

La finalidad de este artículo es el comentario crítico de la parte de la obra «De la Arquitectura Civil» dedicada a la carpintería, a la luz de los conocimientos que tenemos hoy en día. El texto original se ha dividido en tres partes: carpintería y calidades de madera, resistencia de la madera y elementos constructivos. Para facilitar la lectura, paralelamente a él se han incluido los siguientes comentarios.

El texto comienza con la observación de que la madera presenta grandes variaciones en sus propiedades en función no sólo de la especie, sino de la ubicación del árbol y de la parte del mismo (640). Diferencia en el árbol tres partes: corteza, albura y el corazón o madera. Este último término equivale en la actualidad duramen. En esa época sólo consideraban madera, al duramen, como algo útil para emplearse en la construcción, la albura es una clase inferior a la madera. Sin embargo, a pesar de las buenas intenciones que presentan estas ideas, también en esa época se utilizaba la albura en la madera de construcción; hecho del que se queja Bails, más adelante.

La carpintería en el TRATADO DE ARQUITECTURA CIVIL de Benito Bails

FRANCISCO ARRIAGA MARITTEGUI
DR. ARQUITECTO



I. Carpintería y calidades de madera

De la carpintería

638 La carpintería de la qual vamos á tratar es la que se exercita en obras de afuera, distinta de la que llamamos carpintería de taller. El material que gasta la primera, y la otra también, es la madera, acerca de la qual tenemos algunos puntos que averiguar, antes que manifestemos su uso en la Arquitectura. Porque es muchísimo lo que este material influye en la duración de las fábricas; siendo la ruina de las mas de estas consecuencia forzosa de los vicios de aquel. Sirve para suelos, armaduras, tabiques, entramados de paredes; trabaja tanto, que se puede asegurar que está en continuo movimiento; con las inclemencias del tiempo se encoge, ensancha, tuerce, dobla, &c.

De la madera

639 Manifestaremos 1.º su calidad; 2.º su resistencia; 3.º sus dimensiones; 4.º sus usos.

Calidades de madera

640 Nadie ignora que la madera se saca de los árboles, pero también es cierto que no todos los árboles crian madera adecuada á los fines de la Arquitectura, y que se reparan diferencias notables en las maderas que se sacan de árboles de una misma especie, segun los parages

donde se crían y otras circunstancias. En todo árbol hay, por lo que hace á nuestro asunto, tres cosas que considerar, y son la corteza, la albura, y el corazón ó la madera; en cuyo centro se halla una sustancia inutil ó meollo que los Naturalistas llaman cuerpo tomentoso, y viene á ser en los árboles, lo que el tuétano en los huesos de los animales: en el saúco y el sarmiento es muy reparable esta substancia. Lo único que sirve en la Arquitectura es la madera, por ser la parte mas hecha y firme del arbol; la corteza la aprovechan los curtidores; la albura, que es una madera á medio quajar, solo puede servir para la lumbre.

641 La edad de los árboles influye mucho en la calidad de la madera; porque les sucede á estos vegetales lo propio que a los animales, los cuales necesitan de algun tiempo para llegar á un estado de madurez y robustez perfecta, antes del qual no tienen todo el aguante necesario, y una vez pasado este tiempo van continuamente en decadencia. Para conocer la edad de un arbol, se le aserrará por el pie tan á nivel como se pueda, y se contarán los círculos que hubiere al derredor de su tronco, los cuales suelen ser mas reparables del lado del cierzo (*Norte*); y quantos círculos se contaren, empezando desde el centro, tantos años tendrá el arbol; porque convienen todos los Naturalistas en que los árboles crían cada año una capa de madera.

642 Tambien es muy del caso atender á la estación en que conviene cortar los árboles á fin de que sea de buen uso su madera; la estación mas oportuna es por Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero, en cuyos meses teniendo los árboles menos jugo y humedad, están menos expuestos á pudrirse y carcomerse. «Si los robles se cortan en el verano, dice Alberti (lib. 2. cap. 4.) se hacen carcomientos; pero si los mismos se cortan en invierno, no se vician, ni se abren. «Fuera de que entónces la albura está mas íntimamente unida á la madera, y hace mas cuerpo con ella, que no en las otras estaciones.


643 Para que la madera de los árboles se ponga muy sólida, ó, por mejor decir, para que un arbol dé mas madera y de mejor calidad, no hay cosa mas acertada que descortezar su tronco al tiempo de la sava (*primavera*), dexándose así descortezado en pie hasta que se muera, lo que sucede al cabo de tres ó quatro años. Con esta práctica, que se sigue en Francia, Inglaterra y Alemania, se logra madera mas dura, y el arbol llega á ser un sextavo mas corpulento (Camus Force des bois pag. 114); la albura se pone tan compacta, y tan dura en un año como la madera de un arbol sin descortezar, y como llegaría á serlo al cabo de quince años. Muchísimos experimentos evidencian que la madera de los árboles descortezados es de mas peso y resistencia que la de los otros; prueba incontrastable de que en igualdad de circunstancias, quanto mas pesare un madero, tanto mayor carga aguantará. Pero hay en esto una circunstancia muy particular, y es que siendo así que en los árboles sin descortezar la madera del pie es mas pesada que la del medio, en los descortezados sucede todo lo contrario.

644 Para mejorar la madera se valian los antiguos de otros medios, que tambien aconsejan algunos modernos: aserraban el arbol por abaxo hasta el centro, le dexaban así aserrado en pie algun tiempo, para dar lugar á la humedad o jugo de irse escurriendo.

Hombres curiosos é infatigables siempre que se trata del bien comun han cotejado, sin perdonar gasto alguno, el método de descortezar los árboles con el de dexarlos aserrados en pie, y han hallado que el primero es de mayor beneficio para sacar madera mas dura y de mas resistencia. Fuera de que por ser muy dificultoso se mantenga en pie un arbol medio aserrado, y muy fácil que el ayre le derribe, está expuesto á rajarse y abrirse al tiempo de venirse al suelo, y se corre riesgo de desperdiciar mucha madera.

645 Según el parage donde se criaren los árboles y otras circunstancias, tambien será su madera de mejor ó peor calidad. Porque si fuese mucha su altura, si estuviesen muy espesos, se criaren en terreno pingüe, y no les diese bien el sol, será su madera muy blanda, y solo servirá para obras de adentro. Pero si se criaren entre grava ó cascajo, en tierra arenosa y pedregosa, principalmente en las orillas de los bosques, será la madera dura y de excelente calidad. Y si los árboles estuvieren malos, les diere muy bien el ayre y el sol, criarán madera de particular excelencia para fabricar; bien que no servirá para la carpintería de taller, porque hará burla de sus herramientas. Hay quien asegura que la madera de los árboles que están al norte y levante, es mejor que no la de los que miran al mediodía y poniente.

