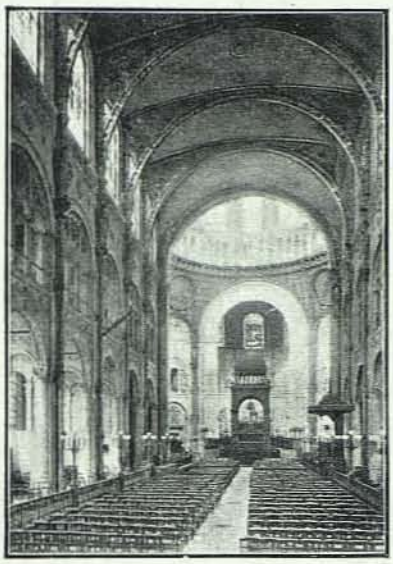

Fig. 17. Iglesia de Saint Augustin Paris

Construcción de piedra, reforzada en su interior con notabilísima estructura decorada, de hierro fundido.

naturaleza; pero con el desarrollo industrial de la fundición maciza, que coincide con dicha época, se forma el miembro constructivo aislado, en hierro colado, se prescinde en la Arquitectura utilitaria muchas veces de la piedra, y aparece definitivamente el hierro emancipado en absoluto, con las formas de fundición maciza (figura 18), características y nuevas (Coalbrookdale bridge, Iron-bridge; Wearmouth bridge; Builwash bridge, etc. — Inglaterra - y Pont des Arts (1803); d'Austerlitz, etc., París).

*
* *

Queda en este momento la Arquitectura del hierro tan francamente iniciada, que suplanta con frecuencia á la construcción pétrea, determinando una verdadera revolución en el arte de edificar. La esbeltez de las formas metálicas se capta las simpatías de la mayoría de los constructores y de la opinión en general, hasta el punto de tener monsieur Baltard, en 1845, que renunciar

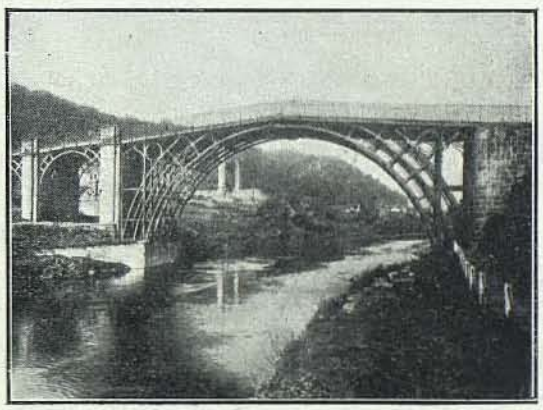

Fig. 18. Iron-bridge, construído en 1779

Primer puente de Inglaterra con miembros de fundición maciza. Esta construcción presentóse como una sorpresa reveladora de la arquitectura esencialmente metálica. Encuéntrase actualmente en perfecto estado de conservación.

Fig. 19. Les Halls Centrales, Paris

Primera gran estructura metálica francesa, debida á Baltard, en 1845, originaria del actual tipo de Mercado

á su proyecto de Halles Centrales, en piedra, que tenía formulado para la villa de París, y que el público calificó de *fort de la halle*. A la vista de este hecho, patente prueba de la sugestión causada por la ligereza de la construcción en metal, Baltard, hábilmente secundado por César Jolly, imagina una estructura (fig. 19) con soportes de fundición y cuchillos de hierros planos, creando el tipo de mercado reproducido en muchos puntos de Francia y de España.

Mientras se realizaba la construcción citada, otros ilustres promovedores de este movimiento arquitectural crean obras cuya parte principal la forma el hierro sinceramente acusado y tratado con un entendimiento maravilloso, si se tiene en cuenta la falta de experiencia y de ejemplos, entonces, de la nueva arquitectura.

Fig. 20. Interior de la sala de trabajo de la Bibliothèque Nationale, Paris

Genial obra de Labrouste (1859), resuelta á base de nueve bóvedas vaídas, con estructura metálica, apoyada sobre finas columnas de fundición.

En esta época construye Labrouste la Biblioteca de Santa Genoveva, y algo más tarde (1859) produce el mismo autor la más genial obra metálica de aquellos tiempos (fig. 20): la sala de lectura de la Bibliothèque Nationale. El teatro «Alexandrino» de San Petersburgo, obra de Clark; la Bourse d'Anvers, etcétera, forman, entre otros, ejemplos notables de estructuras de fundición, siempre maciza, pero cada vez más fina, más ligera, con miembros de menor sección, hasta el extremo de que en el Crystal Palace de Londres (fig. 21) (1855), su autor Paxon concentra todo un presentimiento de la elegante estructura en calderería de nuestros días.

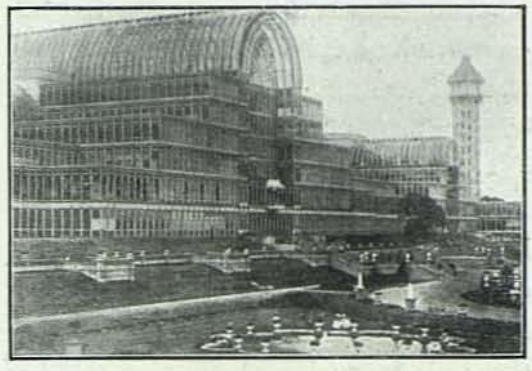

Fig. 21. Crystal Palace, Sydenham, (Londres)

Levantado en 1855. La gran nave está compuesta con cerchas de hierro ángulo en sus cabezas, hierros planos para las celosías, y tornapuntas de fundición para las piezas comprimidas. El resto de la estructura es enteramente de hierro fundido, notable por la finura de las formas, que presentan todo el aspecto de las ligeras obras actuales en calderería.

Clichés proyectados

Les Halls Centrales. — París.
Le Marché des Carmes. — Toulouse.
Bibliothèque Nationale. — París.
Iron-bridge, Coalbrookdale.
The Palm House, Kiw Gardens.
Crystal Palace (exterior).
Crystal Palace (interior).
Iglesia de) St. Augustin (interior). — París.

II

SENSIBLEMENTE en la época de referencia, que es la de la primera Exposición Universal inglesa, nótase particularmente en Francia un decisivo y rápido adelanto en la construcción metálica, debido á los geniales Navier y Poloncéau. El primero, con la creación de su tipo de puentes colgantes, interpreta maravillosamente el verdadero papel constructivo del hierro, haciéndolo trabajar exclusivamente á tensión y flexión, dejando solamente resistir á la piedra los esfuerzos de compresión; y el segundo, inventa los miembros constructivos en fundición hueca, construyendo el Pont du Carroussel, París, con arcos de un peso mínimo y á la vez de un gran momento de inercia, formando así un tipo de construcción metálica de racionalísima concepción.

