

terminan las cargas desfavorables de una estructura y principalmente las que dan las deformaciones de un sistema flexible, cuyo estudio, lleno de belleza y armoniosas relaciones, nos hace conocer el sabio W. Ritter en su *Der elastischen Bogen*, al considerar en los arcos elásticos de alma llena y de celosía la teoría de las elipses centrales, así como la aplicación de la del polo y polar de las curvas de 2.º grado á la determinación del desplazamiento de las diversas secciones que resultan girar alrededor de polos de las elipses cuyas polares son las fuerzas externas y cuyos ejes son función sencilla del radio de giración y del coeficiente de elasticidad, etcétera. Pero así y todo, y aún usando de estos verdaderos poemas de la matemática de aplicación y prescindiendo, si queréis, de las limitaciones del cálculo que hemos ido observando, es preciso, con franqueza, reconocer una causa primordial, elevada, infinitamente superior á toda teoría en la resolución de la invención, en el encuentro genial de formas para las estructuras metálicas.....; es preciso reconocer la ley misteriosa del sentimiento mecánico.

Clichés proyectados

Puente del Forth, vista general.

Interior del Forth-bridge.

Diagrama del aumento anual de luces en la construcción de los puentes metálicos rígidos.

Dibujos expuestos

Esquemas de columnas, puentes en arco, y *ponts-grues*, para deducir la analogía de trabajo en todas estas construcciones.

Últimas fases del metal en la construcción

I

EN medio del decidido progreso de las construcciones metálicas, dentro del ciclo continuo y cerrado de la arquitectura del hierro, que pudimos observar en una de las anteriores Conferencias, nótanse orientaciones y fases especiales que caracterizan diversos sistemas de construcción en metal, y que va á ser de gran interés su análisis.

Estas fases son debidas indudablemente á dos factores importantes, manifiestamente reconocidos: primero, la protección que hay que dar al metal contra los peligros que voy á exponer, y segundo, la multiplicidad de maneras con que aquel material se presta á ser empleado en la construcción.

Las obras en calderería reclaman ahora una cuidadosa atención, precisamente porque están en la época de su más álgido desarrollo, dando, el gran número de estructuras realizadas, ocasión de conocer claramente la potencia de los enemigos que las amenazan y el alcance de su acción. Estos enemigos pueden clasificarse en tres grupos: las altas temperaturas, el ribeteado y la oxidación.



La dilatación, que por efecto de los aumentos de temperatura usuales sufre el metal, aunque perjudica grandemente las estructuras y las obras contra que éstas reaccionan, puede, sin embargo, preverse con precisión, y apelando á disposiciones especiales de libre dilatación, conocidas de todos, se evitan los perjuicios consiguientes; pero cuando accidentalmente la acción del fuego llega á interesar el metal, la poca masa de éste y la extremada delgadez de los palastros en construcciones de hierro armado, hace que su coeficiente de resistencia se anule casi por completo, con rapidez extraordinaria. Este peligro viene en parte neutralizado por la incombustibilidad del metal.

El antagonismo entre la conductibilidad calórica y la incombustibilidad del hierro, es lo que ha suscitado las altas polémicas conocidas sobre las ventajas ó inconvenientes del metal en caso de incendios. El resumen de tales polémicas, asesorado por los resultados de la práctica, pone, en honor de la verdad, al hierro en un triste lugar, pues aún recubriendo y protegiendo al metal con materiales pétreos, siéntense los efectos de su alta sensibilidad al calor, como lo han demostrado con evidencia, entre otros accidentes, los incendios relativamente recientes de Pittsburg, Paterson, New-York y Baltimore. Las *Slow-Burning-Constructions* (construcciones á combustión lenta) expresan bien claramente la filosófica resignación de los Ingenieros y Arquitectos ante la debilidad del metal para los incendios, renunciando francamente á lograr su inmunidad, y solamente procurando alejar en parte el peligro, con la aplicación del principio del aislamiento de los pisos y del cierre de los pasos á las corrientes de aire y á las llamas. Este principio, auxiliado con el empleo de puertas dobles de aislamiento, muros de fuego y losetas de vidrio refractarias (de la casa «Luxfer Prims-Lúmic Engineering» de Finsburg), lo he visto aplicado en Londres,

entre otros edificios, en el hoy en construcción del «Morning-Post» Strand.

*
**

El ribeteado es otro punto negro de las construcciones en calderería. Fácilmente se nos alcanza el gran debilitamiento que experimenta una viga armada por la acción del ribeteado: puede llegar al 20 y al 30 por 100 la pérdida de momento de inercia, por este concepto solamente. Además, la alteración de la contextura del metal, en ciertos remaches mecánicos, hace ilusoria á veces la solidez con que, aún á costa de aquella pérdida de momento, creemos dotar á un ensamblaje determinado. El día que pueda evitarse este actual medio de consolidación en la calderería y que la soldadura autógena, ú otro procedimiento, pueda sustituir práctica é industrialmente al ribeteado, podremos dotar de una esbeltez y resistencia inusitadas á las *charpentes* de metal.

*
**

Pero el más temible de los enemigos del hierro, la mayor de las preocupaciones que hoy causan las construcciones metálicas, es la oxidación. Si atendemos á que el hierro comercial, en la misma operación del laminaje, por efecto de su alta temperatura, se oxida inmediatamente, y que á temperatura ordinaria está constantemente atacado á causa de la humedad atmosférica, comprenderemos cómo de una manera continua se va royendo el metal. Esta acción, como por ironía, se favorece extraordinariamente con la gran extensión superficial que presentan al aire algunas *charpentes*; no es raro encontrar estructuras de más de treinta mil metros cuadrados de superficie de exposición. Con áreas de esta magnitud y dada la delgadez del hierro laminado (1) la ac-

(1) El Reglamento español de puentes, fija, á los efectos de la oxidación, en un mínimo de 7 milímetros el grueso de los hierros.

ción corrosiva del óxido es tan intensa y rápida, que bastaría á hacer completamente imposible la construcción metálica en contacto del aire (y no hablo de la inmersa en el agua) si no se apelase á enérgicos procedimientos de protección y conservación. Esta es la flaqueza mayor de la arquitectura del hierro: hase dicho que el orín es la lepra del hierro; por tanto, merece que nos paremos un poco.

El hierro al salir de los cilindros laminadores está ya recubierto de una costra azulada, de una especie de epidermis de óxido, bastante aplanada, de contextura esquistosa, que disimula la asperosidad nativa del metal. Ciertos constructores aconsejan, antes de montar las *charpentes*, verificar en todas sus piezas un *decapage*, una desincrustación, para eliminar de todo óxido de batidura y magnético al metal, en la creencia de que este óxido primitivo favorece la formación de otros, bajo las pinturas con que se protege luego á la construcción, y de esta manera inadvertidamente progresa la oxidación del hierro. Pero hay que advertir, que con el hierro no sucede lo que pasa con la madera, en la que, por ejemplo, un pie derecho se va corroyendo bajo las pinturas ó cubiertas protectoras periódicamente renovadas, y en un momento impensado cede de repente, por no haber conservado su resistencia primitiva más que de un modo aparente. En el hierro, por el contrario, su pérdida de resistencia por la oxidación es manifestada al exterior por la esponjosa contextura del hidróxido férrico ú orín, que llega á alcanzar considerable volumen en las condiciones finales de hidratación; por consiguiente, un hierro que conserve su forma y sus condiciones aparentes, por necesidad está intacto. En estas últimas condiciones se encuentran gran número de estructuras metálicas, cuyas piezas no se han desincrustado al salir del laminador, lo que prueba que la capa de óxido del laminaje no favorece la formación de orín bajo la pintura, como se creía.

Contrariamente á este creencia, con detenimiento se ha experimentado que aquella capa de óxido es un elemento

protectriz y que ofrece, en los casos de simple exposición al aire, una verdadera barrera á toda oxidación futura. Por tanto, el metal laminado viene, á consecuencia de su óxido de batidura, como provisto de una especie de epidermis, que, unida á una buena pintura, forma en conjunto una suficiente protección para defenderle con eficacia en las condiciones ordinarias. Por estas razones, Mr. Denil, ingeniero belga que ha estudiado profundamente el asunto, aconseja que no se despoje al metal de su capa de óxido procedente de la laminación. Además, esta capa, aun admitiendo que en su cara interna permita la formación de hidróxido férrico, verfase arrancada mecánicamente por el crecimiento de aquél; la costra del laminaje sería, pues, un obstáculo físico á vencer, y vemos aquí otra privación del desarrollo del orín por la presencia de dicha costra.

Evidentemente, estas observaciones no tratan de aconsejar el pintar las estructuras metálicas sobre el herrumbre, porque este forma una capa porosa, esponjosa, con pequeñas atmósferas de gases corrosivos, oxidantes, y una pintura aplicada sobre dicha capa, lejos de proteger al metal, aprisionaría contra él al agua, al oxígeno, al ácido carbónico y á todos los elementos de ataque y oxidación, con cuyas condiciones aumentaría el herrumbre y se desorganizaría la pintura.

Por consiguiente, es preciso conservar el óxido naciente, el laminado, por constituir una verdadera capa protectriz, pero es preciso vigilar también atentamente al metal, y limpiarle de sus óxidos porosos ó herrumbre. Hay una enorme diferencia en hacer esta operación con prudente alcance ó en llevarla al extremo de rascar completamente el hierro, desincrustándole en absoluto sus óxidos de laminaje y dejando el metal vivo al desnudo, con lo que se hace extraordinariamente vulnerable.

Por otra parte, esta vulneración del metal vivo no tendría importancia si dispusiésemos de pinturas prácticas, absolutamente impermeables y adherentes, en cuyo caso impondrífase

un desincrustado previo enteramente perfecto; pero ahora, dicha operación sabemos que no se impone más que en casos especiales, como el de planchas, alambres, etc., que se recubren con esmalte, mas no es aconsejable en las gruesas estructuras de nuestra calderería.

*
* *

Los procedimientos de limpia ó *decapage*, que deben preceder á los repintados, pueden clasificarse en tres grupos principales: químicos, térmicos y mecánicos.

Una limpia ó *decapage* químico comprende en general varias operaciones, que pueden resumirse en éstas: Primero: un desgrasado de la estructura, operación destinada á saponificar y disolver los aceites y grasas que recubren el metal, que dificultarían la acción regular del ácido sobre las superficies que se trata de atacar. Segundo: la reacción en la solución ácida, con lo que se disuelve una tenue capa de metal bajo los óxidos del laminaje, desagregando á éstos y dejando el hierro vivo al descubierto. Tercero: la neutralización de los ácidos por medio de un baño alcalino. Cuarto: el secado de las piezas y la escrupulosa limpia de sus superficies.

El procedimiento térmico, ó limpia al fuego, puede dar buenos resultados para levantar las antiguas capas de pintura, que al degenerar en superficies porosas evitan la perfecta adherencia de pinturas nuevas. Puede operarse esta limpia periódicamente, por medio de focos portátiles ó de potentes lámparas de bencina. El herrumbre altamente hidratado, á causa de su ligereza y de los numerosos poros ó huecos que contiene, resulta mal conductor del calórico, con lo que se logra calentarlo localmente y desagregarlo con facilidad.