646 Quando no sea posible averiguar por medio de las circunstancias expresadas la bondad de la madera, hay otros medios para salir de dudas. Echese un poco de aceyte de aceytuna muy caliente á uno de los extremos del árbol; si se hubiese criado en terreno pantanoso, el aceyte chasqueará al echarle; si se hubiese criado en terreno blando, y le hubiesen cortado quando estaba en sava, el aceyte no se introducirá igualmente en todas partes, se quedará ácia las orillas de la cabeza del arbol sin calarla; si al contrario se hubiese criado el arbol en parage seco, y le hubiesen cortado en la estación que es poco su jugo y como muerto, el aceyte calará en todas partes y luego se secará. La madera que por esta prueba se conociere haberse criado en parages pantanosos, no deberá gastarse en sitios húmedos y expuestos á la lluvia, porque se pudrirá en breve tiempo. Tampoco será bueno emplearla en parages donde dé mucho el sol, porque con el calor la humedad de que está como empapada la raja, conforme se repara todos los días, no solo en las fábricas que están á la inclemencia, mas tambien en obras interiores. Pero como no siempre tiene el carpintero á su disposición madera buena, y le es forzoso gastar tambien ruin, procurará emplear la mejor, esto es la ménos húmeda en los parages mas




La época conveniente para la corta de los árboles, es un tema constante preocupación en los tratados de carpintería. Aproximadamente 1800 años antes, Vitruvio exponía el mismo asunto y con el mismo sentido en su tratado «Los Diez Libros de Arquitectura». Sobre la base científica que puede haber detrás de esta costumbre puede consultarse el artículo «Los diez libros de arquitectura y la carpintería» publicado en el boletín nº 180 de AITIM.

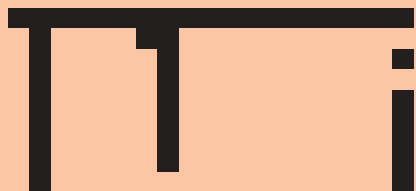
Para mejorar la calidad de la madera e incluso la calidad de la albura, se proponen dos métodos; el primero consiste en descortezar el árbol en pie y el segundo en aserrar hasta la mitad el árbol y dejarlos algún tiempo hasta su muerte (643 y 644). También esta técnica era descrita de forma similar por Vitruvio.

Bails asegura que la madera resultante tiene más densidad y resistencia que la que no sufre esta muerte en pie.

Incluso se apoya en la existencia de «muchísimos experimentos» que lo evidencian. Es probable que la madera del árbol muerto en pie, tenga menos problemas en el aserrado debido a una relajación de las tensiones internas que pudiera tener en pie, lo cual se traduce en un producto de mejor calidad. Pero no se encuentran fácilmente razones que justifiquen un aumento de la densidad ni de su resistencia.

La influencia del lugar donde crecen los árboles, en la calidad de la madera que producen se relaciona en el texto con el tipo de suelo y la orientación y soleamiento (645). Este hecho sí puede tener base científica que justifique diferencias de densidad de la madera y por tanto de sus propiedades. El experimento que recomienda para conocer el origen del árbol, consistente en verter aceite caliente sobre la testa del tronco (646),





parece basarse en el contenido de humedad de la madera, que en función de su tasa permite la mayor o menor penetración del aceite. En todo caso no siempre estará relacionado con el suelo donde crecía el árbol, es decir, como poco su eficacia es dudosa.

El término «madera recalentada» se emplea en el texto para referirse a la pudrición y resultan de cierto interés las observaciones que se realizan sobre cómo evitar la pudrición en las entregas en los muros (650). La madera, dice, «nunca deberá tocar la mezcla ni el yeso, porque uno y otro material recalientan la madera». Incluso recomienda dejar agujeros de ventilación. Evidentemente, no es el yeso o el material con el que se fabrica el muro, el que origina la pudrición, pero sí permite en ciertos casos mantener un grado de humedad elevado y suficiente para el desarrollo de los hongos.

Como procedimiento muy sofisticado para la protección de la entrega en el muro recomienda recubrir la parte de la pieza que entra en el muro con una chapa de plomo de una línea o línea media (2 ó 3 milímetros) de grueso. Para permitir la ventilación se dejarán algunos huecos en los laterales que se rellenarán en parte con clavijas o astillas de madera. Este procedimiento debía ser tan utópico, que Bails califica de «artífice muy mirado», al que siguiera esta práctica. Finalmente, comenta las propiedades y características de las principales maderas en construcción (roble, castaño, pino y álamo) y las relaciona con los usos más adecuados. De esta parte, lo más destacable es la escasa información que aporta para cada madera, hasta el punto de no diferenciar ninguna especie dentro de los pinos.

importantes de la fábrica, y la otra en los parages de poca consideración; teniendo presente que la madera corpulenta, quando tiene vicios, se abre con mas facilidad que la delgada. Por consiguiente es de muchísima importancia quando se necesiten vigas, buscarlas de la mejor madera que pueda encontrarse, para precaver la necesidad de hacer algún reparo muy costoso, si llegase el caso de falsear la obra por la mala madera de la viga.

647 No siempre debe gobernarse el carpintero por las apariencias en la elección de la madera, porque hay piezas que después de escuadradas parecen sanas, bien que tienen dañado el corazón. El que no quisiere llevare este chasco, haga dar golpes con el dedo ó un martillo en uno de los extremos del madero, teniendo el oído arrimado al otro extremo; si oyere un ruido sordo, deberá inferir que está dañada la pieza; y será de buena calidad si arrojaré un sonido claro.

648 Los árboles recién cortados no sirven para los edificios: es necesario darles tiempo de consolidarse y despedir toda su agua, y esto se logra dexándolos arrimados en pie á alguna pared ó árbol; pero siempre que se pueda, lo mejor será guardar la madera á cubierto dos ó tres años antes de emplearla, particularmente si se hubiese criado en sitio húmedo, porque esta corre mas riesgo de hacer vicio y rajarse. Ha manifestado la experiencia que un madero de roble de catorce pulgadas cúbicas recién cortado pesa setenta y una libras, al cabo de un año no pesa sino sesenta, y quando está muy seco viene á quedarse en quarenta libras.