Fig. 22. Blackfriars bridge, Londres

Puente de cuatro tramos, decorado con fundición y pilas de sillería y mármol. En la actualidad se está ensanchando este puente para recibir las vías del London County Council Tramwais cimentándose al aire comprimido el necesario suplemento de las pilas.

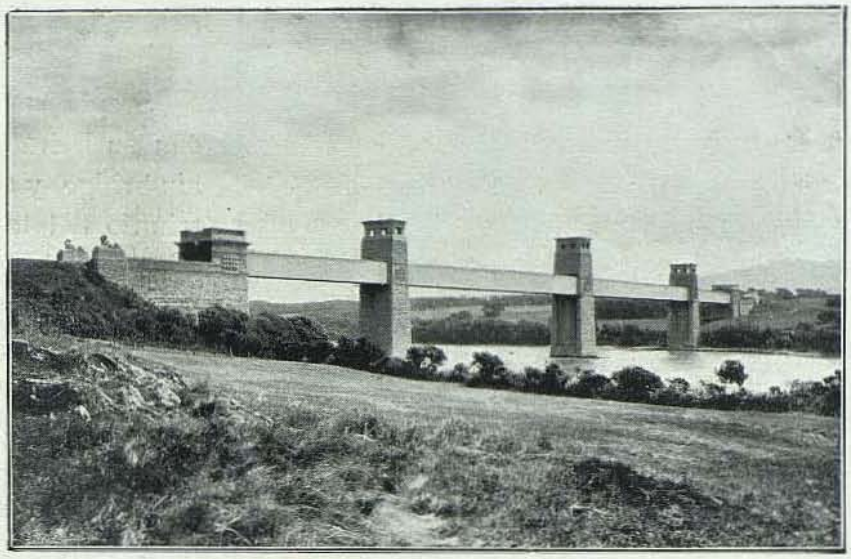

Fig. 23. Primer puente inglés en plancha ribeteada

Célebre obra de Robert Stephenson (1850), en la actualidad perteneciente á la Compañía de los ferrocarriles London & North Western Railway

La arquitectura del metal adquiere ya en dicho instante una orientación precisa: por una parte se explota al hierro su mejor cualidad de resistencia, y por otra se tiende á dar momento de inercia á las secciones de las piezas. Ambas tendencias producen el máximo rendimiento del metal, permitiendo, en consecuencia, el crecimiento de las estructuras de grandes luces (Blackfriars bridge, Londres, figura 22).

Simultáneamente, con éste movimiento progresivo, se estudia y transforma paulatinamente el laminador de Henry Cort, que, aun cuando inventado en 1790, sus progresos se detienen con la producción de palastros. La construcción en plancha ribeteada, la calderería con jácenas de alma llena, forma, pues, una lenta transición entre las estructuras de fundición y nuestra moderna *chaudronerie*. Los primeros ingenieros en emplear el hierro en esta forma (fig. 23) son Fairbairn y Robert Stephenson (Britannia tubular bridge, Inglaterra, 1850).

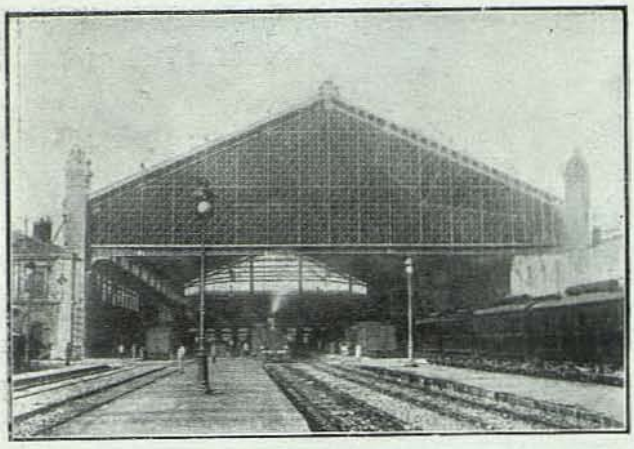

Fig. 24. Estructura rectilínea en hierro armado
Ejemplo de una obra corriente, francesa, en calderería

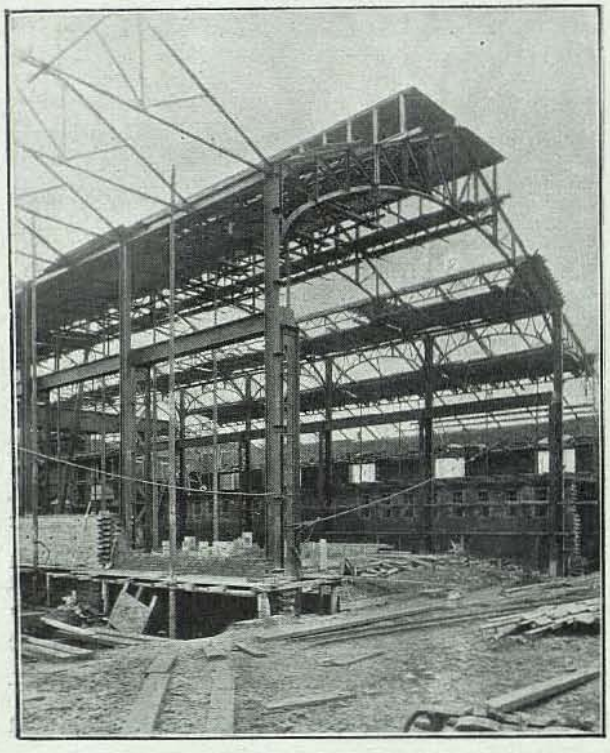

Fig. 25. Montaje de la estructura metálica de la North Metropolitan Electric Tramway Power Station, Londres

*
* *

Stephenson con su Britannia bridge, y el triunfo del laminador, al fabricar industrialmente los hierros de perfil racional, son de un modo indiscutible los factores que llevan, de un salto la construcción metálica al estado presente. Inúndase el comercio de barras laminadas con sección en doble T y sus derivadas (en ángulo, en T sencilla, en U, etcétera). Perfecciónanse los procedimientos de corte, taladro y ribeteado de hierros, y queda decididamente engendrado el nuevo

arte de la *Charpente en fer* (figura 24), paralelo de la *charpente en bois*, pero extraordinariamente más perfecto, más racional.

Fig. 26. Nouvelle Gare des Broteaux, en construcción, Lyon. — Octubre de 1906

Las estructuras en madera exigen larga mano de obra y materiales muy desecados; la producción limitada de nuestros bosques no satisface, ni con mucho, á las crecientes necesidades de nuestra construcción industrial y por consecuencia encarécese diariamente la materia.

El hierro, por el contrario, se estructura y monta con una asombrosa rapidez (fig. 25), y su precio disminuye con los diarios progresos del laboreo de minas, con el establecimiento de nuestros gigantescos altos hornos y el automatismo de los modernos trenes de laminación, etc.