Finalmente, el *decapage* mecánico puede hacerse á mano ó por otros procedimientos, entre los que figura, como el mejor, el llamado á *chorro de arena*. La limpia á mano no es admisible más que para los herrajes cuyas partes son fácil-

mente accesibles, caso que se presenta sólo en ciertas obras de gruesa calderería, pero no en las estructuras de puentes, cuchillos de armadura, vigas de celosía, etc. Por otra parte, siempre resulta difícil una limpia ó desincrustado á mano, el trabajo no es nunca completo, resultando, por consiguiente, muy comprometido é incierto el éxito de un pintado sobre hierros limpiados á mano; en cambio, la limpia á chorro de arena hace desaparecer con seguridad hasta el más ínfimo vestigio de hidróxido férrico y de pintura primitiva, cualquiera que sea su adherencia y su solidez. A propósito de este procedimiento, presenta Mr. Denil en resumen, las siguientes conclusiones:

«El *decapage* al chorro de arena es, por el momento, el más potente procedimiento de limpia que puede aconsejarse para la conservación de las estructuras metálicas, tanto las expuestas al aire como las inmersas en el agua. El trabajo al chorro de arena, tal como usualmente se le entiende, es, sin embargo, demasiado débil; sería preciso un motor de 60 caballos de vapor accionando un compresor de un gasto efectivo de 20 metros cúbicos á lo menos, por minuto, accionando cuatro chorros ó venas de 19 milímetros con la presión mínima de 1 atmósfera en los areneros. Sería además conveniente el que se fundasen empresas, que, dedicándose á este trabajo, dispusieran de talleres ambulantes con todo el material y obreros necesarios, para acudir rápidamente á los sitios donde fuesen llamados. El trabajo del *decapage* debe, de todas maneras limitarse siempre exclusivamente á quitar las materias parásitas de un cierto espesor; éste trabajo será, pues, sencillo y tendrá tanto más mérito cuanto menos metal vivo descubra al exterior».

*
**

Vemos, pues, cuán atenta vigilancia requieren las construcciones metálicas para llegar á protegerlas de los com-

plejos fenómenos de oxidación; por esto, en rigor está en pleno período de ensayo la arquitectura del hierro, y es aventurado cuanto de una manera absoluta se diga respecto á su duración, solidez y economía. Sobre todo, la conservación ó *entretien* resulta difícil y cara; en la actualidad acaba de repintarse al «Ferrubron» la charpente de la Torre Eiffel, costando la friolera de 75,000 francos esta operación. Además, todos los repintados deben ser muy frecuentes, pues el plazo de protección del metal que, contra la herrumbre, se fía á nuestras pinturas, no debe prudentemente pasar de un año, como nos comprueban patentes experiencias recientemente realizadas por la Compañía de los ferrocarriles de Pensylvania; y por consiguiente, en estructuras de gran magnitud, al terminar un pintado hay que comenzar inmediatamente otro: el puente del Forth, sin parar un momento, se está constantemente pintando.

En ciertos casos, los atentos cuidados que menciono no son suficientes para prolongar la vida de las construcciones de metal; dígalo si no, entre otros, el hundimiento de la cubierta del *Charing Cross*, de Londres, atribuído á la corrosión del hierro, bajo la misma pintura, por efecto de los productos ácidos de la combustión de ciertas hullas de carácter piritoso, etc. Este comprobado accidente ha reforzado la tendencia de evitar el gran *hall* ó nave cubierta de las estaciones ferroviarias, con tracción á vapor, sustituyéndola por sencillas marquesinas de protección para los viajeros.

*
**

Los procedimientos usuales de protección, de las construcciones metálicas desnudas, están casi todos fundados en el empleo del aceite, del material vítreo, ó del mismo metal, y pueden clasificarse de la siguiente manera:

Pinturas propiamente dichas, galvanización, chapeados de cobre, de bronce, de latón ó de plomo, estañados, etc., sis-

temas de oxidación (como el del profesor Barff-Bower), y por fin esmaltados.

Pero de todos estos procedimientos, los más asequibles, así práctica como industrialmente, para las grandes *charpentes*, son, sin duda, los correspondientes al empleo de las pinturas propiamente dichas, pues si bien, en algún caso, se encuentran aplicados los otros métodos, como por ejemplo, en la Torre del Municipio de Filadelfia, cuya estructura metálica vista, está toda ella defendida de la oxidación por un revestimiento de aluminio, ordinariamente todo lo que no sea pintura es de una aplicación pequeña y local; v. gr.: los plafones de plancha embutida y esmaltada, que decoran la Estación de Francfort.

*
* *

Con las actuales pinturas, á base de plomo, que son las mejores, y con todos los demás escrupulosos cuidados imaginables, la resistencia de una *charpente* á la intemperie, y al trabajo molecular que se opera en el interior de sus piezas, se considera con una vida media de 150 años; bien entendido, siempre que los esfuerzos á que se someta no lleguen nunca á rebasar el límite de elasticidad (1). Para construcciones ordinarias cuya explotación traspase este plazo, en general no resultan económicas las estructuras de metal desnudo. Si la ley no instituyese, para plazos menores, la reversión de las vías férreas al Estado, tal vez muchas compañías de ferrocarriles construirían exclusivamente con piedra sus obras.

Son intensísimos los esfuerzos y trabajos que hoy se están realizando para evitar la oxidación en la construcción metálica; es extraordinario el número de pinturas y materiales de recubrimiento que diariamente nos ofrece de nuevo el comercio; son innumerables los ensayos que se hacen para obtener una aleación práctica para la confección de *char-*

(1) Respétando este límite de elasticidad y anulando el fenómeno de la oxidación, el metal tendría una duración secular, casi indefinida.

pentes inoxidable; el acero cargado de níquel resuelve científicamente el problema, pero resulta inadmisiblemente por el elevado precio á que se obtiene. En tesis

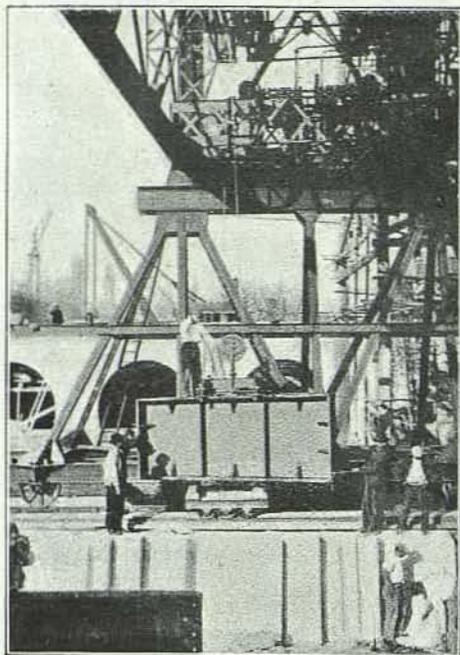


Fig. 43
Transporte para su colocación, de una dovela en acero moldeado de un puente de París

general, no se ha llegado más que á dos soluciones industrialmente aceptables, si bien son á costa de una verdadera transgresión de la calderería, que nos cautiva por su esbeltez y por su rapidez de ejecución. Voy á explicar estas dos soluciones, que estriban en el empleo de la fundición y en el empleo del cemento y del hierro simultáneos.

*
* *

Es interesante observar que el hierro fundido, primera manifestación franca de la cons-

trucción metálica, según vimos en una Conferencia anterior, se postergase después al sobrevenir el desarrollo de la calderería, y hoy, que tenemos perfeccionada la fabricación del hierro laminado, aparezca de nuevo el metal en aquella forma, engendrando

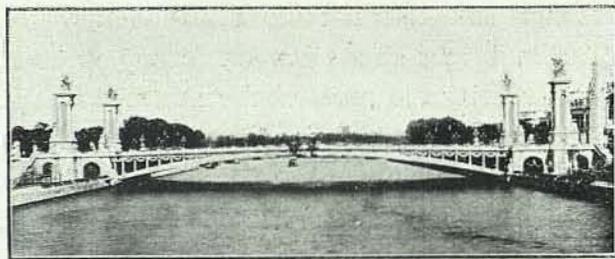


Fig. 44 Vista general del «Pont Alexandre III»
Notable ejemplo del Renacimiento de la fundición á base de despiece estereotómico

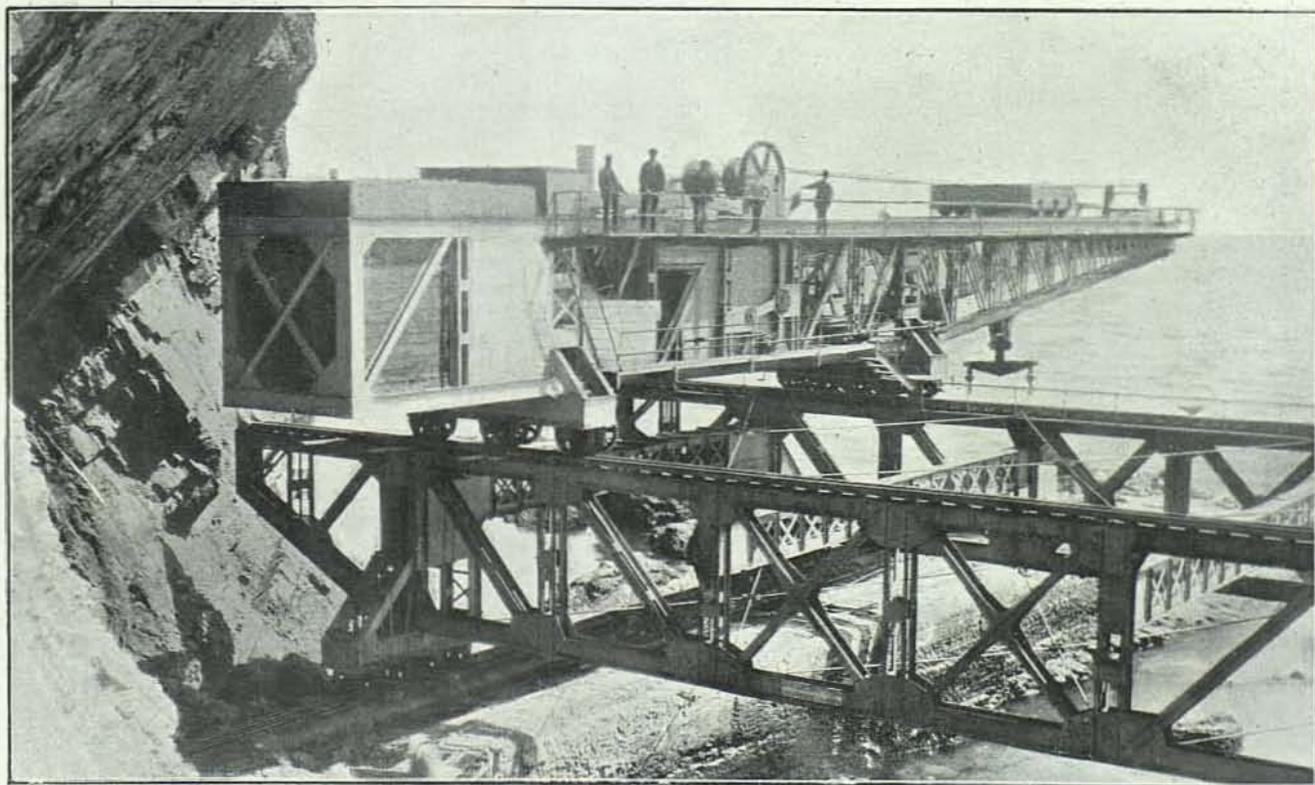


Fig. 45 Estructura de' un Steam-Titan de 60 toneladas
Ejemplo de la construcción en calderería como auxiliar de la construcción en piedra



Fig. 46
Extractor automático de los detritus en las obras del Metropolitano de París. Ejemplo de auxilio de la calderería en el movimiento de tierras

hierro colado, exige mucho más tiempo que las laminadas para ser destruídas, aun cuando admitiésemos igual intensidad de oxidación.

Un defecto, sin embargo, de extraordinaria monta, tiene la fundición, que es el que origina la característica estructura de las construcciones en hierro colado: su marcada diferencia de resistencias á la compresión y á la tracción. Por esto precisamente el Renacimiento de la fundición se nos presenta á base de despiezo estereotómico: las grandes formas fracturadas normalmente á la dirección de la línea de las compresiones, han permitido ser moldeadas en pequeñas piezas, que luego, á guisa de dovelaje (fig. 43), se han colocado en obra, engendrándose así una verdadera Estereotomía del

lo que propiamente pudiéramos llamar el Renacimiento de la fundición. Semejante fenómeno se explica por la permanencia del hierro fundido, por su oxidabilidad mucho menor que la del acero y del hierro, á causa de la proporción de carbono que contiene; es sabido, por ejemplo, que una tubería de fundición, después de mucho tiempo de estar alojada en el subsuelo, ó de su exposición al aire, presenta solamente una tenue capa de óxido, que luego ya no penetra. Además, la mayor masa y espesor que presentan las piezas de

hierro fundido. Muchos modernos puentes de la Francia están así construídos (fig. 44) y en ellos se procura alojar completamente la curva de las presiones en la masa de la forma correspondiente, con lo que se evita el trabajo del metal á la tensión.