649 «Las partes que están mas llegadas al meollo, dice Alberti (lib. 7) estas son mas duras y densas que no las demas... la parte del madero por la mas mala de todas tienen que es la blancura». Síguese de aquí que es sumamente necesario quitarla de la madera, conforme aconsejan todos los Autores, toda la albura, porque la que se la dexase será causa de que se pudra y carcoma; siempre que la madera se echa á perder, empieza el daño por la albura, desde donde va cundiendo la carcoma hasta el centro. También la madera de buena calidad, se echa á perder si el árbol del qual se sacó fué combatido de ayres recios al tiempo que estaba en sava, lo qual se conoce en que se cria una especie de moho en la parte de afuera.

650 La madera recalentada tiene el defecto que la van saliendo poco á poco manchitas blancas, negras y rojas, y parece podrida. Pero es cosa singular que si junto á un madero dañado se arrima otro sano, este se contamina con el tiempo. Por esta razón quando se asienta un madero es preciso apartarle de todo cuerpo que le puede dañar, procurando que las piezas principales ó maestras, quales son las vigas, las carreras, &c. nunca jamas toquen la mezcla ni el yeso, porque uno y otro material recalientan la madera. Por lo menos será muy del caso dexar en los parages donde se asentasen las entradas de las vigas, algunos agujeritos con el fin de que las refresque el ayre; y procederá como artífice muy mirado el que cubriere las entradas de las vigas y demas maderos grandes de chapa de plomo de línea o línea y media de grueso, dexando algunos huecos en los lados que llenará, bien que no del todo, con clavijas ó astillas de madera; porque por poco ayre que por allí se introduzca se mantendrán sanas las entradas de dichos maderos.

651 Son muchos los árboles cuya madera puede servir para la arquitectura. El primero es el roble, cuya madera es excelente para pilotage, porque no solo se conserva, sino que se pone mas dura todavia dentro del agua. Los robles mejores son los que no tienen menos de cien años, ni mas de doscientos; porque, segun aseguran varios escritores, tarda este árbol cien años en crecer y llegar á perfecta robustez, se mantiene cien años en este estado, y los otros cien años que siguen no hace sino desmejorarse y perecer ¹. Y así, tiene mucho calor y fortaleza, lo que suele ser la causa de rajarse de arriba abaxo; y así que pasa de doscientos años, empieza á faltarle el alimento, se calienta facilmente por causa de su sequedad, por lo que se echa á perder en poco tiempo y cría carcoma. Consta de repetidos experimentos que el roble cortado en oportuna estación dura quinientos ó seiscientos años en los edificios que no están muy expuestos á la inclemencia, y que pilotes de roble plantados para afirmar cimientos de fábricas duran hasta mil y quinientos años ².

652 El castaño es tambien a propósito para la carpintería; su madera es sumamente fácil de escuadrar, y no se carcome; pero si se le empotra en la mampostería, como se suele practicar con las entradas de las vigas, no sirve ³.

653 El pino es tambien muy útil para fabricar; pero tiene el defecto de ser carcomiento, y calentarse mas facilmente que otra madera; sin embargo consta, conforme diremos despues, que es mas fuerte que el roble. Es tambien muy derecho, muy ligero, mas largo y mas facil de labrar, por cuyas circunstancias se hace mucho uso de esta madera en toda Europa. Solo en París es despreciada esta madera, y se le multaría al carpintero que la gastase, y echaría abaxo la obra (Mesange trait. de Charpent, tom. 1. pag. 21. nota a). Las razones en que la Policía de aquella Capital funda esta prohibición, son el peligro del fuego, la poca resistencia de las espigas, en las quales se mantienen los clavos con dificultad, y la suma facilidad con que se pudren las entradas de las vigas, &c. de pino empotradas en la mampostería. Pero en las Provincias de Francia no se paran en esto, bien que gastan esta madera con circunspección, sin espigas, lejos de las chimeneas, y en los parages donde no hay cielos rasos.

654 El álamo puede servir para armaduras; pero tiene el mismo achaque del castaño, que es carcomerse en poco tiempo, quando va empotrado en la mampostería.

II Sobre la resistencia de la madera y el dimensionado

Resistencia de la madera

655 La madera ó los maderos que gasta la arquitectura son, como nadie ignora, unos cuerpos ó piezas largas, cuyo nombre y forma varía la figura de la superficie de sus extremos ó cabezas. Todo madero cuya cabeza tiene circular su superficie, porque no ha llegado al arbol otra herramienta que la que le cortó, ni se le ha hecho mas operación que descortezarle, es redondo, y la madera de esta forma se llama madera rolliza. Quando despues de cortado el arbol se le quitan quatro costeros, y queda rectángula la superficie de su cabeza, el madero se transforma en un paralelepípedo, y la madera de esta forma se llama esquadrada y también enteriza si se gasta así. Si ademas de ser rectángula la superficie de la cabeza fuere quadrada, serán iguales todas unas con otras las quatro caras longitudinales del madero; pero quando la expresada superficie fuese un quadrilongo, tendrá el madero dos caras longitudinales opuestas mas anchas que las otras dos tambien opuestas, llamándose tabla la cara ó dimension mas ancha, y canto la mas angosta. Como la superficie de todo cuerpo con la qual toca otro sobre el qual está asentado, se llama su basa, y altura su superficie perpendicular al asiento; tambien llamamos basa de todo madero su canto ó su tabla, conforme estuviere asentada sobre la menor ó mayor de sus superficies longitudinales, y altura la cara perpendicular á la que le sirve de asiento.

656 La solidez ó cubo de todo madero se saca, como nadie ignora, multiplicando su canto por su tabla, y el producto que de aquí sale se multiplica por su longitud: este último producto es el cubo del madero. De aquí se sigue que dos maderos de igual longitud pueden tener un mismo cubo, y discrepar uno de otro en canto y tabla, conforme lo manifiesta el exemplo siguiente. Supongamos dos maderos de igual longitud, que el uno tenga tres pulgadas de canto y ocho de tabla; y el otro tenga quatro pulgadas de canto y seis de tabla, claro está que con ser de distinto canto y tabla, son de un mismo cubo ó sólido.

657 Esto presupuesto, consta que si dos vigas ó maderos de igual longitud y canto, pero de tabla diferente, van asentado de canto, aguantan cargas que son como los cuadrados de sus tablas ó alturas. Así, si ambos maderos tuviesen de largo quince pies, seis pulgadas de canto, y fuese la tabla del uno nueve pulgadas, y la del otro ocho, la carga que el primero aguantará será á la que aguantaría el otro como ochenta y uno, quadrado de su altura nueve, á sesenta y quatro, quadrado de la altura del segundo. También consta que si dos maderos fuesen de igual canto y tabla, pero de distinta longitud, el que mas largo fuere resistirá menos en la misma proporción. Síguese de aquí,

1.º que es práctica muy acertada asentar los maderos antes de canto, que de tabla, y gastarlos tan cortos como permitan las circunstancias.