Toda construcción de carácter temporal puede hoy abordarse seguramente con el hierro laminado, único material que parece responder cumplidamente á las exigencias de rapidez, resistencia y economía, poderosamente reclamadas por nuestra pasajera industria moderna (fig. 26).

Fig. 27. La Galería de Máquinas, de 115 metros de luz, y la Torre Eiffel, París

*
* *

Queda, pues, ya formado el tipo de Arquitectura metálica; su período de gestación ha sido, como el de todas las demás arquitecturas, muy lento, realmente; pero, en compensación, su desarrollo se ha verificado con rapidez extrema. En la actualidad, este desarrollo está atravesando fases de tan altísimo interés, que me deciden á desglosarlas de esta génesis para poder hablaros de ellas detenidamente en otras conferencias; estas fases hacen referencia, primeramente, á la invención de nuevas formas y á la creación audaz de las estructuras de centenares de metros, en luz ó en altura (fig. 27), iniciadas en la penúltima Exposición Universal francesa, y secundariamente á la reaparición de las formas constructivas en metal moldeado y á las estructuras combinadas, en que el metal reingresa al interior de los macizos pétreos, como en el segundo período de su estudiada gestación, aunque más racionalmente, formando unas veces esqueleto puramente de refuerzo y otras desempeñando las fuerzas elásticas de tensión.

*
* *

Dejando, pues, por el momento, simplemente anotadas estas fases últimas del hierro en construcción, voy á resumir mis observaciones para demostraros la existencia de un ciclo completo, cerrado, en la génesis arquitectónica del metal:

Aparece el metal en las civilizaciones prehelénicas en forma de pequeños elementos, dados, grapas, etc., empotrado en el interior de los sillares, para consolidarlos.

Sigue desarrollándose en el interior de los macizos pétreos, hasta configurarse en verdaderas y complejas estructuras de atirantado que refuerzan las grandes formas despiezadas del Renacimiento.

Aflora el metal á los paramentos de las construcciones de piedra, y acaba por emanciparse de las mismas, constituyendo de por sí estructuras aisladas, en fundición maciza, hueca ó en palastro ribeteado.

Desarróllase extraordinariamente la calderería con el nacimiento de los hierros de perfil racional. Sobreviene la creación de las gigantescas construcciones en hierro laminado.

Aparecen las estructuras mixtas, en que el hierro se asocia de nuevo á la piedra y al ladrillo.

Reingresa francamente el metal en el seno de las obras de fábrica, formando disimulado esqueleto de las mismas.

Y por fin se presenta el desarrollo del tipo de construcción en cemento armado, que puede considerarse como la compenetración más perfecta del hierro en el material pétreo.

*
* *

Vemos, pues, bien clara la cronología de la construcción en metal, formando el ciclo cerrado: el hierro nació en la piedra, salió al exterior y reingresó en la piedra después. La evolución, sin embargo, no está terminada: las diversas fases de este gran ciclo general han ido desarrollándose formando á su vez arquitecturas especiales y dando complejidad á las manifestaciones del hierro. Hablaremos más sobre ello.

Clichés proyectados

Saltash bridge.
Le Pont Morand. — Lyon.
Britannia tubular bridge (vista general).
Blackfriars-bridge. — Londres (actualmente en reforma).
Construcción de la Nueva Sala de lectura de la Bibliothèque Nationale. — París.
Galería de Máquinas. — París.

Estación de la C.ª de f. c. P. L. M. — Francia.
Interior de la Midland Railway Terminus. — St. Pancras. London.
Estación aérea de Passy-Metropolitano. — París.
Nouvelle Gare des Broteaux (en construcción). — Lyon.
Viaducto de la Villette-Metropolitain. — París.
Fragmento de la estación aérea de Passy. Metropolitain. — París.
(Viaducto de Passy). Metropolitain. — París.
(Travesía del Metropolitano en la) Gare d'Orleans. — París.
(Viaducto en curva y pendiente, rodeando á una fábrica). — Berlín.
North Metropolitan Electric Tramway Power Station. — Londres.
High Level & Swing bridges. — Newcastle-on-Tyne.
(Bazar de la) Rue de Rennes. — París.

El sentimiento mecánico en las construcciones metálicas

I

Voy á comenzar, señores, anunciándoos pensamientos algo atrevidos para esta Conferencia, y dígolo así, porque son exclusivamente resultado de una emoción... de la emoción intensa experimentada ante las estupefactas estructuras de acero desnudo, lanzadas por centenares de metros al aire, como una aspiración de heroicidad, como un apoteosis del metal...

Estas estructuras, solicitadas, exigidas por el torbellino de nuestro comercio y de nuestra industria, han podido, es verdad, desarrollarse materialmente gracias al laminador que fabrica como por encanto y con abrumadora abundancia las barras de perfil racional; pero su invención, el genial encuentro de su forma, es debida á una causa más elevada, á una causa (digámoslo así) puramente cordial.

El gran ingeniero moderno, emancipado de toda doctrina rutinaria, concentra su sentimiento ante los datos de un proyecto, y como por revelación, en ocasión luminosa, siente la forma que dará á la estructura.

*
* *

Le sucede al ingeniero de las grandes *charpentes,* algo así como á los constructores medioevales, como á los arquitectos de las Catedrales góticas, cuya maravillosa composición mecánico-artística tiénese casi como un milagro del Cristianismo : aquellos arquitectos, al ir identificándose con la idealidad de sus obras, y por tanto configurándolas con forma más espiritual cada vez, apercíbense del desamparo de dicha forma, y acuden instintivamente al botarel, que al empujar al contrafuerte, obliga á agrandar el momento estático de éste con el peso de los pináculos floridos. Esto por el exterior de los templos, y por el interior el hermoso estrellado de sus bóvedas de nervios independientes, juega con las fuerzas de la construcción, descomponiéndolas á su arbitrio y conduciéndolas dócilmente á los puntos de resistencia. Esta asociación perfecta del arte y de la mecánica, este poema armonioso de la piedra, es exclusivo fruto del sentimiento y ha sido inducido por una verdadera inspiración. La fórmula mecánica, comprobará perfectamente la sección transversal de un arbotante, el número de kilogramos de un pináculo, la intensidad del empuje de un nervio de la crucería; pero la forma y existencia de tales elementos constructivos

no fueron creados por ecuaciones. El cálculo verifica, pero el cálculo no crea.

*
* *

Los perfiles en doble T ó en U (que afectan las vigas metálicas, por los cuales se aleja la materia de la fibra neutra, dificultando así el giro de las diversas secciones transversales de dichas vigas, dotándolas por consiguiente, con economía de material, de la necesaria rigidez para la flexión) vienen perfectamente comprobados por las teorías de la elástica y de los momentos de inercia de la mecánica racional; y es más, con estas teorías, se encuentra elementalísimamente el trabajo por milímetro cuadrado, de las vigas, en cualquier sección, verificándose su momento para resistir á la flexión, y el grueso de su alma para resistir los esfuerzos cortantes; pero el perfil en cuestión, el perfil en doble T, es encontrado por intuición, por sentimiento mecánico : el frigidarium de las Termas de Caracalla tenía terraza sostenida sobre hierros de sección análoga á una T, y las formas metálicas de la armadura del Panteón de Agrippa estaban configuradas con pasamanos de bronce, unidos entre sí, de modo que perfilaban en su sección total una U. Estas interesantísimas citas de la construcción romana demuestran cómo el sentimiento precede al cálculo.