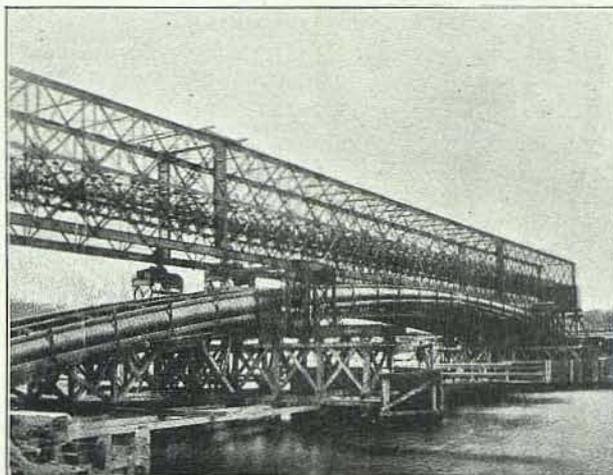


Fig. 47 El hierro armado como auxiliar provisional de la moderna construcción en acero fundido

Queda con esto resuelta una construcción metálica, más limitada, si se quiere, que la de calderería, pero mucho más permanente y de menos fácil destrucción. Las *charpentes* laminadas pasan, pues, en este concepto, á una categoría inferior, tienen una representación más interina en la construcción, y se las ve á menudo figurar como formando estructuras puramente auxiliares ó provisionales en la realización de obras de otro material, bien en obras de piedra (figs. 45 y 46), bien en obras de fundición (fig. 47).

Clíchés proyectados :

Montaje del Pont de Alexandre III, en París.

Vista general de dicho Pont Alexandre.

Colocación de una dovela de acero fundido en el gran arco del Pont Alexandre.

Dispositivo en hierro laminado para la descarga de detritus de los *Chantiers* del Metropolitano de París.

Grua Titán de 60 toneladas.

Otra vista del anterior cliché.

II

EN ciertos casos, los materiales pétreos y los metálicos se emplean en atinada combinación, obteniendo ingeniosas estructuras mixtas, muy económicas y permanentes, con sus miembros de hierro poco expuestos á la oxidación, sobre todo si se evita el contacto directo con los morteros de cal. A la fantasía de Mr. Viérendeel, profesor de la Universidad de Louvain, se debe una porción de proyectos de este género de construcciones. La Iglesia de San Agustín de París nos ofrece un ejemplo primitivo, y en Notre-Dame de la Croix, Menilmontant, 1870, se encuentran bóvedas de arista góticas, con pilares de piedra, aristones de fundición y plementería en lajas de piedra también, etc.

Es interesante observar aquí, que éste género de estructuras, y en general el de todas aquellas que se proyectan, supeditando la forma y disposición del material pétreo al verdadero papel que debe desempeñar el hierro, entrañan un superior principio de construcción, que más adelante encontraremos aún más perfectamente aplicado, y es el de la división del trabajo de la estructura con arreglo á las máximas resistencias de los materiales que la componen. Tal principio es fecundísimo en la producción de formas constructivas (fig. 48) de extraordinario interés, utilidad y economía todas, y de indiscutible superioridad á las mixtas estructuras del

Renacimiento, de que nos ocupamos en una conferencia pasada, toda vez que en aquéllas el metal, si bien jugaba, era, sin embargo, como elemento de refuerzo, oculto entre los macizos de una obra de piedra compuesta y despiezada con independencia completa del metal.

Estas estructuras mixtas, que tienen, pues, como vemos, todo el carácter racional, marcan una etapa interesantísima de la construcción metálica, y pueden en cierto modo considerarse como una transición entre las construcciones de hierro americanas y las de cemento armado.

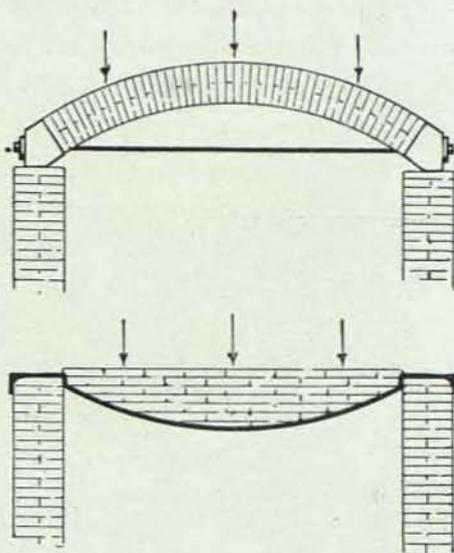


Fig. 48 Principio de la división del trabajo, á tenor de las máximas resistencias de los materiales, aplicado á estructuras en ladrillería.

*
* *

El cemento armado es en la actualidad el procedimiento de construcción que parece tiende á sustituir las *charpentes* exclusivamente metálicas. Dos ventajas de alto interés caracterizan á tal método de construcción: en primer lugar, la cantidad de materia, la masa de los elementos constructivos, que facilita el tratar á éstos con un cierto grado de decoración (fig. 49), hoy casi indispensable en muchos edificios y que sería más difícil alcanzar con los finos nervios que componen las estructuras de metal desnudo; y en segundo lugar, la gran permanencia y duración que puede tener una obra así bien construída, toda vez que el metal alojado en una ganga de cemento se encuentra en excelentes condiciones

para su conservación. Recientemente, el Ingeniero de Manchester, Mr. Twelvetrees, acaba de sentar esta última notable conclusión, á propósito de los ensayos prácticos realizados en el Laboratorio nacional de Física de Inglaterra. Sometiéronse

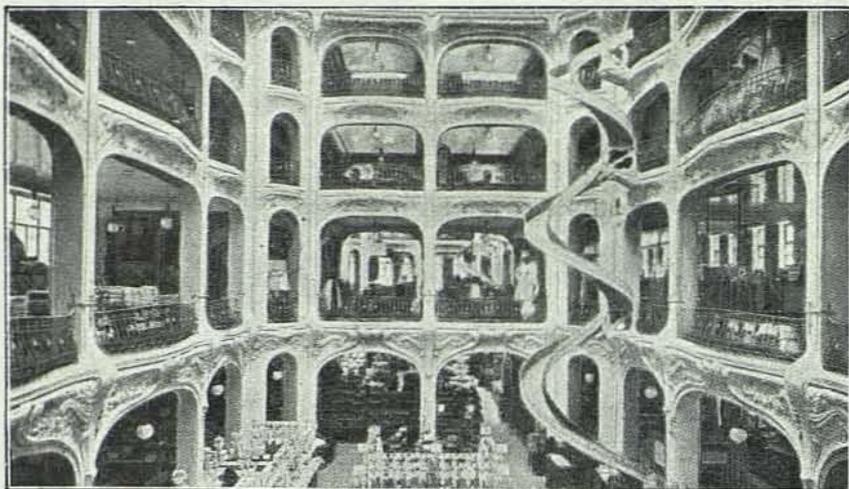


Fig. 49
Interior de un almacén comercial estructurado y decorado con el cemento armado
Les Galeries Lafayette. — Obra del celebrado George Chedanne. Paris 1907

á la experiencia inmergiendo en cemento Portland varias barras de acero, desnudo y brillante unas, y con hidróxido férrico ya formado en su superficie las otras; pudo observarse claramente que, después de un año de exposiciones alternativas al aire y al agua, de aquellas barras revestidas de cemento, el metal se encontraba exactamente en sus condiciones iniciales, sin la menor modificación en el exterior ni en el interior.

*
* *

Esta manifestación moderna de la construcción, es decir, el cemento armado, no es en rigor más que el cierre del ciclo general que expuse en la «Génesis de las estructuras de metal», pues resulta en definitiva significar el reingreso del

hierro en el macizo pétreo, encontrándose por consiguiente en la misma situación en que le vimos al registrar las construcciones del Renacimiento. Sin embargo, en las construcciones á que aludo, aún cuando el hierro, por lo mismo que desempeña la misión de atirantado, trabaja análogamente al

de las realizadas en cemento armado, no existe el fecundo principio que caracteriza á éste: la *adherencia* del material

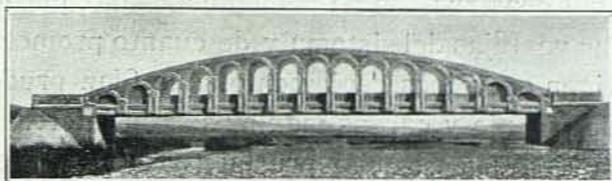


Fig. 50 Original aspecto de una arquitectura resuelta en cemento armado. Pont de Beja

metálico con el material pétreo; por esto la construcción en cemento armado tiene un sello de indiscutible originalidad (fig. 50), de donde deberá nacer, seguramente, *una nueva Arquitectura*, como afirma el ilustre profesor de Mecánica aplicada, de la Escuela «des Ponts et Chaussés», de París, M. Rabut.

Esta adherencia del metal con el cemento debe ser superior al desgarramiento longitudinal ó deslizamiento entre las fibras comprimidas y las extendidas, de un sólido que se deforma bajo la influencia de fuerzas exteriores, puesto que en el verdadero sistema del cemento armado se deja al metal desempeñar, además de los esfuerzos cortantes, las fuerzas elásticas de tensión y al cemento las de compresión, formando ambos materiales un casi perfecto monolito, que es precisamente lo que entraña el secreto de estos procedimientos, así el del cemento como el del hormigón armado. Si aquella adherencia fuese vencida por el desgarramiento citado, desaparecería la unidad del sistema, perdiendo éste su resistencia. Ahora bien, ¿puede siempre alcanzarse esta adherencia con el grado indicado?

Los choques y las vibraciones á que están sometidas ciertas construcciones en cemento armado, ¿no pueden tender á

la desunión entre el metal y el cemento, amén de que puedan provocar la fuerza cristalogénica del hierro? Las variaciones de temperatura, ¿no pueden á su vez disociar las dos materias?... y este mismo fenómeno ¿no puede iniciarse por efecto de la estricción de alguna barra excesivamente tensada?... Estas son las dudas ó los puntos negros de nuestra actual construcción en cemento armado, por lo cual, á pesar de las ventajas del sistema y de cuanto promete, ordinariamente rigen enérgicos reglamentos que fijan prudentes coeficientes de trabajo y cargas máximas. Son interesantes, entre éstos, la Moderna Circular prusiana y el Reglamento de Filadelfia.

*
* *

En tesis general, puede sentarse la gran dificultad de sujetar á un formulario, preciso, á un cálculo exacto, el complejo sistema del cemento armado, pues la teoría de la elasticidad en el cemento, á pesar de los intensos estudios de Bauschinger, Baker, Souleyre, Considere, etc., resulta poco segura; no obstante, el perfeccionamiento del sistema va acentuándose, y la práctica va aleccionándonos é induciéndonos fe en el procedimiento de construcción, constantemente seguido á cierta distancia por el cálculo. Desde 1870, en que Monier comenzó á fabricar depósitos de tejido metálico revestido de cemento, el desarrollo de este género de construcción ha ido aumentando, alcanzando un grado extraordinario en Alemania, Austria é Inglaterra, pero principalmente en Francia, donde muchas manifestaciones de las Arquitecturas, así industrial como monumental, han sido producidas por el sistema de cemento armado, debiéndose sólo á Mr. Hennebique, héroe actual de dicho sistema, más de tres mil construcciones realizadas en 7 años; aún en Inglaterra mismo el procedimiento Hennebique, representado por la casa Mouchel, de Londres, se ha generalizado recientemente, y por tal sistema acaba de construirse la célebre estación de mercancías de Newcastle-

on-Tyne, á base de varios pisos separados, formando el edificio más vasto que en este género se conoce en toda la Gran Bretaña.