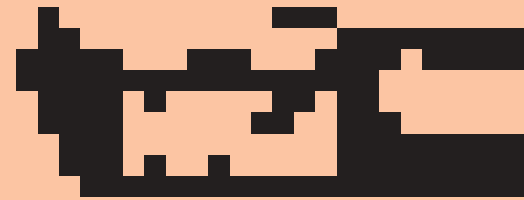
2.º Que quanto más cuadrados son los maderos, tanto menor es su resistencia respecto á su cubo; luego tiene mas cuenta gastar maderos de tabla y canto, que no cuadrados, suponiendo igual todo lo demás.

3.º Que es mala práctica hacer quadradas las vigas, y todo madero cualquiera, pues aunque hay mayor cubo, hay menor resistencia. Para remediar el daño que de aquí se sigue lo mejor sería se valuasen los maderos por su aguante y no por su cubo.

658 Será por lo mismo util poner aquí una regla para hallar la resistencia de un madero, la qual se reduce á tres operaciones. 1º multipliquese la superficie del uno de los extremos del madero, por la altura vertical del mismo extremo; 2º dividase el producto por el número de pies que cогiere la tirantez del madero, y apúntese el cociente; 3º. búsquese un quarto proporcional á la unidad, al número 900 y al cociente hallado, este quarto término expresará la resistencia de la pieza de madera.

Sea, por exemplo, un madera de 12 pulgadas de canto por 15 de tabla, y 30 pies de largo, asentado de canto horizontalmente, estando sus dos extremos ó entradas firmemente aseguradas en dos paredes; para hallar su resistencia, 1º multiplicáremos 12 por 15, el producto 180 pulgadas será la superficie de su cabeza; 2º multiplicáremos 180 por 15, altura ó tabla del madero, el producto será 2700, y dividiéndole por 30, que son los pies que coge la tirantez de la pieza, saldrá el cociente 90; 3º. finalmente, harémos esta regla de tres 1: 900:: 90: 81000, cuyo quarto proporcional está diciendo que el madero podrá aguantar en su medio una carga de 81000 libras.

Si la altura del madero hubiera sido 12 pulgadas en lugar de 15, y la tabla 15 pulgadas en lugar de 12; quiero decir, si hubiésemos supuesto el madero asentado de tabla, y no de canto, hubiéramos tenido que multiplicar 180 por 12, hubiéramos dividido por 30 el producto 2160, y el cociente hubiera sido 72; por manera que con hacer por último la regla de tres propuesta, el quarto proporcional que expresaría la resistencia del madero, hubiera sido 64000, y manifesta-



El texto comienza por definir los términos básicos que se aplican a la forma y dimensiones de las piezas: madera rolliza, esquadrada y enteriza; cara y canto para referirse a las superficies de la pieza y basa y altura para definir su posición; y cubo refiriéndose al volumen. (655-656). Al final de esta introducción expone la relación que existe entre la resistencia de una viga y el cuadrado de la altura de la sección (657), ley ya conocida por los trabajos de Galileo (1638). Así, escribe: «es práctica muy acertada asentar las maderas antes de canto, que de tabla, y gastarlos tan cortos como permitan las circunstancias».

Cálculo de la capacidad de carga de las vigas

En los párrafos 658-662, explica una regla para calcular la capacidad de carga de una viga. En primer lugar determina la carga, P , concentrada en el centro de un vano de una viga de roble con los apoyos supuestamente empotrados (maderos firmemente asegurados en sus extremos). La carga P , en libras, definida por Bails, puede expresarse de la siguiente manera

$$P = 900 \cdot b \cdot h^2 / l$$

siendo b y h la basa y la altura de la sección expresadas en pulgadas y l , la luz en pies.

Si se homogeneizan las unidades a kilopondios y centímetros, la fórmula anterior se transforma en la siguiente

$$P = 685 \cdot bh^2 / l$$

Este cambio de unidades se ha realizado tomando los valores habituales del sistema antiguo de medidas:

$$\begin{aligned} 1 \text{ pulgada} &= 2,3 \text{ cm} \\ 1 \text{ pie} &= 27,8 \text{ cm} \\ 1 \text{ libra} &= 0,46 \text{ kp} \\ 1 \text{ línea} &= 0,1916 \text{ cm} \end{aligned}$$

De acuerdo con la resistencia de materiales, la carga P aplicada sobre el cen-

tro del vano de una viga biempotrada se relaciona con la tensión máxima de flexión, σ , según la expresión siguiente:

$$P = 1,33 \cdot \sigma \cdot bh^2/l$$

Igualando esta expresión con la anterior se deduce una tensión de flexión de 513 kp/cm². Sin embargo, esta tensión no es real, debido a que las expresiones de cálculo empleadas en la época no eran correctas. Cuando se publicó la obra de Bails «Elementos de Matemáticas (1779-1787), el problema de la flexión ya había sido resuelto correctamente por Parent (1666-1716) y posteriormente por Coulomb (1736-1806) en 1773. Según parece el trabajo de Parent era desconocido para Coulomb, cosa que no es de extrañar a causa de la escasa comunicación en esa época y a la poca popularidad que tuvo Parent (véase Precedentes históricos de las resistencia de materiales).

Así, durante el siglo XVIII los ingenieros continuaron utilizando fórmulas basadas en la teoría de Mariotte (1620-1684). En dicha teoría se sobrevalora la capacidad de carga en flexión, deduciendo un valor doble del real. Por tanto, la tensión de rotura a flexión de las vigas, antes calculada, se reduce a la mitad, es decir 256 kp/cm². Este valor es ya más parecido a la realidad.

A continuación Bails, afirma que la capacidad de carga debería reducirse a 2/3 de la anterior, si los extremos no se encontraran firmemente impedidos, es decir, se trata de una viga biapoyada.

Esta reducción no coincide con la realidad, donde la capacidad de carga se reduce en teoría a la mitad. Esta discrepancia se debe, probablemente a que el empotramiento de los apoyos no sería perfecto y, por tanto, no es real la deducción inicial sino la del caso biapoyado. Admitiendo que sus experimentos funcionaban realmente como vigas biapoyadas la expresión de la capacidad de carga sería la siguiente:

$$P = (685 \cdot bh^2/l) \cdot 2/3 = 456 bh^2/l$$



Ilustración del ensayo de flexión de Galileo

ría que el madero aguantaría 17000 libras menos de carga. Todo esto confirma lo que decíamos antes (657).