Es infantil la colocación de una regla, de un tablón, de canto, para que resista, más que de plano, á una carga dada; en cambio, la consideración del momento de inercia requiere una preparación matemática relativamente penosa... y así y todo, es más grandioso y sorprendente aquel instinto que esta matemática:

*
* *

En medio de la verdad absoluta y eterna que algunas fórmulas traducen, en medio de la generalidad portentosa de los conceptos de la geometría analítica y de la de posición,

y si quereis también, en medio de la grandeza filosófica que entrañan ciertas cuestiones del elevado cálculo (v. g.: la limitación de una integral triple que ciñe un proceso finito del espacio) la matemática tiene un raquitismo que descora zona... sólo retrata la *ley*, pero la ley asequible á nuestros ojos... las cosas cordiales, y aún otras del orden material, pero cuya ley profunda no vemos, vuelan por sobre del cálculo, pequeño, impotente, para traducir su complexidad. La misma ley armoniosa de un poema sinfónico no tiene ecuación conocida...

*
* *

Existen en la ciencia de la construcción tres principios fundamentales, invadidos hoy por la matemática, pero, inducidos, de tiempo ha, por el instinto; estos principios son: el de triangulización, el de articulación y el de los perfiles de igual resistencia.

El elemental, pero fecundísimo *principio de la triangulización*, por el que se resuelve la informabilidad de las estructuras realizadas en materiales prácticamente elásticos, aparece claramente aplicado en algunos entramados leñosos de la antigua civilización egipcia, para asegurar la invariabilidad de los ángulos. En Egipto se conocía, pues, ya el triángulo como figura indeformable, y en la actualidad, todas nuestras *charpentes* que el análisis alambica no están formadas más que de triángulos!

Las formas trianguladas europeas, con enlaces rígidos, las verifica *aproximadamente* la teoría de la flexión que nos da nuestra resistencia de materiales; pero el alto sentido práctico de los americanos, *siente* el *principio de articulación*, evita con rótulas la rigidez de aquellos enlaces, y engendra las estructuras articuladas, cuya exacta verificación nos ofrecen los *diagramas* de Maxwell y las *secciones* y *momentos* de Ritter, métodos casi intuitivos, de admirable sencillez y sorprendente evidencia.

Y finalmente, el tercer principio, el de los *perfiles de igual resistencia* de los diversos elementos de una construcción, aun cuando es el más matemático, por equivaler á un cálculo, á un racional reparto de la materia en las diversas secciones de las piezas de trabajo, aun este mismo principio es generalmente intuitivo y se ha aplicado en innumerables casos con asombroso tino, antes de que el análisis lo tradujese en fórmulas. ¿Qué es la atinadísima forma del equino del capitel dórico sino una reproducción, casi matemática, del racional perfil que nuestra resistencia de materiales ha encontrado para los sólidos flexados, con empotramiento en un extremo?

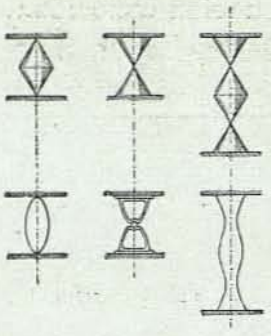

Fig. 28. Representación de los casos de apoyo, articulación central, y empotramiento en los sólidos comprimidos por sus extremos.

Deducción del perfil de igual resistencia, por mero sentimiento mecánico. Las tres disposiciones tienen la misma resistencia.

*
* *

Por otra parte, ¿las teorías de la mecánica aplicada, nos han llegado hoy á dar el perfil de igual resistencia de una columna?... y no obstante ¿qué es el *galbe* de las columnas griegas, sino la expresión de un sorprendente sentimiento mecánico por muchos siglos anterior á nuestros actuales ensayos sobre la teoría de los sólidos comprimidos por sus extremos?... Estos ensayos y las penosas experiencias de Rankine y de Hodgkinson, junto con sus fórmulas empíricas, han hecho solamente vislumbrar la repartición del trabajo en las diversas secciones de un sólido con aquella disposición, pero la ley que dibuja los perfiles precisos es aún incierta y tenebrosa.

Voy, pues, ahora á haceros ver como directamente, sin invocación de fórmula alguna, pueden comprenderse, ó mejor dicho, pueden *sentirse* aquellos perfiles, por una sencilla consideración.

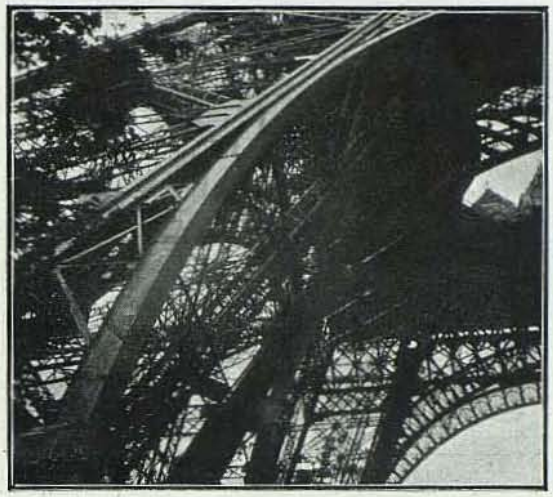

Fig. 29. *Charpente* metálica del pie de la Torre Eiffel
Vista tomada en perspectiva accidental

Tomemos dos conos rectos y dispongámoslos de dos maneras, primero, apoyados por sus bases y comprimidos por sus vértices y segundo, tornapuntados por sus vértices y comprimidos por sus bases (fig. 28). Obtenemos así dos sistemas que gozan evidentemente de la misma resistencia, los cuales, á su vez entre sí combinados, dan lugar á un tercer sistema de igual resistencia, también, que los dos anteriores. En definitiva, en los tres sistemas obtenidos, nuestro espíritu indudablemente ve la relación de perfiles y de resistencias de los sólidos comprimidos por los extremos en los diversos casos que originan la existencia de simples apoyos ó de empotramientos (Obsérvese la correlación de las figuras á que nos referimos).