Recientemente también en los Estados Unidos se aplica el cemento armado á la resolución de los grandes problemas de la ingeniería; en el viaducto que, proyectado por Mr. Meredith, se está construyendo para unir la Florida y Key-West (Cayo-Hueso), se forman de cemento armado los tramos de unión entre los diversos islotes. En la actualidad, está además próxima á inaugurarse, cerca de Filadelfia, la majestuosa estructura de cemento armado, debida al Ingeniero Blount Warren, que formará en dicho sistema una de las obras más atrevidas del mundo: el Philadelphia-bridge, puente de un tramo constituido por dos arcos paralelos de unos 70 metros de luz cada uno. Es un dato de alto valor el estudio económico que á propósito de este puente se ha hecho, y del cual resulta que si capitalizamos los gastos de repintado y entretenimiento que exigiría el puente en el supuesto de ser metálico, y el importe de éste se equiparara al que ha costado el de cemento armado, teniendo en cuenta la mayor duración de las obras realizadas en tal sistema, no dejará ya duda sobre la ventaja de su elección.

El cemento armado, bien elaborado, es, pues, hoy el sistema más económico de construcción; puede decirse que es, de entre todos, el que ofrece la *unidad de resistencia* á más bajo precio, y ésto se explica por el fondo de racionalidad que entraña tal sistema: la división del trabajo. Esta división, planteada clara, aunque imperfectamente, en los puentes colgantes, tipo Navier, en que el metal y la piedra, disociados se reparten con arreglo á sus cualidades el trabajo total, se encuentra perfectamente resuelta en la reunión íntima del hierro y del cemento, que es precisamente la característica del procedimiento en cemento armado.

*
**

De diversas maneras, sin embargo, puede lograrse esta reunión íntima: ó alojando el hierro dentro del cemento, como en el procedimiento usual, ó inversamente, alojando el cemento en el hierro, con lo que se obtienen los *bétons frettés*. En la forma primera, pueden orientarse las barras ó cables metálicos, según la dirección de las tensiones (caso corriente de los elementos flexados y atirantados) ó transversalmente á los esfuerzos de compresión (caso de piezas comprimidas). El papel del hierro explícate en este último caso también por la adherencia con el cemento, pues, gracias á ella, ofrécese un obstáculo al aumento de sección (*gonflement*) de la pieza comprimida.

La adherencia del cemento y del hierro se logra, ó comprimiendo aquél, por cualquier procedimiento, durante la factura ó construcción de la obra entre moldes de la misma, por capas sucesivas, ó simplemente por colada del mortero fabricado con alto grado de fluidez.

Es interesante observar aquí el nuevo procedimiento de construcción iniciado en algunos puentes de cemento armado: se moldean primeramente dovelas huecas, abiertas por el extradós y por las caras de junta: fórmase así un arco que se sostiene, antes de cerrarlo, por suspensión sencilla de sus elementos. Cerrado que sea el arco, se rellena con cemento y armadura, terminándose la obra. La conclusión de tal procedimiento es trascendentalísima, toda vez que nos ofrece el caso singular de incorporación de obra auxiliar ó provisional á la obra definitiva; realmente, el conjunto del dovelaje hueco no es más que un cimbraje del arco en cemento armado que hemos construído en su interior, cimbraje que, al soldarse al arco, ha quedado formando parte de él, con lo cual hemos hecho rendir su máxima utilidad á la construcción provisional. Las construcciones auxiliares, que en la antigua

arquitectura se han procurado siempre evadir, pero que en nuestros métodos actuales no pueden dejar de concurrir, son la preocupación de la arquitectura industrial del día. Con el ejemplo citado, comprenderáse la posibilidad de orientar los procedimientos de construcción, en el sentido de lograr la permanencia en obra definitiva de todos sus trabajos preparatorios, con lo que resultará altamente beneficiada la economía de la obra, finalidad indiscutible de toda construcción industrial.

Terminaré estas digresiones relativas al cemento armado, haciendo presente la fecundidad de tal procedimiento por las innumerables combinaciones á que se presta la reunión del metal y del cemento, y el esperanzado porvenir que le asignan los constructores ante la justa observación de un hecho que compensa en parte el largo período de endurecimiento á que deben someterse sus obras, y es la seguridad de éstas, que crece constantemente con la edad de la construcción.

*
* *

Finalmente, además de todas las citadas fases con que acabamos de ver se nos presenta el hierro en la construcción, existe una muy notable, y es aquella en que se hace trabajar al metal según las funciones de un verdadero esqueleto, es decir, resistiendo esfuerzos de toda clase, incluso los de flexión, asignando al material pétreo exclusivamente el papel de forjado, relleno ó *emplectum* de las construcciones. Este universal trabajo del hierro revestido de ladrillería ó piedra, es lo que caracteriza las construcciones norteamericanas; así como nosotros no concebimos un cuerpo sin esqueleto, no se comprende en América una gran construcción sin la osatura metálica correspondiente.

*
* *

La producción anual del acero y del hierro es enorme en la América del Norte; solamente la «Carnegie Company»,

aglomerado de acerías y forjas, entre las que destacan como más importantes las de Pittsburg, cuenta por millones las toneladas de metal laminado... y la «Carnegie Company» no es más que una parte del famoso trust del acero «United

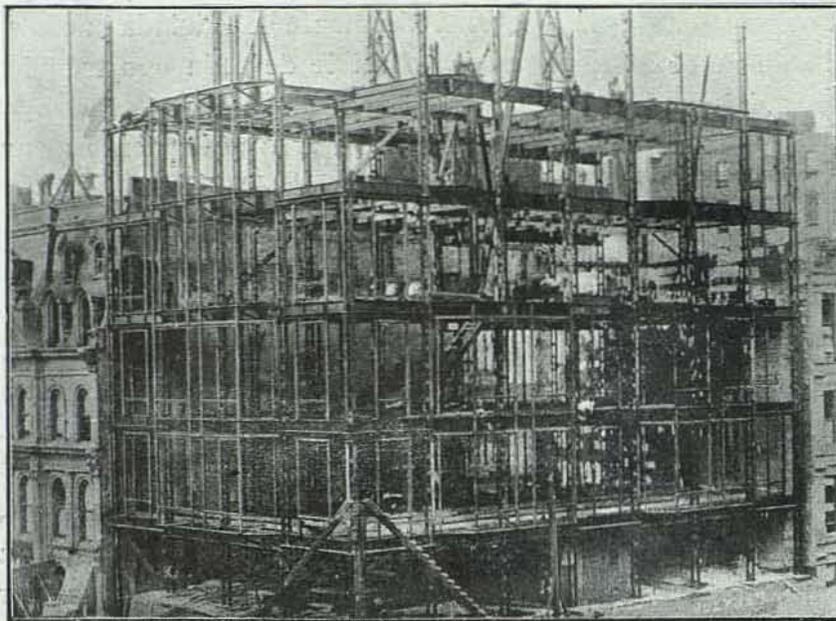


Fig. 51. Vista de un edificio americano en período de construcción

States Steel Corporation!... Esta referencia nos dice elocuentemente cuánto el metal es artículo de primera necesidad en América. Las extraordinarias elevaciones de los edificios de treinta pisos de Nueva York y de Chicago, no serían posibles sin la osatura de acero interna que convierte á las casas en verdaderos postes flexibles, empotrados en el suelo, como un pie derecho, como un árbol.

Amén de la gran resistencia y elasticidad, la principal ventaja de este sistema de construcción es la rapidez (figuras 51 y 52) con que permite ser erigida; el revestimiento de ladrillería puede hacerse en el orden que convenga du-

rante la montura de la obra; no es raro ver construcciones en período de ejecución, cuyos pisos altos aparecen completamente terminados y revestidos de piedra, mientras que en los inferiores se manifiesta aún completamente desnudo todo el «skeleton». Esta observación revela claramente la resistencia de dicho «skeleton» y el papel secundario que se confía á la obra de fábrica.

*
* *

El original sistema de desarrollar las construcciones por su altura y no por su base, que es el causante del empleo del hierro en la fase que estoy reseñando, explícate, como todo lo que atañe á la industria, por el factor *economía*: con la multiplicación de pisos aumentase el rendimiento de la unidad superficial de terreno y se ahorra el tiempo de traslado de un sitio á otro. La existencia de este factor y la falta de extensión transversal ha dado origen á los «skyscrapers» de Nueva York, conocidos en Francia por «Racleurs de ciel». Estos edificios, que constantemente se reconstruyen en el Norte de América, haciéndolos cada día más altos y más apropiados á las últimas necesidades, han llegado á alcanzar dimensiones



Fig. 52. Progreso en el montaje del edificio de la figura anterior, experimentado en el espacio de 14 días



Fig. 53. «Skeleton» metálico del «New Morning Post», Londres

Edificio en construcción (1907) debido a los arquitectos Mewes & Davis

inusitadas: ya no es la torre Singer, con sus 187 metros y sus 40 pisos el *sky scraper* que bate el *raccord* de las alturas en edificaciones de acero y ladrillo, existe otro edificio que lo rebasa en 33 metros: el Metropolitan Building, y en la actualidad el arquitecto Burnham, de Chicago, está dibujando el palacio central de «La Equitable», sociedad de seguros de Nueva York, compuesto á base de grandes cuerpos cúbicos, escalonados, que alcanzarán una altura total de 353 metros, situando á 300 metros sobre la calle el último piso habitable; el número total de pisos llega á 62 y el personal será constantemente proyectado contra los mismos por medio de 38 ascensores-exprés. Ante tal incalificable audacia de la ingeniería moderna, que parece reconocer por límite solamente á la resistencia que el acero le imponga, por su coeficiente de aplastamiento, preocuparse en la actualidad los legisladores de Nueva York de poner un término á estas crecientes alturas, que amenazan cambiar de plano, digámoslo así, el tránsito horizontal y lógico de la ciudad.



Fig. 54. Vista de una de las pilas del Tower-bridge, Londres, tomada desde la pila opuesta
Ejemplo de construcción
de piedra reforzada por estructura metálica

*
* *

La construcción americana, estructurada en hierro, hase extendido también en Europa, si bien con menos justificación; es muy frecuente encontrar en Inglaterra, dentro del mismo Londres (figs. 53 y 54), construcciones á base del *Cage* ó *Skeleton* metálico. El «British Iron and Steel



Fig. 55. Fábrica del aire comprimido
Quai de Jemmapes, Paris, 1907

Obra del Ingeniero y Arquitecto Friesé. Tipo de construcción industrial con estructura metálica, vista al exterior

es el acuse al exterior (figs. 55, 56 y 57) de los entramados y armaduras, de manera que éstas no están completamente alojadas en el seno ó macizo de fábrica. Esta sinceridad, manifestada por los constructores de la vecina República en la utilización del hierro, ha sido indudablemente uno de los motivos que ha originado la decoración de la calderería armada, cuestión interesantísima de que hablaré en otra conferencia.

Esta misma corriente de la construcción mixta francesa, en hierro y fá-

Institute» se ha preocupado de la producción económica del hierro y acero nacional, con lo que se favorece este género de construcción. En Francia abunda también, aunque no tanto como en Inglaterra, la construcción con *carcasse* metálica, si bien he observado, en general, una característica en el empleo del hierro, y

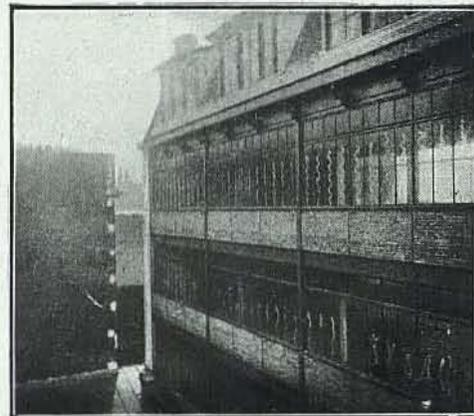


Fig. 56

Fachada interior de los nuevos almacenes de la Sociedad «100,000 Chemises», Paris, 1907
Rue Louis Blanc

Estructura mixta en calderería y ladrillería

brica, encuéntrase bien manifiesta en muchas obras de Alemania (figura 58).