659 Los experimentos en que va fundada esta regla, se hicieron con maderos firmemente asegurados en sus extremos; y se observó que cuando los maderos no estaban mas que asentados sin sujetar sus entradas aguantaban una tercera parte menos de carga. Proviene esta diferencia de que no puede romperse por el medio un madero, sin que primero se salgan sus extremos ó entradas algun poco de su asiento, como si el madero se enconciera, ó por lo menos sin que la mampostería que carga sobre sus entradas le dé lugar para ello. Por consiguiente, siempre que se quiera que una pieza de madera tenga todo el aguante posible, será preciso asegurar firmísimamente sus extremos, cargarles mucho peso, entregarlos en las paredes opuestas, y sujetarlos con tirantes de hierro.

660 Los experimentos que sirven de fundamento á nuestra regla tambien se hicieron, segun queda insinuado, cargando los pesos en medio de los maderos donde estaban colgados, cuyo modo de cargarlos minora mucho su aguante. El peso que un madero aguanta en una fábrica á veces le carga mas de un lado que de otro, á veces va repartido en toda su tirantez, como quando sostiene tramados de maderos de suelos; de donde se sigue, que para estos casos ha de ser la resistencia de las vigas ó carreras mayor que la que se infiere de los experimentos. Pero veda la prudencia cargarle á un madero todo el peso que puede aguantar; la duración de la obra pide que se le eche en medio la mitad no mas, y menos tambien segun se dirá despues, del peso que se tiene averiguado le rompería, esto es, 40000 libras en el primer caso propuesto antes, y 27000 en el segundo.

661 Lo que dexamos dicho acerca del aguante de una pieza de madera, asentada del modo que mas la perjudica, da luz para apreciar la carga que podrá aguantar en una situación oblicua en el supuesto de estar firmemente asegurados sus extremos. Porque quanto mas se la aparte de la situación horizontal, tanto mayor peso resistirá; finalmente, quando se la plantare en el suelo, muy á plomo y verticalmente, tendrá la mayor fuerza posible, y podrá resistir un peso inmenso. Todo esto da á conocer que en la fábrica de los edificios no se debe dar á los maderos de las armaduras, tabiques y entramados de madera asentados oblicua y verticalmente tanto grueso como á los de los suelos, que van asentados horizontalmente.

662 Ultimamente, prevenimos que nuestra regla va fundada en experimentos hechos con maderos de roble; y para adaptarla á maderos de pino, es preciso hacer otra regla de tres fundada en la diferencia que hay de resistencia entre el roble y el pino. Por los experimentos de Parent y Bellidor se sabe que el pino aguanta mas que el roble, siendo su resistencia á la del roble como 6 á 5; luego si queremos averiguar que peso aguantará un madero de pino de las mismas circunstancias que el madero de roble, el qual por la regla hallamos (658) que puede aguantar un peso de 81000 libras, diremos 5:6 :: 81000 á un quarto término, que será 97200; por consiguiente el madero de pino aguantará 16200 libras mas que el de roble. Es fácil aplicar esta regla á otro caso qualquiera.

Dimensiones de la madera

663 Hagamos aplicacion á la Arquitectura de todo lo dicho hasta aquí.

Si para la fábrica de los edificios se necesitarán solo maderos que con el menor cubo posible

podiesen resistir las mayores cargas, es constante que todos ellos, sean vigas, carreras, &c. deberían asentarse de canto y ser delgados como tablas. Pero requiere la perfecta solidez que tengan los maderos algun asiento; debe determinarse este con algun cuidado, porque tampoco podría dáseles que se doblarian y rajarian. Aunque señalaremos mas adelante las dimensiones de los diferentes maderos contrahidos á los casos particulares que se propondrán, dirémos aqui que basa señala Camus (pag. 261) á los maderos respecto de su largo. A los maderos largos desde 4 pies hasta 7 se les puede dar unas 2 pulgadas de basa; 3 pulgadas 6 lineas á los que tengan de largo desde 7 hasta 14 pies; unas 4 pulgadas 8 lineas á los que sean largos desde 14 pies hasta 21; unas 6 á los que sean largos desde 21 hasta 28; unas 7 pulgadas á los que tengan de largo 28 hasta 32 pies; y finalmente 8 pulgadas á los que tengan de largo desde 32 hasta 35 pies, de modo que sea su basa ó asiento el tercio de su altura; pero no se han de mirar por tan precisas estas dimensiones, que no sufran alguna alteración, segun los casos.

664 Ahora daremos una regla fundada en repetidos experimentos, para determinar la superficie de la cabeza de una viga con respecto á su tirantez.

Sáquese la raíz cuadrada de un número de pulgadas igual al número de pies que ha de tener de largo la viga; hágase el cuadrúplo de esta raíz lado de un paralelógramo rectángulo; la mitad del número de pulgadas igual al número de pies que tuviere de largo la pieza, será el otro lado del mismo paralelógramo; multiplíquese despues uno por otro estos dos lados, su producto será la superficie de la cabeza de la carrera. Busquemos por esta regla las dimensiones de una carrera de 36 pies de largo; sacarémos la raíz cuadrada 6 de 36 pulgadas, el cuadruplo 24 de esta raíz será el un lado el paralelógramo; mulplicarémos 24 por 18 mitad de 36 número de pulgadas, cuya raíz se sacó, el producto 432 pulgadas será la superficie de la carrera. Si 24 pulgadas de tabla por 18 de canto no diesen una buena proporción, se tomará una tabla á arbitrio, se dividirá por ella la superficie 432 pulgadas, el cociente dará el canto correspondiente á la tabla que se hubiese tomado.

Por la misma regla determinaremos el grueso de un madero de 9 pies de largo. Sacarémos la raíz quadrada 3 pulgadas de 9 pulgadas, cuyo quadruplo es 12 pulgadas; multiplicarémos 4 1/2 mitad de 9 por 12, el producto 54 pulgadas será la superficie de la cabeza del madero, el qual tendrá 12 pulgadas de tabla por 4 1/2 de canto. Si en algun caso fuese menester darle menos tabla, pongo por caso 8 1/4; pulgadas, dividiríamos 54 pulgadas de superficie por 8 1/4 y el cociente 6 1/4 pulgadas sería el canto del madero propuesto.

665 Bien se echa de ver que el destino de todos los suelos, para los quales sirven principalmente los maderos, no es uno mismo, pues los hay que solo han de sostener el peso de los muebles y las personas que ocupan un cuarto, y otros sirven para cámaras donde se guardan granos que pesan mucho. Es constante que para ambos casos no pueden ser unas mismas las dimensiones de las vigas, carreras, &c.