Ahora bien, ¿hay en alguna *Charpente* (fig. 29), sea la que fuere, aplicado algún principio distinto de los que acabo de señalar? El principio de triangulación que evita la deformabilidad, el de articulación que evita la

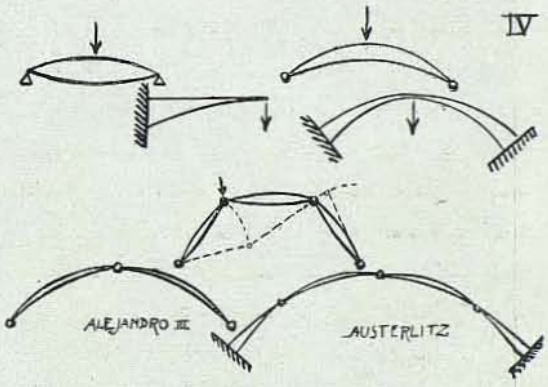

Fig. 30. Principios de apoyo, articulación y empotramiento, aplicados á la composición de los modernos arcos metálicos tendidos sobre el Sena, en París

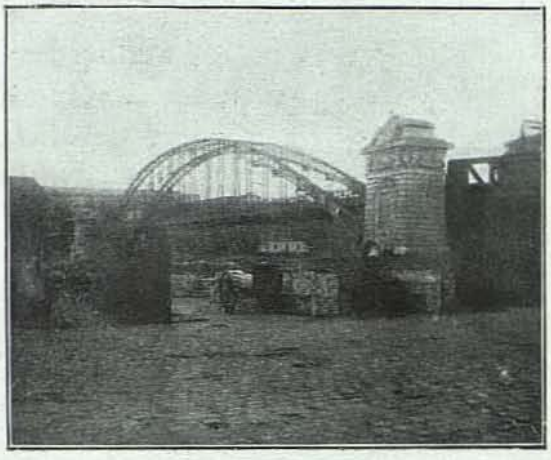

Fig. 31. Aplicación simultánea de los principios de empotramiento y articulación al Viaducto d'Austerlitz. — Metropolitano de París.

rigidez de los enlaces ó anula la flexión en puntos especiales, permitiendo discontinuidad en la fibra deformada, y el de los perfiles de igual resistencia de sólidos, con apoyo ó empotramiento, que logra la uniformidad del coeficiente de trabajo por milímetro cuadrado en la materia, ¿no son los únicos principios que integran los problemas de resistencia de las estructuras? ¿No pertenecen estos prin-

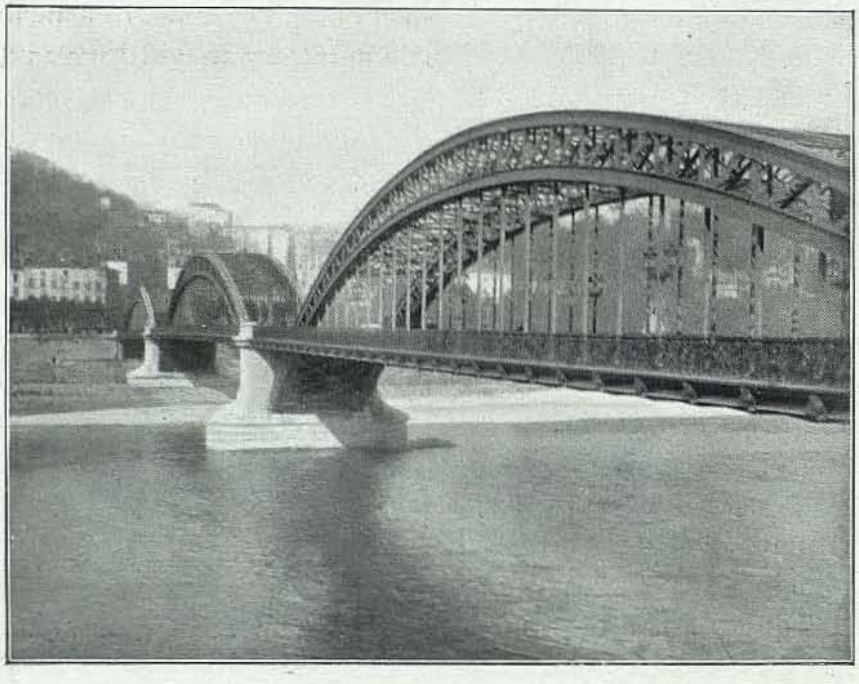

Fig. 32. El más reciente puente de Lyon: Pont de la Boucle

cipios á un orden de puro sentido mecánico, como he intentado demostrar? No busquemos, pues, tratados para encontrar la forma de una osatura metálica, es éste un fenómeno de orden cordial; existen, sí, sólo reglas para verificar aquellas formas. No existen tratados de composición de Poemas ó de Epopeyas, existen sólo gramáticas.

*
* *

El principio de perfiles de igual resistencia, combinado con el que nos da el máximo número de rótulas de una forma (tres), (fig. 30), es el que constituye el espíritu de concepción de todos los modernos puentes metálicos en arco sobre el Sena, en París (de Alejandro III, viaducto d'Austerlitz, etcétera) (fig. 31) y del reciente Pont de la Boucle, en Lyon (figu-

Fig. 33. Estructura metálica de la Blackpool Tower, Inglaterra

Realizada bajo el mismo sentimiento de estabilidad que preside á la Torre Eiffel

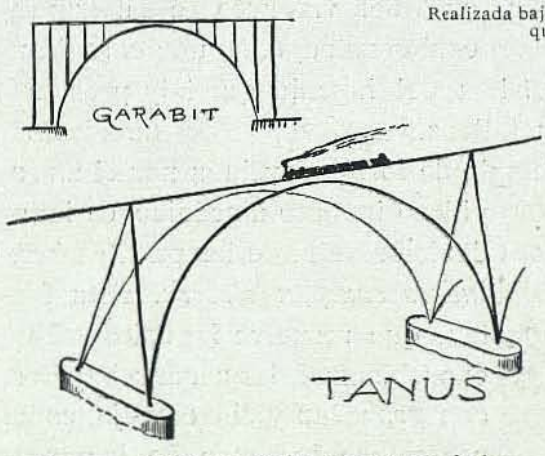

Fig. 34. Diagramas de las estructuras de los Viaductos del Tanus y del Garabit

Ejemplos respectivamente de estéreo-estructura y de plano-estructura

ra 32), sobre el Rhône, y otros.

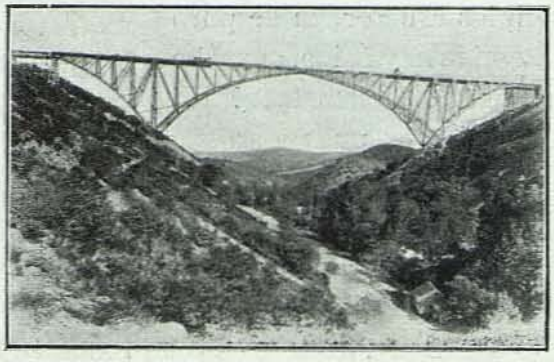

Fig. 35. Vista general del Viaducto del Tanus sobre el Viaur

La forma general concebida por Eiffel para su torre, adoptada luego después en la tour de Fourviere, Lyon, y en la Blackpool Tower, Blackpool, no es nada más que un intenso sentimiento de estática plasmado en hierro (fig 33).