*
**

Hemos ya revistado las principales fases con que se presenta el metal en la construcción; para terminar podría solamente recordaros la moderna forma como la ingeniería nos ofrece el hierro y acero: el estampado ó

embutido. Con este género de elaboración obtiéndose elementos de grandísima resistencia, en la actualidad empleados casi unicamente en construcción maquina, chasis de vehículos, etc., pero compréndese que pudiendo producir piezas, así de sencilla como de doble curvatura, capaces de trabajar á esfuerzos de todas clases, incluso los de torsión, es lógica la aplicación de ellas á cierto género de construcciones de fábricas y edificios, con lo que se generalizarían las formas y empleo del hierro, planteándose tal vez los principios de un más amplio método de estructurar, que el que hoy nos permite la rectilínea forma de las barras laminadas.

¿Hemos encontrado el código de la arquitectura metálica?... La evolución constante de las fases explicadas nos lo niega claramente. Podemos, pues, reproducir, como un eco, la frase de Viollet le Duc lanzada 40 años atrás: «Si los griegos y los romanos hubiesen poseído nuestras siderurgias, con su sentido práctico hubieran tal vez encontrado las formas y apariencias propias del hierro».

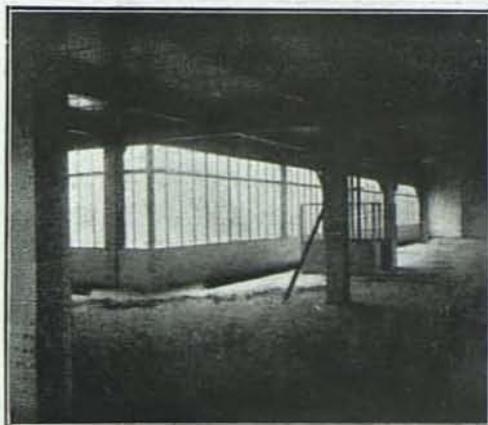


Fig. 57. Vista interior de los almacenes
«100,000 Chemises»

Uno de los departamentos apenas terminados
Paris, 1907



Fig. 58. Construcción industrial de Berlín, debida al Arquitecto Möhring
Ejemplo notable de construcción mixta decorada, en material pétreo y metálico

Clíchéés proyectados :

- Cúpula de los almacenes « Dufayel », París.
- Usine de l'air comprimée, París.
- Otra vista del mismo asunto anterior.
- Usine de l'air comprimée, vista desde el Quai de Jemmapes, París.

- Bahnhof der Elektrischen Hochbahor in Berlin.
- Rue Lebeau, Brüssel.
- Allgemeine zeitung in München.
- Fachada interior de los almacenes «100,000 chemises», París.
- Interior almacenes «100,000 chemises», París.
- Otra vista de este interior.
- Exterior del Bazar de la Rue de Rennes, París.
- Un almacén comercial de la calle de Reaumur, París.
- Sala de espectáculos construída de cemento armado.
- Hall (de las) Galeries Lafayette, París (de cemento armado).
- Pont en beton armé.
- Loggia construída de cemento armado.
- Central eléctrica de Cuset: edificio de la nueva instalación á vapor.
- New Morning Post, Londres.
- Montaje de un edificio americano.
- Montaje del mismo edificio á los 15 días después.
- Edificio en el Park-Row, Nueva York.
- Interior de la nueva Gare d'Orléans, París.
- Exterior de la Gare d'Orléans, Quai d'Orsay, París.
- Torre del Tower-bridge, Londres.

Dibujos expuestos:

Estructura de un techo de cemento armado, de St. Denis, calculado para 400 kilogramos de carga por m.²

La decoración en el hierro armado

I

INDISCUTIBLEMENTE toda obra humana reclama un cierto grado de belleza, que el hombre hasta de un modo inconsciente, á veces, se esfuerza en alcanzar. Esta ley general de todas nuestras producciones, debe encontrarse naturalmente reflejada también en la construcción con metales.

Las manifestaciones artísticas de la cerrajería presentan, á partir ya de su nacimiento, una serie de interesantísimas fases, que no cabiendo en la esfera de éstas Conferencias no podré detallar; tomaremos, pues, á esta cuestión con preferencia por su más reciente aspecto, que es precisamente el arte que está en la actualidad surgiendo de la construcción de *charpentes* ó estructuras en calderería.

*
* *

Es original que en la progresión constante y rápida de todos los procedimientos del arte de construir, el de la decoración en hierro haya experimentado un largo período de calma y espectación; al final del siglo XVIII eran ya conocidos todos los sistemas de tratamiento del hierro, en lo que atañe á ornato y embellecimiento, de tal manera que en todo el XIX sólo vemos constantemente reproducidos los ejemplos típicos del trabajo del metal en los siglos anteriores; así aparecen los característicos casos del primitivo forjado con los ensamblajes resueltos por *atravesado* de los hierros, es decir, por medio del orificio practicado en el punto de una pieza que pre-

viamente se ha aumentado de sección y que recibe así sólidamente al otro elemento que atraviesa. Este ensamblaje, superior desde luego al resuelto á media entalla, favorece el aspecto de los cruzamientos y contribuye á la decoración. Repítese también ya desde fines del siglo XIII, con ligeras modificaciones, el empleo de motivos ornamentales estampados con matriz, sistema que, si bien resulta económico, tiene el grave inconveniente de mecanizar, digámoslo así, á la decoración y darla monotonía por la igualdad rigurosa y multiplicación exagerada de sus temas.

Este estampado, ó embutido á matriz, viene á ser sencillamente un repujado mecánico, y por consiguiente, hállase exento de la alta cualidad que avalora á todo arte, cual es el sentimiento personal. En este precisamente estriba el gran aprecio de las obras tratadas por repujado, procedimiento antiquísimo que nos han legado los pueblos orientales y que, habiendo pasado sucesivamente por Grecia, Roma, etc., encontró en pleno siglo XV su aplicación al hierro batido en hoja delgada. Más adelante, sensiblemente en el siglo XVII, se generalizan y perfeccionan los trabajos al repujado, tratándose indistintamente á la hoja metálica, bien por su cara, bien por su revés, constituyendo este último método el verdadero repujado, toda vez que se impelen al exterior las masas ó relieves del tema decorativo. La blandura y espontaneidad de formas que así llegan á alcanzarse es realmente sorprendente, hasta el extremo de que los buenos repujadores llegan á tratar al hierro como si estuviere dotado con la dócil maleabilidad que caracteriza á la cera. Las piezas así trabajadas, y adheridas por soldadura ó remache á la gruesa estructura forjada, producen las celebradas obras de la cerrajería que guardan nuestros museos y que ostentan aún algunos monumentos arquitectónicos del Renacimiento.

Otra de las características perpetuadas en la cerrajería á partir del siglo XVIII, es la imitación de las formas clásicas de piedra, con lo que se desvía marcadamente el fondo racio-

nal del arte del hierro, ya que con dicha imitación aparecen elementos de exageradas dimensiones que no responden al principio de utilización de la materia reclamado por todas las artes y principalmente por las de la construcción.

Á pesar de la realidad de esta observación, preciso es convenir en la singular belleza que respiran las composiciones de hierro en pleno Renacimiento, belleza debida ordinariamente á la vestidura local que ostentan, proporcionada por las hojas y otros elementos de decoración, elaborados en hierro batido y repujado.

El expedito procedimiento de la fundición, sustituyendo, si no con arte, á lo menos con gran economía á los delicados trabajos del repujado y soldadura, abre ya en la mitad del siglo XVIII una franca vía á la decoración metálica por moldeo y fusión; pero desde ésta época hasta nuestros días el tratamiento decorativo del metal no ha experimentado apenas ningún progreso, exceptuándose, naturalmente, un cierto perfeccionamiento en las máquinas de trabajo y la moderna educación manual del artífice. Por esto os decía que la decoración en el hierro ha experimentado un largo período de calma.

*
* *

En la actualidad, dado el universal empleo del hierro en la construcción y las formas prácticas con que el comercio nos lo ofrece, hase iniciado un sistema decorativo completamente nuevo, que, constituyendo una genuina expresión de la moderna época del hierro, puede sin duda originar una verdadera *arquitectura metálica*, cimentada, al igual que la *arquitectura pétrea*, en sólidos principios de razón y de estética. Realmente, la belleza que entrañan las construcciones y miembros arquitecturales clásicos, en piedra, obedece á una primordial causa científica, y ésta no es otra, expresándolo de una manera general, que la existencia de una cierta relación entre

el volumen del material y su resistencia, de donde intuitivamente se han originado los módulos de proporción helénica y romana, que, junto con el principio también científico de la ponderación de masas, producen la hermosura de las obras del Renacimiento. En las construcciones de otros estilos arquitectónicos, como el románico y el gótico, tiene existencia de la misma manera el referido principio de proporción, manifestándose, sin embargo, aparentemente alterado y libre por consecuencia de la voluntaria repartición de fuerzas que el elemento abovedado permite.

Ahora bien, el principio de proporción que acabo de comentar, hace referencia al material piedra; pero si consideramos un material distinto, encontraremos en él un principio de proporción distinto también, el que pudiendo á su vez originar un módulo que rija aproximadamente los trazados de las construcciones, nos ofrecerá edificios y formas de proporción nueva, á la que no estaremos habituados, pero que, no obstante, entrañarán exactamente la misma razón que produce la belleza, por todos convenida, de la arquitectura pétreo. Este es el caso del material metálico.

¿No podemos, por consiguiente, admitir que las estructuras de hierro llegarán á formar, si no comienzan á formarlas ya, una verdadera arquitectura?

La aserción que hace, pues, M. Statham al tratar, en su *Modern-Architecture*, de la actual construcción metálica, diciendo que el gran triunfo de nuestra era es la invención científica pero no la creación artística, es digna de ser discutida, toda vez que la ciencia de las *Charpentés* engendra y lleva aparejado, por necesidad, un arte como lo engendraron indudablemente los nuraghis y otras primitivas construcciones pétreas.

*
**

Mientras la composición y la forma de una obra armonicen con las cualidades de la materia empleada, dicha obra

ostentará belleza y arte. Esta profunda ley general de las artes industriales, observada y demostrada por M. Magne, profesor de l'«Ecole des Beaux Arts», de París, está en admirable acuerdo con el pensamiento de Ruskin al sentar éste que la belleza de la arquitectura no es dogmática y que la producen, no sólo las filigranas decorativas, sino los mismos materiales y la verdad con que son empleados. A fuerza, pues, de conocer el hierro y de ostentarlo con verdad ingenua, irá realizándose el vaticinio de Teophile Gautier (1850) relativo á la formación, por el metal, de una nueva arquitectura no comprendida en el Vitrubio.

El metal es apto, pues, para engendrar una arquitectura con el grado de belleza y decoración que se desee, de la misma manera que sería apto otro material abundante cualquiera, cuyas propiedades fuesen bien conocidas y racionalmente empleadas. El mismo profesor Magne nos dice esto claramente al manifestar que *la matière n'est rebelle qu'aux ignorants*.