Para el primer caso, que es el mas comun, bastarán las dimensiones señaladas. Para el segundo, 1º con las mismas basas se les podrá dar á los maderos la altura que se quiera, menos en casos de carga extraordinaria; 2º las vigas ó carreras están aisladas, ó arrimadas á algun muro; á estas últimas se las podrá dar con el asiento señalado la altura que mas acomode, porque van aseguradas por el lado que están arrimadas á la pared.

666 Los maderos aislados, como vigas, carreras, &c. piden mas cuidado. Casos pueden ocurrir de peso tan enorme, que aunque se les dé toda la altura posible, no tendrán bastante resistencia, entonces se les podrá dar de basa ó asiento un tercio de su altura ó tabla. Si la mayor altura que se les pudiere dar no fuese suficiente, mejor sería acoplar dos maderos de mas tabla que canto, que no dar mayor basa á un madero solo, por la razon declarada antes que quanto mayor es el asiento de un madero respecto de su altura, tanto menos aguante tiene, sin embargo de que al mismo tiempo crece su cubo.

Usos de la madera

667 Una vez que por lo dicho hasta aquí es mejor práctica gastar maderos de canto y tabla, que no maderos de cabeza quadrada, siguese que se debe dar la preferencia á la madera serradiza respecto de la enteriza. Para lo qual hay otra razon muy poderosa, es á saber, que en la madera serradiza son más fáciles de descubrir los vicios interiores.

668 Si se nos dixere que la madera serradiza es muy endeble para fabricar, responderémos que los experimentos de Mr. de Buffon prueban lo contrario.

669 Al que alegare que la madera serradiza se pudre con mas facilidad, le citarémos hechos que todos le desmenten «Nuestros antiguos entramados de madera eran «todos de madera serradiza, dice Camus (Force des bois» pág. 263); y sin embargo subsisten a la inclemencia desde 300 á 400 años, expuestos al calor, al frio, á la humedad, &c. No se les halla daño alguno, quando nuestros entramados modernos, hechos con pies derechos de madera enteriza, se carcomen en poco tiempo».

La razon de esta notable diferencia es muy obvia. La mayor parte de la madera enteriza es mal esquadrada, y tiene grandes gemas; muchas de sus aristas lejos de ser madera viva, son albura pura; la parte leñosa de la superficie es de edad sumamente tierna, y por lo mismo menos

Comparando esta expresión con la correspondiente a una viga biapoyada, deducida por la resistencia de materiales en sus términos actuales:

$$P = 2 bh^2\sigma / (3l)$$

Se deduce que la tensión de rotura a flexión con la que se efectuaron los experimentos era de 342 kp/cm² (la mitad de 684) para el roble. Valor ajustado a una calidad frecuente, que incluya defectos.

Finalmente, observa Bails, que si se tratara de madera de pino la capacidad resistente resulta 6/5 mayor. La tensión de rotura a flexión, por tanto, sería de 410 kp/cm² para la madera de pino.

Aparentemente, el hecho de basarse en expresiones de cálculo que sobrevaloran la capacidad de carga parece indicar que efectivamente dimensionaran por defecto las vigas; pero no es así, ya que los niveles de tensión que manejaban, de forma implícita, eran inferiores, compensando este error.

Reglas para determinar la basa de la viga

Al tratar de las «Dimensiones de la madera», incluye una reglas prácticas para dimensionar la sección de la viga en función de su luz (párrafos 663 y 664). Aunque, lógicamente, la mayor eficacia se conseguiría con secciones estrechas como tablas, Bails recoge las recomendaciones de Camus, sobre la anchura (o basa) mínima en función del largo de la viga. Con estos valores se pretende garantizar la estabilidad lateral de la pieza. Si se traducen las unidades de pies y pulgadas a centímetros se obtiene la siguiente relación:

luz, l (cm)	anchura, b(cm)	l/b	l/h
110-190	4,6	41	14
190-390	8,0	48	16
390-580	10,7	54	18
580-780	13,8	56	19
780-890	16,1	55	18
890-970	18,4	53	18

Al final, sugiere que la basa sea la tercera parte de la altura de la sección h. Tomando esta proporción se deduce una esbeltez l/h, variable entre 16 y 19, valores del mismo orden que los utilizados en la actualidad.

Reglas para determinar el área de la sección transversal en función de la luz de la viga

En el párrafo 664, incluye una regla para determinar el área de la sección transversal de la viga, en función de su luz. La expresión que se deduce del texto,

homogeneizando las unidades es la siguiente:

$$F = l^{3/2}/13,87$$

Donde F es el área en cm^2 de la sección transversal y l la luz en cm . Esta regla, de acuerdo con el texto, sería válida para las cargas habituales de vivienda. Como ejemplo, si se considera una viga de forjado con una luz de $4,5 m$ se deduce un área de la sección transversal igual a $688 cm^2$. Si, de acuerdo con las reglas anteriores para la anchura de la sección, se eligen $17 cm$ de basa, resultaría una altura de $62 cm$. Este valor resulta fuertemente exagerado ya que lo habitual sería un valor del orden de $26 cm$.

Madera aserrada frente a madera enteriza

La madera enteriza es aquella que se obtiene del tronco del árbol sin más que un simple escuadrado que generalmente se hacía con azuela. De cada rollo se saca una sola pieza, y por tanto su sección suele ser cuadrada o ligeramente rectangular.

De acuerdo con el texto (párrafos 667 en adelante), la madera aserrada presenta la ventaja de poder obtener secciones de mayor esbeltez (altura/basa), con mayor eficacia a la flexión en razón al cubo de su altura.

Resulta curioso, como se expone en el texto la postura favorable hacia la madera aserrada como material más resistente y durable, frente a lo que parece ser la creencia extendida en la época que considera mejor la madera enteriza. Las razones que aduce parecen acertadas, los defectos ocultos son más probables en la madera enteriza, la durabilidad de la madera aserrada puede ser mayor que en la enteriza, siempre que la primera sólo emplee duramen, y la segunda incluya albura. Sin embargo, la última razón que incluye, sobre el efecto del aserrado en las fibras de la madera, no tiene fundamento científico, o al menos es difícil de creer. Según Bails, el roce de la sierra «aprieta» las fibras y las empapa de savia consiguiendo el «increíble» efecto de hacer más compacta la madera.

Al tratar de la humedad de la madera distingue dos clases; la humedad natural, que corresponde al contenido de humedad en el momento de la corta, y la humedad de la obra, que es la que puede absorber por higroscopicidad en ambientes húmedos. También en este aspecto encuentra ventajas para la madera aserrada frente a la enteriza, por su mayor facilidad para perder humedad natural, a causa de su menor grueso.