Observemos ahora los dos esqueletos, las dos formas en su máxima desnudez, de los viaductos del Garabit y del Tanus. El primero (fig. 34) es racional, pero es una estructura plana, de poca estabilidad, al paso que el segundo, por su triangulada composición, inspirada en un diedro de arista horizontal, expresa manifiestamente el equilibrio más seguro y la garantía más firme contra la acción de una fuerza lateral: la acción del viento (fig. 35). Es un bello ejemplo de lo que podríamos llamar una estéreo-estructura.

La simplicidad estructural del viaducto de Yunnan (figura 36), que actualmente está construyendo una casa francesa, es revelación clarísima del ingenio que hoy preside á la libertad de formas metálicas.

Otro interesante ejemplo de forma revelada por el maravilloso instinto mecánico es indudablemente la de los puentes *à culasses compensatrices*. Esta forma, que resuelve ingeniosamente el problema de los arcos rebajados, con gran luz y sin empuje, es un portentoso hallazgo de la mecánica, un verdadero derroche de sentimiento materializado por Re-

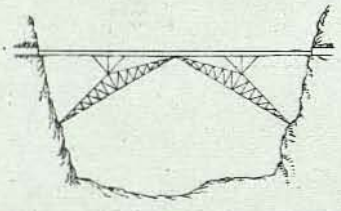

Fig. 36. Diagrama del Viaducto de Yunnan, en construcción

Ejemplo de simplicidad de formas en las estructuras modernas

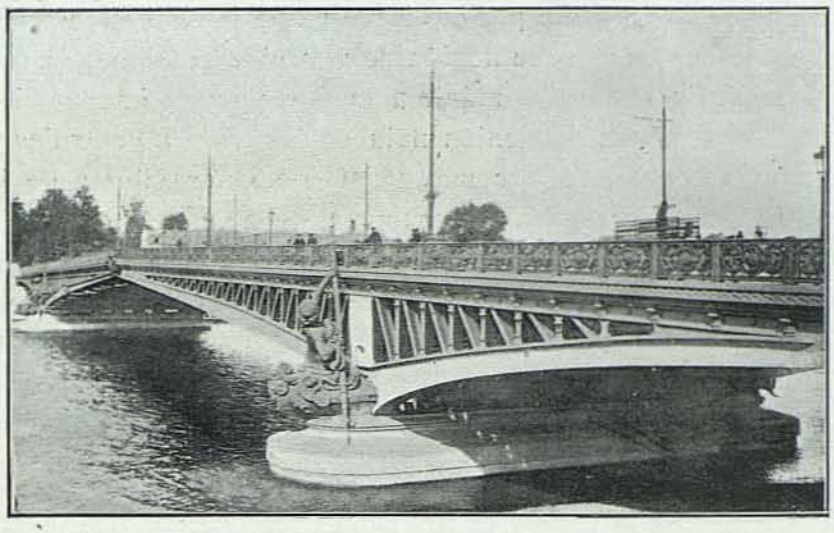

Fig. 37. Acuerdo entre el arte y el sentimiento mecánico, demostrado por la hermosa estructura, en hierro laminado, del Pont Mirabeau, de París

sal en su famoso Pont Mirabeau (fig. 37), sobre el Sena, en París.

La elegancia de este puente, exclusivamente debida á su estructura mecánica, es tal, que se le ha llegado á considerar como una de las expresiones más sentidas y de más belleza de cuantos puentes en hierro laminado existen actualmente, demostrándose así otro aspecto de la cuestión que estamos tratando, y es el perfecto acuerdo entre el arte y el sentimiento mecánico.

El célebre tipo de Pont-grue, único que hoy permite estructuras con luces que causan estupor, ¡más de medio kilómetro! cuya forma

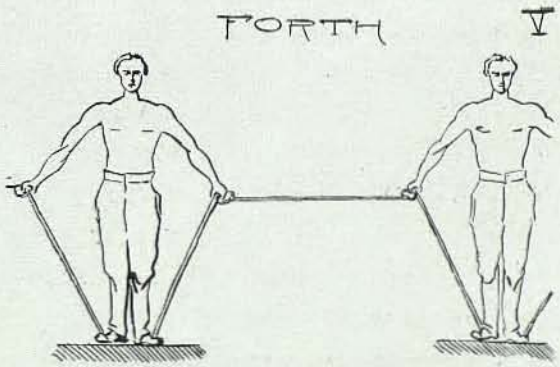

Fig. 38. Expresión del sentimiento mecánico que entrañan los gigantescos Cantilevers estructurales del Puente del Forth.

se ha creído inducida por el diagrama de la mínima superficie de los momentos de flexión de una viga continua, que al presentar la ordenada máxima en los apoyos intermedios con dos secciones de flexión nula en los tramos centrales y una en los extremos, recuerda así como una silueta de la estructura; este tipo de Pont-grue, debe su extraordinaria racionalidad á la lógica de su forma, afectada por la misma figura humana (fig. 38), bajo una intensísima expresión de resistencia. Los puentes sobre el Fraser, el del Niágara (Estados Unidos) y el del Forth (con 520 metros de luz), son de este tipo.

Clichés proyectados

Pont de la Boucle, sobre el Rhône. — Lyon.
Puente de Austerlitz. — Metropolitano de París.
Le Pont Transbordeur. — Rouen.
Proyecto de la bóveda metálica del Grand Palais. — París.
Interior del Grand Palais des Beaux-Arts. — París.
Fragmento de la Torre Eiffel.
Blackpool Tower. — Blackpool.
Torre de la Fourviere. — Lyon.
Le Viaduc de Tanus, sur le Viaur.
Pont Mirabeau. — París.

Dibujos expuestos

Diagrama de triangulización de formas.
Trazados para la determinación del género de trabajo de las barras de un sistema (compresiones ó tensiones).
Diagrama explicativo de la inspiración, por la figura humana, de la forma estructural del puente del Forth.
Esquemas de los Viaductos del Garabit y del Tanus.
Principios de composición de los modernos puentes en arco, metálicos, de París.

Formación, por medio de conos rectos, de los perfiles de igual resistencia de los sólidos comprimidos por sus extremos. Esquema del Viaducto de Yunnan.

Documentos presentados

Memoria y Cálculos de la Osatura metálica del Dôme et Nef Transversale. — Grand Palais des Beaux Arts. — París. Proyectos de MM. Schneider et Hersent-Pont sur la Manche.