*
**

Tal vez pueden las anteriores afirmaciones aparentar cierta exageración, pero no hay tal, toda vez que si nos fijamos en el fenómeno que nos hace percibir la cualidad de belleza en las obras de piedra, fenómeno que ya he apuntado antes y que lo referimos á la *proporción*, como resultado general de una cierta relación existente entre el volumen de la piedra y su resistencia, comprenderemos cómo el ojo humano, habituado á dicha relación, puede rechazar injustamente toda otra que sea propia de materiales nuevos, es decir, de materiales á cuya desconocida lengua no estemos acostumbrados, y que nos exijan, por consiguiente, *une longue éducation nouvelle du regard pour que la jouissance perdue soit recouvrée*, como nos dice Prudhomme.

Con el arte y la racionalidad de su empleo irá, pues, manifestándose de continuo, con mayor intensidad, la expresión

del hierro, educando paulatinamente á nuestro espíritu y descubriéndole la belleza que es capaz de entrañar una estructura metálica, así en su conjunto, como en sus detalles.



La composición decorativa de los detalles de la construcción metálica, se ha resuelto en un principio con formas de fundición imitando motivos de los estilos arquitectónicos propios de la piedra. Este procedimiento, realmente muy expedito por la facilidad de moldeo de los miembros y elementos constructivos, no responde, sin embargo, á los principios racionales antes mentados, relativos al empleo y tratamiento de la materia. Efectivamente, dadas las cualidades y resistencia de la fundición, resulta que un pie derecho de este material tendrá una relación de dimensiones completamente distinta de la que tiene una columna de piedra; por tanto, si tratamos á aquel pie derecho con la misma composición decorativa que á la columna, dotándolo, por ejemplo, de una base moldurada, de un fuste de exíguo diámetro y gran altura, y de un florido capitel del orden corintio, por inevitable consecuencia ha de aparecer la chocante desproporción (figura 59) que nuestro espíritu inadvertidamente es-

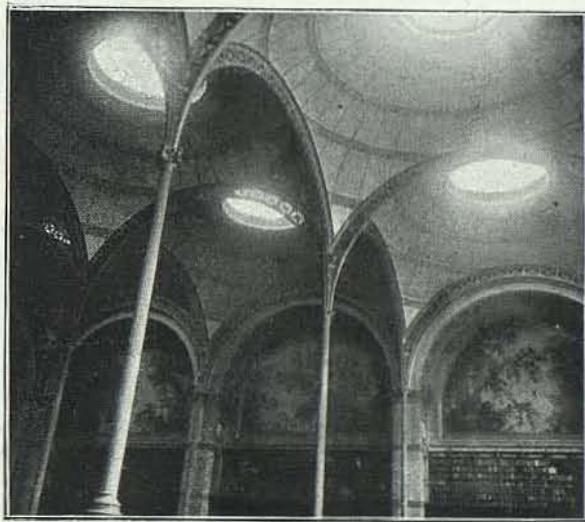


Fig. 59. Uno de los primeros ensayos de la decoración en el hierro (Bibliothèque Nationale de Paris)
La resolución consiste en ostentación de la estructura y tratamiento de las piezas fundidas con formas del Renacimiento

tablece al recordar la armoniosa figura de esta misma forma resuelta en el material pétreo. Este fenómeno, repetido para cada elemento de la construcción, es lo que tristemente ha calificado de escueta y pobre á la elegancia ideal y hermosa que el metal permite á sus estructuras, y que apreciaríamos más si fuesen tratadas con formas propias, nacidas de sus

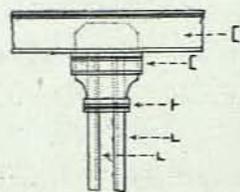


Fig. 60. Aplicación del hierro laminado á la reproducción de los perfiles de la arquitectura pétreo. Pont Mirabeau, París.

cualidades, mas no prestadas á arquitecturas distintas. No es, pues, la imitación de formas conocidas el camino del arte para la construcción metálica.

Afortunadamente, las *charpentes* de metal laminado dificultan de un modo extraordinario aquella imitación de formas, habiéndose orientado en otro sentido la decoración de las armaduras de hierro; pero así y todo, en ciertos casos obsérvase obstinada tendencia á copiar

siluetas de la arquitectura de piedra (fig. 60), como demuestra el croquis que presento, tomado del Pont Mirabeau, sobre el Sena, en París, que recuerda, con los hierros laminados, una columna ordinaria con su fuste, capitel y entablamento superior.

Clíchés proyectados:

- Bóveda y columnas de la Bibliothéque Nationale, París.
- Westminster-bridge, Londres.
- Detalle de Le Marché des Carmes, Toulouse.
- Pont des Arts, París.

Dibujos expuestos:

- Detalles decorativos del Pont Mirabeau, París.

II

LA estética de las construcciones metálicas, en general, es una cuestión ardua y eminentemente filosófica, que no puedo aquí debatir detalladamente. Diré, tan sólo, que en esencia integra dos problemas: la estética constructiva y la estética decorativa.

El primer problema es función, digámoslo así, de todo un estudio de las grandes proporciones y composición de las formas generales de las *charpentes*. Esta composición debe resolverse con el sentido artístico, haciendo *a posteriori* intervenir las matemáticas para la verificación de la estabilidad. Será preciso, en general, componer con sencillez, pero acentuar con energía, las grandes líneas de una osatura, con lo que tomará esta los aspectos de majestuosidad y robustez propios del hierro y del acero.

El segundo problema es genuinamente de un carácter decorativo, y su buena resolución dependerá, no sólo del gusto y educación artística, sino de la propiedad desplegada en el tratamiento del metal.

Estos dos problemas de la arquitectura metálica tienen, sin embargo, multitud de leyes que les son comunes, y que tienden, unas á evitar los efectos perturbadores y deformadores de la luz singularmente intensos en toda *charpente*, y otras á huir del frecuente defecto de las estructuras, cual es la excesiva complicación de celosías y arriostrados. Por el primer fenómeno llega nuestro espíritu á impresionarse desagradablemente ante percepciones ópticas desastrosas, y por el segundo hecho pierden toda unidad y precisión los caóticos y espesos bosques de herrajes de las osaturas, apareciendo compuestas sin ley y sin unidad; éste es precisa-

mente el único defecto de que se tilda á la Torre Eiffel, cuya silueta general contituye, sin embargo, un hallazgo maravilloso en la construcción metálica.

*
**

El Profesor de *Ponts et Chaussées*, Mr. Resal, refiriéndose á la estética de la construcción metálica, dice: «je veux faire toucher du doigt l'importance du rôle que l'Ingénieur, lui-même est appelé à remplir à ce point de vue»; y dada la universal fama del citado Profesor y su pericia demostrada en las hermosas obras que ha realizado, podemos aceptar desde luego su frase como la afirmación más clara relativamente á la existencia de *un arte especial* en la calderería moderna. A este efecto, después de discurrir sobre la cuestión, Resal llega á formular cuatro principios generales, que en corroboración de las manifestaciones antes hechas, aconseja regir en las estructuras desnudas de metal:

1.º Geometrizar la forma general, componiendo bajo una misma ordenancia y presentando con un mismo aspecto todas las piezas del sistema que trabajen de igual manera.

2.º Proporcionar la importancia de una pieza al papel que debe desempeñar en la estructura general. (De no llenarse este principio, podrá, por ejemplo, un palastro presentarse ó aparecer con mayor importancia que una jácena en doble T, siendo así que ésta, por su gran momento de inercia, será más activa y podrá resistir extraordinariamente mayores esfuerzos que aquel palastro).

3.º Prever las deformaciones elásticas del sistema, y al efecto dotar de contracurvatura á las piezas que las sufran.

4.º Corregir las ilusiones ópticas, fenómeno muy frecuente en las estructuras metálicas, para lo que, á semejanza de lo hecho en los templos egipcios y principalmente en los griegos, deben deformarse ciertas piezas, irregularizarse ciertos espacios, acentuarse ciertas convergencias, etc., etc.

Indudablemente, si rigen estas fecundas leyes de composición en el trazado general de una *charpente* desnuda, aparecerá el conjunto de ésta con toda la grandeza y elegancia que entraña la nerviosa estructura de hierro laminado.

Por lo que respecta al detalle de decoración, el problema es, como dije,

distinto: en un principio el perfil racional de los elementos, es decir, las secciones angulares ó en doble T, en U, etc., parecían oponerse completamente á toda forma y motivo ornamental, hasta el extremo de obligar al disimulo de las barras comerciales, apelando unas veces á su recubrimiento parcial con hojarasca, molduras y otros temas confeccionados en hierro forjado ó repujado, en zinc, ó en diferentes materiales, y otras veces á disponer, entre la triangulación de las celosías, diversos motivos de ornamentación en cerrajería artística usual, como sucede, entre distintos ejemplos, en los cuchillos de forma de la Gare de Bruges, que, con todo y su fama, resultan ahora no sólo de inocente decoración, sino algo impropios, por estar inspirados en las composiciones de madera de la Edad Media.



Fig. 61. Tratamiento decorativo del hierro comercial aplicado á la base de los pies derechos del Viaducto de Passy; Metropolitano de París

*
* *

En la actualidad, el constante y reciente empleo del metal laminado, sus multiplicadas aplicaciones á la construcción

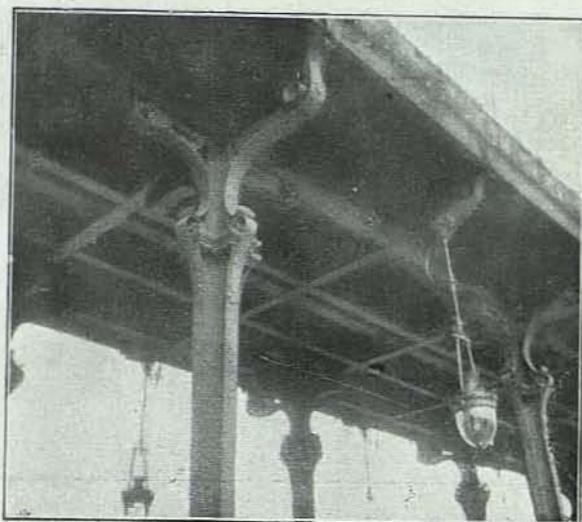


Fig. 62. Tratamiento decorativo del hierro comercial aplicado á la infra-estructura del Viaducto de Passy Metropolitano de París

de puentes, armaduras, etc., y principalmente á las obras que por su finalidad y condiciones exigen un cierto grado arquitectural, ha abierto una vía moderna, un arte nuevo para el tratamiento decorativo de los hierros laminados (figs. 61 y 62). Este arte apenas ha podido á gran

distancia seguir los progresos de la metalurgia, y por esto es que hoy, época en que la calderería de hierro ha llegado ya á un desarrollo extraordinario, encuéntrase aquél solamente en vías de formación. Intentaré, sin embargo, exponer los principios que he observado en las decoraciones del hierro armado, presentando algunos característicos ejemplos.

*
* *

Los primeros ensayos de este género de decoración que resultan de una manera franca y expedita, sin apelar á elementos auxiliares ó de recubrimiento, los encontramos en el tratamiento de los hierros por rizado de sus alas: una serie de ondulaciones, fácilmente producidas en caliente sobre un nervio ó ala de una barra metálica del comercio, da por resultado la ligera alteración de su rectilínea forma y origina la presencia de una serie alternada de facetas sombreadas y brillantadas, que embellecen notablemente al hierro. La

mayor ó menor abertura de dichas ondulaciones, su confección en sentidos contrarios, su alternancia con cortes transversales ó entalladuras triangulares, etc., acaba de producir en la barra metálica un aspecto ornamental discreto y elegante.

En vez de formar alineación rectilínea, puede la barra, asimismo tratada, afectar arcuaciones pertinentes al objetivo ó papel que desempeña, con lo que se hace compleja la forma y se enriquece la decoración.