En relación al corte más adecuado del



compacta.

Ninguno de estos inconvenientes tiene la madera serradiza; todo el mundo sabe que el jugo ó sava de la madera, aquella materia pegajosa que sirve de alimento á los árboles, y vemos alguna vez destilar de su tronco, está derramada en todas sus partes, se calienta necesariamente y derrite con el movimiento de la sierra. Las idas y vueltas de este instrumento aprietan y unen las hebras leñosas, al mismo tiempo que estas se empapan de este humor adelgazado y hecho mas activo con el calor, por cuyo medio se pone la madera mas compacta. A todo esto debe atribuirse la mucha duración de los entramados antiguos respecto de lo poco ó poquísimo que duran los modernos hechos de madera enteriza.

670 ¿Habrà quien rezele que la madera serradiza se pudra mas pronto? ¿De qué causa, preguntarémos, ha de provenir este daño? ¿Del poco grueso de la madera, ó de la humedad?

671 El poco grueso no puede ocasionarle, pues una espiga de 21 linea, ó el suelo de la caja de un brochal jamas se pudre sin embargo de ser mas delgado que maderos de dos pulgadas de grueso.

672 Tampoco puede ser causa la humedad de pudrirse la madera serradiza; y aqui hemos de distinguir dos especies de humedad; es á saber, la que es natural á la madera, y la que se la pega al tiempo de asentarla y empotrarla en la fábrica.

¿Pero quién duda que el aserrar la madera es el medio mas seguro para que se purgue su humedad natural, la qual ocasionaria su putrefacción? pues sabemos que quanto mas grueso es un cuerpo, tanto mas dificilmente se evapora su humedad interior. El que quiera secar una pieza de lienzo, se guardará muy bien de ponerla al sol doblada y amontonada, porque se recalentaría y acaso picaría; póngala a secar desdoblada y tendida, y luego conseguirá su intento sin perjuicio alguno de la pieza. Es facil de aplicar esto á nuestro asunto; la madera enteriza es la pieza de lienzo amontonada, la madera serradiza es la misma pieza tendida.

673 Por lo que mira á la humedad que puede comunicar á los maderos el yeso de al rededor de sus entradas, es cosa cortísima, aun quando no se use la precaución apuntada (650). Con efecto, los maderos de los suelos van recibidos en las soleras ó carreras sobre un asiento de poco ancho; el hueco que entre ellos queda se forja con yesones secos, ó yeso procedente de descombros; encima de este forjado se planta un tablado de ripia, y una tortada de yeso ó barro de unas dos pulgadas de grueso; por la parte de abaxo se hace un listonado ó entomizado para hecer un cielo raso de una pulgada de grueso; á veces se hacen bovedillas.

¿Qué humedad puede pegar á los maderos esta fábrica que no pasa de una capa muy delgada, de todo punto expuesta á la acción del ayre, el qual sin cesar la va secando por encima y por debaxo? Añádase á esto que quasi siempre el suelo y el cielo raso se hacen mucho tiempo uno despues de otro, con lo que tiene todavía mas lugar el ayre de secar la fábrica.

Pregúntese á los que han tenido que reconocer edificios deteriorados por culpa de las maderas, y todos, ó los mas dirán que lo que hallaron carcomido en lo exterior fué efecto de dos causas extrañas, es á saber, la albura que se quedó en los maderos, y la humedad del sitio.

674 Para los fines propuestos la madera se puede aserrar de dos modos, 1º. aserrando por

medio de la madera esquadrada; 2º. aserrándola á rebanadas, como si se hicieran tablas.

675 Quando la madera se aserrare de este último modo, jamás deberá servir de madero la pieza del centro ó medio. Porque la resistencia de la madera aserradiza pende de dos circunstancias, que son la dirección de las hebras leñosas, y la mayor ó menor porción que coge de la circunferencia de los conos leñosos, cuya circunferencia entera forma el cuerpo del árbol. La rebanada del medio solo coge porciones muy pequeñas de la circunferencia de estos conos leñosos, las cuales, sobre estar todas en la dirección horizontal del madero, y paralelas á su basa, tienen en medio aquella materia esponjosa de que se habló antes (640), tierna é imperfecta. Esta es la razón por que desechamos la rebanada del medio. Las demas rebanadas intermedias son todas de madera viva, cogen mas circunferencia de los conos leñosos, cuyas porciones de circunferencia están todas en la dirección vertical y á ángulos rectos sobre la basa del madero. Deben por lo mismo considerarse como perfectas debaxo de la carga, con tal que se tengan presentes las prevenciones que hemos apuntado antes.

Las rebanadas exteriores tienen su utilidad, pues sobre que se pueden gastar á manera de tablas, también se pueden usar como maderos, con tal sin embargo que estén bien esquadradas, y limpias de la albura ó madera tierna.

676 Nunca conviene gastar maderos aserrados á un tiempo por su alto y ancho; y así, siempre que se necesite un madero de 6 pulgadas de altura ó tabla, se ha de sacar de un madero de 6 pulgadas de esquadra; quando se necesite un madero de 12 pulgadas de altura, se sacará de otro de 12 pulgadas, y no de 24 de alto.

Todas estas reglas son consecuencias de los principios sentados antes. El madero de seis pulgadas de alto aserrado en otro de 6 pulgadas de esquadra, y el madero de 12 pulgadas de alto sacado de otro de 12 pulgadas de esquadra, cogen el semicírculo entro de conos leñosos, cuyas capas ó rebanadas subsisten todas; siendo así que de los maderos aserrados en ambas direcciones, no se sacan sino cuadrantes de las circunferencias leñosas, las cuales no es posible tengan la competente resistencia.

677 El uso de la madera será seguro quanto cabe, si sobre gastarla serradiza de canto y tabla, con las circunstancias que acabamos de especificar, se gastaren para suelos maderos de largo mediano, v.g. de 7, 10, 15, 18 pies quando mas. Con esto no se gastaría tanta madera falta de la debida dirección en sus hebras, cuyo defecto debilita mucho un madero. Acerca de lo qual debe notarse que va mucha diferencia de los troncos torcidos á las hebras torcidas.

Los troncos de árboles torcidos (necesarios alguna vez en la Arquitectura civil é hidráulica, y siempre en la naval) en nada perjudicarían una vez que no se gastasen sino maderos del largo propuesto, porque sería poco reparable en tan corta tirantez el defecto; y quando lo fuere mucho, deberían desecharse los maderos. La falta de recta dirección en las hebras, cuya falta se halla mas ó menos en todos los maderos, y no se puede remediar, sería menos reparable en los de poca tirantez que no en los que tuviesen mucha.