II

RECIENTEMENTE, un puente asombroso ha empezado á montarse en Quebec, es de la misma forma que el del Forth (figs. 39 y 40), pero con mayor luz, con 550 metros de eje á eje de pila. Los ingenieros de este puente, el mayor del mundo, han criticado acerbamente al del Forth, cuya terminación exigió el que se votase un nuevo crédito, dando lugar á suponer que se había proyectado con un exceso de metal, con un derroche de hierro. Los ingenieros del de Quebec, al querer asegurar el augurio que hicieron, de un superavit en el Presupuesto correspondiente, sujetaron al cálculo más riguroso todas las partes de su obra, regateando el hierro al sentimiento práctico, y poniendo estrictamente el que el análisis acusaba. Así encontraron, para las grandes piezas tubulares comprimidas de su puente, secciones en rectángulo de 1'75 × 1'38 metros, en vez de la sección circular de 3'65 metros de diámetro, que con momento de inercia constante en todas direcciones, tienen las piezas homólogas de las del puente Forth. Tal disminución de sección, que no viene compensada por el grueso de los palastros en ella empleados, tan ideal afinamiento proporcionado por el cálculo á las formas del puente de Quebec, originó que, al llegar éste á la mitad

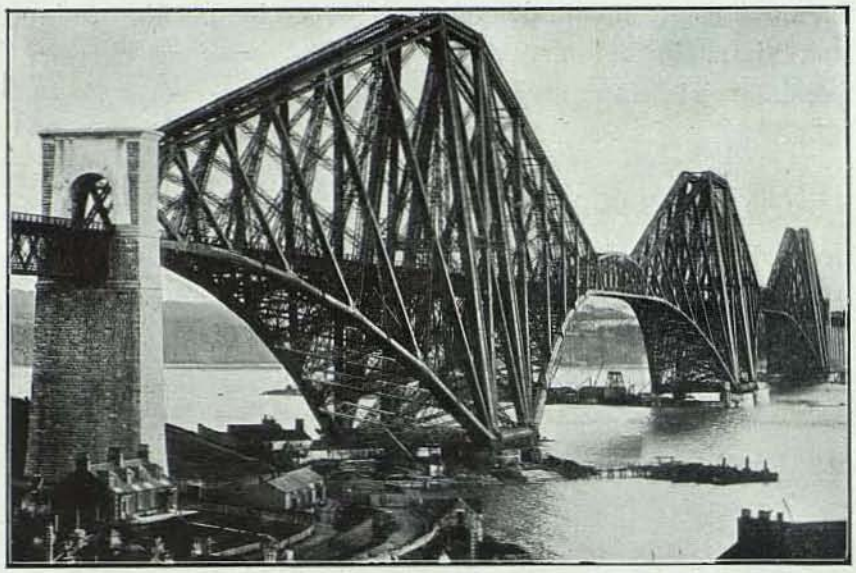

Fig. 39. Vista perspectiva del Fort-bridge (Escocia) con el tramo central de 519 metros de luz

De este mismo tipo construyen actualmente en Quebec (Canadá) el mayor puente conocido de 550 metros de luz libre

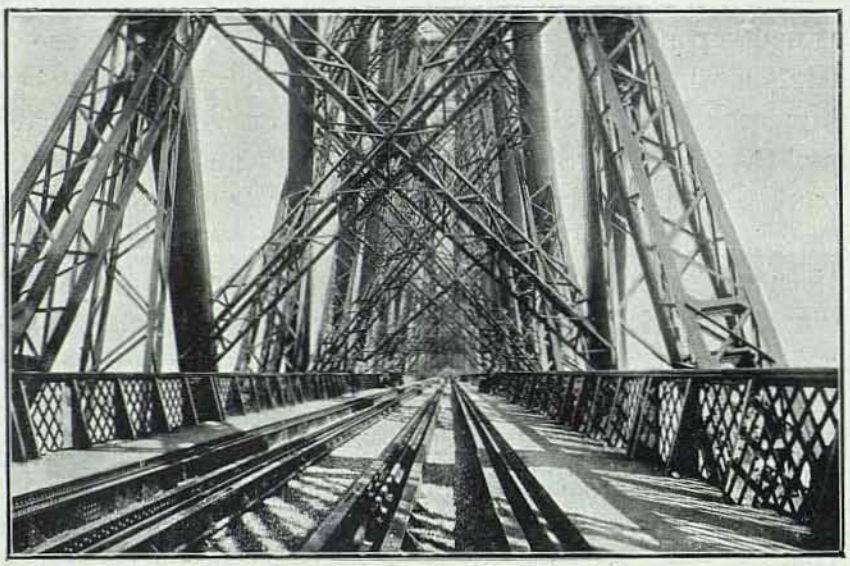

Fig 40. Super-estructura, en perspectiva, del Forth-bridge

de su montaje, hace unos días viniese súbitamente al suelo, por efecto del *flambage* de los tornapuntas, desapareciendo entre millares de toneladas de hierro, varias docenas de hombres, invisibles pigmeos, esparcidos pocos segundos antes de la hecatombe por el hercúleo *cantilever* temerariamente colgado sobre el vacío...

*
* *

La anterior catástrofe, que está originando un interesantísimo pleito en los anales de la Ingeniería, es resultado de un extremado matematicismo, de una ciega fe en las teorías de la resistencia de materiales... En la concepción de las estructuras, sobre todo de las grandes y complejas estructuras de metal, hemos de invocar, pues, siempre la indefinible, pero real, ley del sentimiento mecánico... Este sentimiento universal, nos muestra poseerlo el más dogmático calculista con la extrañeza por este mismo manifestada ante el resultado de ciertas fórmulas: una excesiva sección de viga ó, por el contrario, una sección demasiado débil, es mirada con desconfianza aún cuando el cálculo la arroje, y por el contrario, la más completa satisfacción es experimentada por el ingeniero cuando la matemática le proporciona secciones de una construcción, previstas y sentidas como bien apropiadas. Solamente cuando este elevado y misterioso sentimiento, mal calificado algunas veces, es repudiado para aceptar incondicionalmente todas las conclusiones de un cálculo basado en teorías de deformación, es cuando puede sobrevenir un accidente de la naturaleza del que he mentado, dejando aparte, naturalmente, imperfecciones y accidentes no previstos.