La composición de estructuras con elementos trabajados de la manera que acabo de definir, resulta, efectivamente, rica é interesante, máxime si preside un principio de buen gusto y razón; pero adolece, sin embargo, de un defecto capital, cual es el debilitamiento de las secciones de las piezas, toda vez que, bien por los cortes ó entalladuras mentadas, bien por la aproximación de la materia á la fibra neutra de las correspondientes piezas, por efecto de la ondulación referida, pierde siempre momento de inercia la sección transversal. Esta circunstancia de resistencia, tenida muy en cuenta en las composiciones de cerrajería de los siglos xv y xvi, cuya gran solidez es debida á que los pasamanos de forjado ó relleno se presentaban de canto y no de plano como en el siglo xvii, unida á que el rizado de los nervios de los hierros no solamente carece de fondo racional, porque equivale á deshacer la rectilínea forma de fabricación dada por el laminador, sino que dificulta y hasta puede oponerse al ribeteado que la estructura exija, hace que en definitiva resulte caro y poco lógico el citado tratamiento decorativo.

En las construcciones actuales, y sobre todo en las de carácter industrial, el principio económico de utilización de la materia es de capital importancia; por consiguiente, débese en las *charpentes* hacer rendir al hierro toda su sección de trabajo. Á este fin, los mismos efectos de luz y sombra producidos por el rizado de nervios, puédense alcanzar adosando á éstos, y á lo largo de toda la forma, un delgado pa-

samano, ó un sencillo fleje metálico retorcido en hélice, tratado con ondulaciones, formando lazos, etc., etc. Pero este procedimiento, que al extenderse tiene la ventaja de permitir fantasear á la decoración yuxtapuesta, contraviene en cierto modo, por esto mismo, al arte sereno y natural que debe desprenderse espontáneamente de los elementos constituyentes de todas las estructuras.

*
* *

La tenacidad del hierro autoriza, desde luego, la delicada esbeltez de las formas constructivas (fig. 63); puédese, pues, el artista entregar á la resolución de éstas sin preocuparse de revestir sus elementos, ó sean las barras comerciales, de ningún artefacto decorativo. La doble faja de luz y sombra que invariablemente dibuja todo hierro de perfil racional por efecto del ángulo que forman sus nervios ó alas; la ductilidad del metal que permite la fácil arcuación en volutas y lazos, así como la conservación de estas formas una vez doblado el hierro á las mismas; el lógico efecto del ribeteado que acentúa con las alineadas series de puntos brillantes, debidos á la esfericidad de las cabezas de los redoblones (fig. 64); la dirección y consolidación de los elementos empleados, y, en fin, la inexplicable pero maravillosa armonía del hierro con los materiales pétreos y vidriados que abundan siempre en toda construcción, son elementos sobrados para resolver con arte y razón los múltiples programas de nuestros edificios actuales. Realmente, los entramados verticales que forman la estructura resistente de algunos muros; los chasis ó marcos de las grandes aberturas que el comercio, la higiene y las necesidades del día reclaman; la protección contra la lluvia y soluciones del desagüe que reúnen las marquesinas; el dispositivo entero de una instalación elevatoria, ascensor ó montacargas; la solución de las grandes voladas de tribunas y cuerpos



Fig. 63. Ejemplo de forma ornamental exclusivamente alcanzada con el empleo del hierro laminado
(Proyecto del autor de estas Conferencias)



Fig. 64. Efecto decorativo industrial alcanzado por la sencilla ostentación de estructura ribeteada

(Proyecto del Arquitecto Mr. Chedanne, Paris)

avanzados de una construcción, etc., sólo pueden ser artísticamente resueltos con esbeltez y mínimo volumen por el hierro. El hierro comercial es, pues, un elemento interesantísimo en el orden de arte, por prestarse á exigencias y programas muy frecuentes, que ningún otro material de construcción es capaz de llenar.

*
* *

Uno de los primeros hombres en comprender la notable cualidad artística en el hierro de perfil racional, ha sido el arquitecto M. Louvet, que ha plasmado en la célebre escali-

nata del Grand Palais des Beaux-Arts, de París, todo un poema artístico en hierro laminado. Realmente, de este modo puede calificarse la infraestructura (fig. 65) del rellano volado y de las gradas que conducen á la galería del citado Palais, pues el complicado haz de hierros ángulo y T, espontánea y gra-

ciosamente desprendidos de las columnas de pórfido que sostienen la escalera, su entrelazamiento grandioso, pero fácil, y la franca ostentación de sus ribeteados y ensambladuras, revelan vigo-



Fig. 65. Detalle de la faustuosa decoración en hierro laminado de la infra-estructura de la gran escalinata del Palais-des-Beaux-Arts, París
Obra de Mr. Louvet

rosamente el arte espléndido y la casi sumptuosa decoración á que se presta el hierro armado de nuestras *charpentes*, cuando se le somete al citado tratamiento.

Este género de decoración encuentra además fecundos medios de enriquecimiento en la justa aplicación de algunos principios que voy á reseñar.

El ribeteado puede en ciertas regiones acusarse firmemente por medio de arandelas que aprisionaran contra la forma los mismos remaches, cuyas cabezas harán entonces el efecto de botones de flor, al estampar aquellas arandelas con un molde esférico de perfil lobulado.

Los hierros comerciales en los extremos de la forma

constructiva, ó en los sitios de los empalmes, podrán campear airosoamente en el espacio, y si previamente en estas regiones se cortan longitudinalmente dichos hierros á lo largo de las aristas de unión de sus alas, se obtiene como una esfoliación, ó un haz de cintas metálicas, que se presta admirablemente á la formación de lazos y otros motivos de alto grado ornamental.

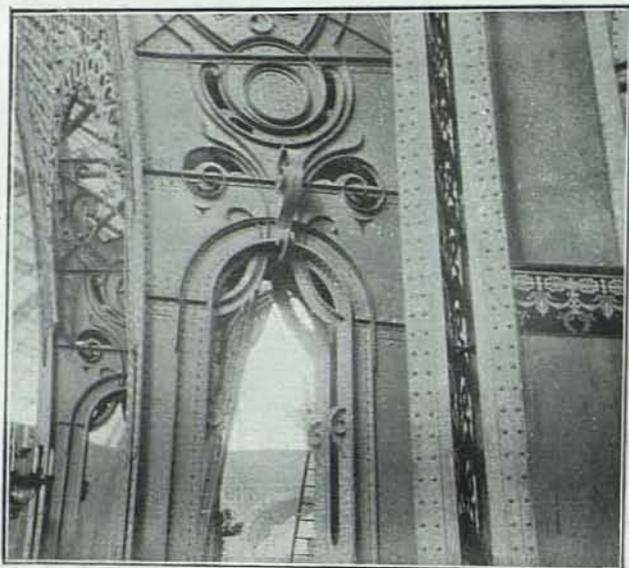


Fig. 66
Pies derechos de la gran cúpula del Palais des Beaux-Arts, París
tratados por la evolución decorativa
del hierro comercial sobre las almas llenas

La evolución de los nervios ó elementos metálicos que estructuran una forma resistente, puede también tener lugar si-

guiendo las superficies planas ó desarrollables materializadas por los palastros (fig. 66), ó planchas de dicha forma, con lo que se resuelve racionalmente el doble problema (de resistencia y decoración), toda vez que se refuerzan así las almas llenas de las vigas, pies derechos, etc., por medio de los hierros en ángulo ó en T que se aplican sobre las mismas con el correspondiente ribeteado, obteniéndose, á la par, una elegante y discreta ornamentación. La aplicación de algunos hierros que se salgan del plano ó superficie general de la forma, en convenientes puntos, y retorcidos además en voluta ó lazo, coadyuvará al embellecimiento de la obra, resolviéndola de una manera más compleja, es decir, en el espacio.

Si los palastros que forman las almas llenas de las formas se taladran en las regiones en que lo permita la poca intensidad de los esfuerzos cortantes, pueden obtenerse hermosos efectos de decoración por el simple contraste entre manchas negras y blancas, correspondientes las primeras á las figuras taladradas ó recortadas en la plancha, y las segundas al macizo restante de dicha plancha, ó al revés, según sea la dirección de la luz. Las siluetas resultantes de esta oposición entre macizos y huecos pueden vigorizarse, es decir, delinearse con más precisión, bordeando al efecto los taladros practicados, con fajas roblonadas de hierro en ángulo, en T, ó en U.

Otras veces, los palastros de las almas llenas, en sus terminaciones, ó en otros puntos convenientemente escogidos, pueden abandonar los restantes hierros con los que estructuran forma resistente, y al efecto, evolucionando con libertad, y si se quiere, previamente recortados según ciertos contornos, engendrarán arrollos cilíndricos ó helizoidales, con lo que tomará relieve y arte la forma, enriqueciéndose ésta extraordinariamente. Los cuchillos del frontis de la Nouvelle Gare des Brotteaux, de Lyon (que se está construyendo), están así tratados.

*
* *

Todo este tratamiento decorativo, por lo mismo que es función (digámoslo así) de la resistencia de la forma á que se aplique, y que no tiene ningún módulo ni molde á que ajustarse, posee todas las características de la ciencia y además de las artes personales, circunstancias que avaloran, ciertamente, tal género de decoración, haciéndole altamente digno de profundo estudio. Por otra parte, nace tal sistema decorativo exclusivamente de la estructura de la *charpente*, se elabora simultáneamente con ésta en el propio taller de calderería, y, por consiguiente, tiene todas las garantías de

un arte completo, análogamente á lo que sucedía con el arte helénico: los griegos no concebían la decoración con independencia de la estructura; la íntima armonía y compenetración entre estas dos partes originó la serenidad hermosa de la arquitectura clásica, falseada después en Roma con la decoración *aplicada, independiente*, por efecto del revestimiento de las moles romanas con mármoles y otros elementos.

Podemos deducir de aquí que, aun admitiendo que por ser tan reciente el tratamiento decorativo del hierro de perfil racional no haya llegado tal vez á alcanzar la perfecta expresión del arte, sigue, sin embargo, la orientación precisa para constituir en lo futuro una sólida y genuina rama de la arquitectura industrial.

*
**

Donde con más intensidad y multiplicación de ejemplos vemos aplicada la decoración del metal por el mismo metal, es en París. El arte de la construcción francesa tiene precisamente su característica en el aprovechamiento decorativo de las formas y propiedades de los materiales de construcción, en el perfecto acuerdo entre el destino y la composición, y en el general sello de ornamentación que revisten todas las obras. No es, pues, extraño que al calor de este ambiente haya nacido el arte de hermostear las *charpentes*, habiéndose además desarrollado con una elegancia y justicia irreprochables.

Baltard, aunque tímidamente, con la osatura en fundición de la iglesia de San Agustín, y Labrouste, con más firmeza en las Bibliotecas Nacional y de Santa Genoveva, junto con otros, ingresaron el metal de construcción en la esfera de la arquitectura. Pero el verdadero engendro de la *chaudronerie* artística tiene lugar en 1889 con la portentosa intensidad de las Exposiciones Universales de dicho año y subsiguientes.

La ordenancia y geometrización de las formas que componen el frontis de la Galería de Máquinas y los detalles de composición de la Torre Eiffel, constituyen un verdadero embrión de la decoración en hierro laminado, encontrándose ya después el

desarrollo casi completo en la notable estructura cupular del Grand-Palais y en su hermosa escalera antes mentada. El franco desenvolvimiento de este arte es, sin embargo, aún más reciente, como nos lo demuestran claramente la gran composición (fig. 67) y

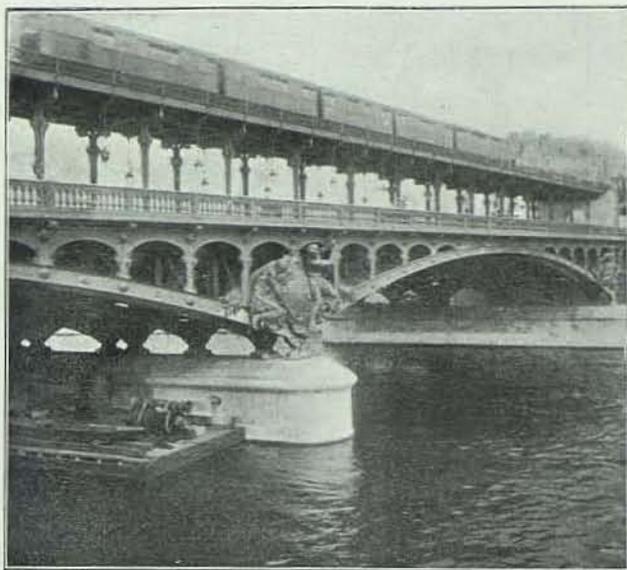


Fig. 67. Viaducto de Passy

Grandiosa y reciente composición monumental de acero laminado. París

las formas nuevas del célebre viaducto de Passy, y las sentidas estructuras de algunos modernos almacenes comerciales, entre los que se cuenta « La Samaritaine », cuyas cúpulas (figs. 68 y 69) (sólo hay una terminada en la actualidad) muestran todo un poema artístico, inducido por la industria del laminaje metálico, al arquitecto Frantz Jourdain. Otro ejemplo de análoga intensidad lo constituirá el gran elipsoide escaleno, hoy en construcción, proyectado por Pascal, destinado á cubrir la sala pública de lectura de la Bibliothèque Nationale (fig. 70).

Las composiciones en hierros laminados pueden, en ciertos casos, enriquecerse con la oportuna asociación del hierro



Fig. 68. «La Samaritaine», París
Cúpula decorativa de hierro laminado con sus formas resistentes trasdosadas
Obra de Frantz Jourdain

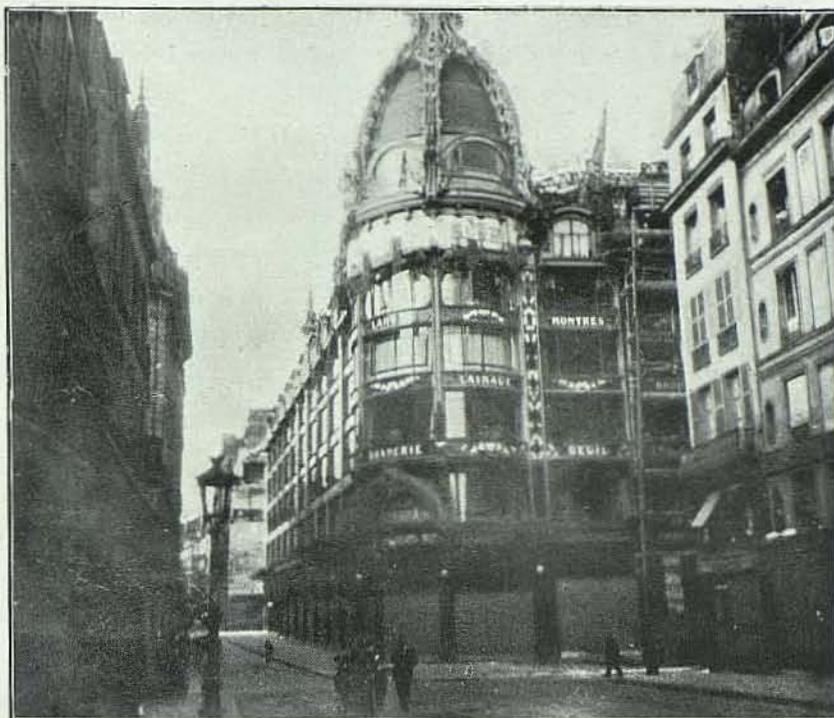


Fig. 69. « La Samaritaine », París
Ángulo del edificio compuesto y decorado con hierro de perfil racional
Obra de Frantz Jourdain

fundido, pero debiendo siempre figurar éste racionalmente y por exigencias de estructura, mas nunca como elemento de aplicación, es decir, como adorno sobrepuesto. La hermosa composición del Viaducto d'Austerlitz (Metropolitano de París), deja algo que desear precisamente en la región decorada con revestimiento, ó aplicación de motivos en hierro fundido independientes de la estructura; ¡cuánto mejor hubiese resultado dejar el arco completamente desnudo, con toda la fiereza de su atrevido perfil y prescindir por completo de la decoración aplicada!

El empleo de la materia en este último sentido, contra- viene en cierto modo al verdadero arte en general, pero más

especialmente al ingenieril, cuya perfección estriba precisamente en utilizar las propiedades de los materiales para los efectos de la construcción, sin preocuparse de la decoración; ésta debe resultar, de una manera exclusiva, por la franca

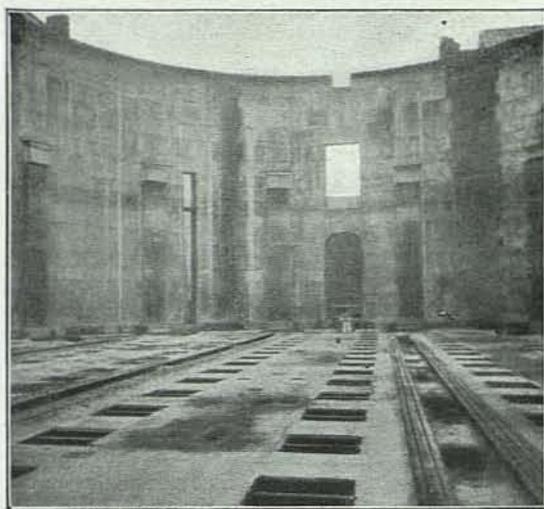


Fig. 70. Sala de lectura, en construcción de la Bibliothèque National de Paris, que irá cubierta con un monumental elipsoide escaleno de hierro armado, decorado
Proyecto de Mr. Pascal

ostentación de aquellos materiales, tratados, si se quiere, con arte, pero discretamente y con arreglo siempre á sus cualidades.

Por esto es que, bien sea por exigir la estructura una multiplicación de formas iguales, bien porque la comprensión á que trabajen ciertos elementos lo indique, bien por la conveniencia de tabicar espacios con

placas, etc., etc., vendrá completamente indicado el empleo de la fundición, cuya fácil moldeabilidad, y de un modo especial con los perfeccionamientos de la actual fundería, permitirá la realización de complicadas formas constructivas con un grado de decoración tan elevado como se desee. Esta decoración resulta así justificada y altamente económica.

Tenemos un bello ejemplo de elegantes composiciones así resueltas, en los pabellones de entrada á las estaciones (figs. 71 y 72) del ferrocarril Metropolitano de París, que resultan impregnados de todo el sabor artístico industrial que se viene imprimiendo á las construcciones modernas.

*
* *

Y ahora permítme que para aclarar el orden de cuanto sobre la «Decoración en el hierro armado» llevo dicho, haga un brevísimo resumen que nos conducirá á las conclusiones sobre este tema.

Vimos primeramente, después de hojear la historia de la cerrajería artística, como á fines del siglo XVIII eran ya conocidos todos los procedimientos decorativos del tratamiento del hierro en construcción. Los diversos tipos de ensamblajes y los métodos del forjado, estampado y repujado, fueron sucesivamente evolucionando hasta alcanzar á la fundería que inició el arte de la gruesa construcción metálica.



Fig. 71

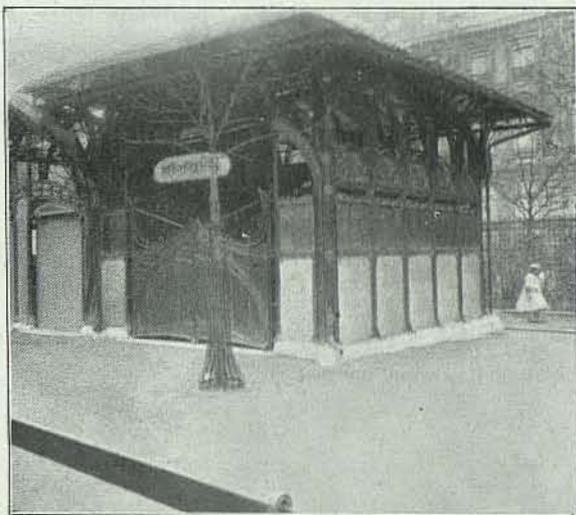


Fig. 72

Las figs. 71 y 72 representan los pabellones de entrada á estaciones subterráneas del ferrocarril Metropolitano de París

Construidos en metal y decorados por tratamiento del mismo en combinación el hierro laminado con el fundido

Por lo que atañe á la decoración, experimenta en este punto el metal un largo período de calma ; no sólo no se introduce ningún nuevo procedimiento ornamental, sino que el hierro llega á evocar la impresión de un verdadero retroceso artístico al presentarse á resolver la arquitectura con sus atrevidas formas de idealidad no comprendida. No obstante, la continuidad de ejemplos, en los que destacaron algunas inspiradas composiciones, como la Bours d'Anvers, la Biblioteca de Santa Genoveva, etc., van después manifestando el expresivo lenguaje del hierro fundido decorado, aplicado á la construcción.

La gran ley del arte que produce la belleza de una composición por sólo la armonía entre la forma de ésta y las cualidades de la materia empleada, va haciéndose también cada vez más asequible, y llégase por fin á aplicarla al mismo hierro laminado, cuyas barras, al aparecer en el comercio con su sequedad y uniformismo de perfiles, parecían repudiar todo tratamiento decorativo y servir estrictamente como elementos de resistencia sin expresión alguna de sentimiento artístico.

Primeramente por aspecto general de composición, y después por tratamiento en detalle, lógrase despertar en el hierro de perfil racional la dormida expresión del arte que entrañan las rígidas barras salidas del tren de laminación, cumpliéndose así la ley de que en construcción no hay material sin arte, y que éste depende del tratamiento que se dé á aquél.

Los profundos principios de composición metálica, de Resal, admirablemente manifestados en el Palmarium del Palais d'Hiver, de Pau, en el conjunto del Pont Mirabeau, de París, y en otras construcciones, demuestran los sentidos y armoniosos aspectos de las grandes *charpentes*, al ser éstas trazadas bajo dichos principios.

Y por fin, los tratamientos decorativos, en detalle, del metal por el propio metal, nos ofrecen francos medios de hermohear las estructuras sin artificios ni adminículos de ninguna clase, utilizando á tal efecto las propias formas es-

tructurales, cuya tenacidad y maleabilidad de elementos autoriza la evolución de éstos en atrevidas líneas, y el taladro de sus almas en ornamentales siluetas, resultando, en definitiva, los siguientes procedimientos de decoración en el hierro laminado :



Fig. 73. Armonía decorativa resultante de la combinación entre la fundición, el vidrio y el hierro laminado
Aplicación á las estaciones del Metropolitano de París

Por rizado de sus alas; por yuxtaposición de pasamanos ó flejes ondulados y con lazos; por adición de arandelas de flor en el ribeteado; por curvado en el espacio y esfoliación de los extremos de las barras; por curvado sobre los palastrós de las almas llenas, bien formen éstas planos, bien superficies desarrollables, como, por ejemplo, en zancas de escaleras de ojo curvo; por arrollo ó evolución general de planchas ó placas; por taladro de éstas ó de las almas llenas, obteniéndose contrastes entre hueco y macizo, cuyas siluetas se pueden acentuar con hierros ribeteados á los contornos, etc.

Hemos visto también la génesis francesa de estos interesantes procedimientos de decoración, genuinamente industriales, observando sus intensas y frecuentes manifestaciones en algunas construcciones de París.



Fig. 74. Composición en hierro y vidrio
Manifestación completa de la estructura existente en un
almacén comercial de la calle de Reaumur, París

El empleo de formas decorativas moldeadas en fundición, discreta y oportunamente asociadas á las estructuras de metal laminado, ha sido otro medio á que se ha podido recurrir para el embellecimiento de las construcciones de hierro. La fundición y el hierro comercial armonizan admirablemente (fig. 73) con el resto de los materiales principales de todo edificio ú obra: la piedra ó ladrillería y el vidrio, resultando en conjunto, una composición así erigida, con una marcadísima expresión de arte industrial.

Este arte, hemos podido colegir por todas las observaciones y ejemplos presentados, que resulta espontáneamente de