*
* *

El sentido mecánico es como una ley generalizadora, que condensa y unifica una porción de fenómenos de un mismo

orden, pero muy distintos entre sí: toda vez que ya os he hablado de piezas comprimidas, de arcos y de *ponts-grues*, podemos recordar, simultáneamente ahora, estas tres formas de construcción (fig. 41), que al suponerlas de igual resistencia, parecen transparentar el sentimiento de un mismo problema mecánico; en efecto, las tres estructuras, tienen cada una dos puntos de mínima sección, en donde podemos alojar

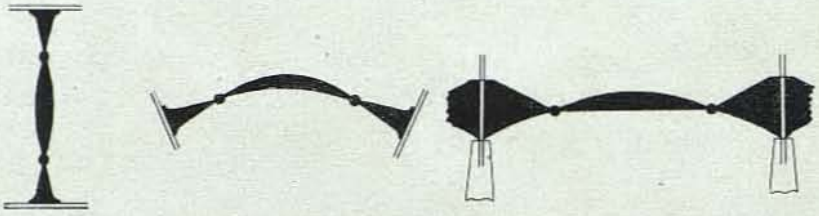

Fig. 41. Unidad de sentimiento mecánico expresada por los diagramas de tres distintas formas de la construcción

rótulas de libre giro, y pueden, también en las tres, considerarse dos secciones de encastramiento; en la primera forma las compresiones del encastramiento originan una flexión lateral; esta flexión es producida por una fuerza externa en las otras dos formas, y por dicha fuerza se origina en ellas la reacción en las secciones encastradas; no existe, pues, ninguna diferencia de fondo en los tres casos. Esta nueva y original analogía, entre tres construcciones de tan distinta forma, observamos como nuestro espíritu la percibe instantáneamente, sin preparación ni análisis matemático de ninguna clase. Evidentemente la perfección en este modo especial de ver los problemas es susceptible de aumentar y desarrollarse con graduales ejercicios y esfuerzos de voluntad; en esto debe estribar la educación del sentimiento mecánico.

*
* *

Hoy, después de un siglo que se construyen puentes metálicos, no poseemos aún cumplidamente las fórmulas de su

funcionamiento, y el sentido y la experiencia nos han de ir aleccionando diariamente con nuevas revelaciones, manifestaciones nuevas de la impotencia del cálculo... hasta el sentido práctico orienta al mismísimo cálculo algunas veces. Ciertos procedimientos de verificación de los puentes colgantes resultan ser los mismos que los de puentes en arco, toda vez que de los primeros se pasa al tipo de los segundos por la sencilla consideración *práctica* de una inversión de posición de la catenaria, con lo que *se vé* que ambos tipos de puente trabajan igual y con los mismos esfuerzos cambiados de dirección. No es en rigor otra la teoría que se sigue para determinar los perfiles de ciertas bóvedas.

Es más, la verificación analítica de una estructura, tampoco resulta siempre con aproximación aceptable: Mr. Dupuy calculó el trabajo del metal en el puente de Erdre, Nantes; y después de realizada la construcción, con medios especiales se midió directamente este trabajo sobre las principales piezas del puente, encontrándose un desacuerdo absoluto entre los coeficientes de trabajo calculados y los deducidos por la experiencia; y aunque las diferencias pudiesen ser originadas por la mala función de las rótulas del puente, no deja de interesar grandemente el caso á estas consideraciones.

Modernamente, algunos ingenieros han tenido que apelar á la fotografía para deducir la repartición de esfuerzos en un palastro de los que consolidan, por ribeteado, la concurrencia de varias piezas en una estructura: parece que las reflexiones é irisaciones de la luz contra el palastro, previamente pulimentado, impresionando el cliché, han acusado leyes de repartición de esfuerzos completamente imprevistos por el cálculo.

Otro ejemplo más concreto: ¿cómo calcular racionalmente un techo sujeto á vibración?

Y en fin, en todos aquellos casos en que la mecánica general no nos dé la reacciones de una estructura en sus apo-

yos, y tengamos para determinarlas que acudir á la teoría de la deformación de los cuerpos, nos encontraremos indudablemente con desacuerdos y con deficiencias.

*
* *

Y á pesar de todo esto, la construcción metálica adelanta, las luces de los puentes aumentan prodigiosamente, como salta á la vista por el diagrama que presento (fig. 42), y las estructuras se desarrollan con una complejidad asombrosa..... Quince años atrás, los laminadores del Creusot iban á librar el herraje para el puente sobre la Mancha... el progreso de la construcción de túneles detuvo esta obra audaz haciendo concebir un paso submarino en sustitución del puente; de no haberse taladrado felizmente el San Gotardo y el Simplón, hoy una cinta de acero sobre el mar, uniría por el aire la Inglaterra y la Francia.

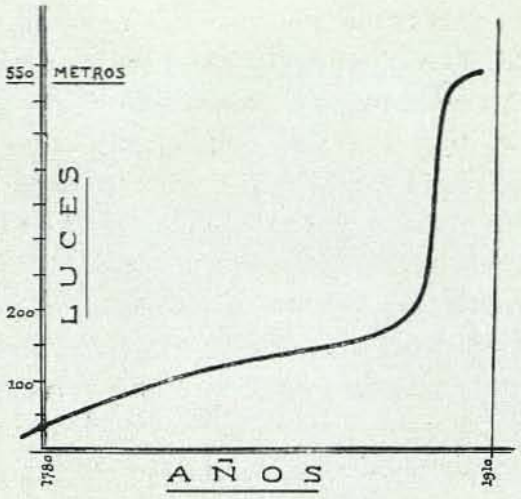

Fig. 42. Diagrama aproximado de los incrementos anuales de luces libres experimentados por la construción de puentes metálicos no colgantes.

Reconozcamos, pues, al sentimiento mecánico como propulsor potente de la arquitectura del metal.

*
* *

A través de este maravilloso prisma del sentimiento, contemplad y analizad las formas elementales de construcción y

observaréis cómo vuestro espíritu va interesándose y esforzándose vuestro corazón, para ver de un modo directo, cada vez más claro, la manera como trabajan aquellas formas; id, después, con vuestra imaginación, combinando y aplicando dichas formas á nuevos objetivos, é iréis deduciendo fecundamente un sinnúmero de estructuras cuya mecánica *sentiréis* con toda su verdad, como sentís la poesía de las estrofas de un poema ó como experimentais la impresión de otras fruiciones estéticas.

La mecánica de la construcción, tiene, como otras ramas del saber humano, su poesía propia, y es también fuente de inspiración, que en felices instantes induce á descubrimientos, haciendo vislumbrar formas, con los ojos del alma, que son consideradas después como flor de la Ciencia, cuando ésta con su rigidez no ha hecho más que corroborarlas!... La mecánica de la construcción tiene además sus verdades intuitivas, y tan sólo aceptándolas abiertamente, sin esforzarnos en traducirlas con raciocinios intermedios, es como interesaremos en el estudio nuestro amor y nuestro entusiasmo. Aun el mismo cálculo, es suceptible de ser así tratado; ¿á qué demostrar continuamente verdades que nuestro sentimiento *vé?*... ¿por qué no aceptarlas desde luego, si al fin y al cabo aceptamos también los postulados?

*
* *

No consideréis, señores, todas estas manifestaciones como la afirmación de una doctrina anti-intelectualista, no; ya he sentado, al comenzar, la admirable profundidad y grandeza que entrañan ciertos conceptos de la matemática, y pecaríamos de muy superficiales en conocimientos de Ingeniería y de Arquitectura si restásemos al cálculo su justa importancia. Es más, para ser completamente sincero, confesaré mi admiración hacia ciertas consecuencias de la propia teoría de la resistencia de los materiales, como por ejemplo, las que de-