Siempre que se gasten maderos de poca dimension, las paredes no serán ni abrumadas ni desplomadas por causa de la mucha tirantez de las entramadas de los suelos, tanto mas perjudiciales, quanto su peso no va repartido con igualdad, y suele cargar sobre un punto y esto proviene de la mucha tirantez de los brochales. «Todos los días «se ven grietas (Camuz Force des bois) en paredes de fachada de traviesa, testeras ó apiñonadas, labradas de buena mampostería y con esmero, cuyo daño todo proviene de la carpintería. Con su peso agobia esta las partes de la fábrica que la reciben, quando las inmediatas que no tienen mas carga que su propio peso, se mantienen sin hacer asiento alguno. Es, pues, forzoso que se pierda el equilibrio, porque todo el peso carga sobre un punto. No hay mas remedio, una vez que ya no es posible quitar la causa del daño, que apelar al auxilio de los pies derechos, machones. ¡Qué recurso tan ingrato á la vista!

«Nada de esto se experimentaba en otros tiempos, porque no se usaban tan largos los cabios sobre los cuales carga todo el peso de una gran entramada de suelo, el qual por lo mismo viene á cargar sobre un punto único. Los antiguos gastaban maderos de la mitad menos cubo que los nuestros, pero se esmeraban en repartir el peso. Esta es la razón por que sus edificios eran mucho más sólidos y padecían menos que los nuestros por razón de la carga. Todos estos son motivos para que no se gasten sino maderos de 12, 15 ó 18 pies de largo, de gruesos proporcionales á su largo; los cuales por los principios sentados serían la mitad mas ligeros, la mitad menos costosos, y cargarían sobre los muros un peso la mitad menor. Se cortarían menos árboles jóvenes, serían mas los que llegasen á edad perfecta; la marina estaría mejor surtida; las vigas no saldrían tan caras, porque habría mas; los montes, porque se gastaría la mitad menos madera, se volverían á poblar.

679 Sería arriesgado cargar á los maderos en los edificios todo el peso que aguantan en los experimentos: digamos, pues, qué parte les corresponde, para mayor seguridad del Arquitecto y duración de la obra.

1.º Se tomará la mitad no mas de dicho peso, por ser dificultoso hallar maderos de igual tenacidad, no solo en terrenos diferentes, mas también en un mismo terreno; por ser imposible encontrar maderos cuyas fibras siguen en toda su longitud una dirección recta, y porque tienen mas ó menos aguante los maderos segun sean del pie del árbol, ó de la parte superior del tronco; de

tronco del árbol para obtener la madera más resistente, en el párrafo 675, rechaça la pieza obtenida radialmente ya que contiene la médula y parte de madera juvenil con inferiores propiedades mecánicas. Se decanta por el aserrado tangencial previniendo de la inclusión de la albura (o madera tierna).

Conceptos de seguridad en el cálculo de la estructura

En los párrafos 679 y 680, se exponen conceptos relacionados con la seguridad en la determinación de las resistencias de cálculo, que en la práctica no están muy alejados de los que manejamos en la actualidad. Anteriormente, al tratar de la capacidad de carga de las vigas (párrafos 58-662), se explicaba un método para determinar la carga de rotura de una viga sometida a carga centrada. Para una madera de pino se había deducido una tensión de rotura en flexión de 410 kp/cm², siguiendo el método mencionado. Como cita Bails «sería arriesgado cargar a los maderos en los edificios todo el peso que aguantan en los experimentos», dando a continuación una serie de factores de reducción hasta llegar a un valor seguro, que podríamos denominar valor de la tensión admisible o de trabajo.

1.- En primer lugar propone un factor de reducción igual a 0,50, a causa de la variabilidad de las propiedades de la madera en función de su procedencia, parte del árbol y desviación posible de la fibra.

2.- Un factor de reducción de 0,66, debido a que en la práctica las vigas no se encuentran con sus extremos empotrados, como ocurre en los experimentos. Este factor, en principio, no tiene relación con la seguridad del cálculo, sino solamente con la disposición constructiva.

3.- El efecto de la duración de la carga, lo estima en un factor de reducción de 0,50. Es curiosa la descripción que justifica este fenómeno: «así como no puede un hombre tener levantado mucho tiempo el peso mayor que puede levantar del suelo».

4.- Para evitar problemas de excesiva flexión, añade un factor más, igual a 0,75.

Si aplicamos los factores 1 y 3 (exceptuando el efecto de los empotramientos ya considerado en la tensión de rotura, sobre el valor de 410 kp/cm²), se obtienen 102 kp/cm² como resistencia a flexión admisible. Si además, se incluye el 4º factor de deformación, se llega a

los 76 kp/cm^2 .

Es decir, las tensiones admisibles que se recomendaban, de forma implícita, eran las mismas que se han manejado hasta nuestros días, sin entrar en matices sobre la calidad variable de la madera.

Finalmente, se queja de que en la práctica los «proyectistas» sólo empleaban un factor global de reducción de $0,25$ y en muchos casos $0,50$; esto da lugar a tensiones de flexión de 102 y 205 kp/cm^2 , respectivamente.

Acciones consideradas en el cálculo

En los párrafos 681 y 682, incluye un ejemplo de aplicación práctica en el que se evalúan las cargas que actúan sobre un forjado de piso.

En primer lugar calcula el peso propio del forjado, constituido por mampostería con una densidad de 1841 kg/cm^3 ($86 \text{ libras/pie cúbico}$) que con un espesor de $11,5 \text{ cm}$ (5 pulgadas) determina una carga de 211 kp/m^2 . El solado de baldosas se estima en 47 kp/m^2 ($8 \text{ libras/pie cuadrado}$). El peso total es de 258 kp/m^2 , a falta del peso propio de las vigas.

El mayor interés de esta explicación se encuentra en la estimación de lo que llamaríamos actualmente sobrecarga de uso, que incluye el tráfico de personas y la carga de muebles.

Como peso medio de una persona se toma 70 kp (153 libras) y se supone que ocupa una superficie cuadrada de lado igual a 3 pies ($0,83 \text{ m}$), resultando una carga de 101 kp/m^2 . Bails admite que es un valor tal vez exagerado, pero que se compensa al no considerar el peso de los muebles. Más tranquilo se hubiera quedado si supiera que las normativas de acciones actuales para este uso, dan un valor de 200 kp/m^2 .

Por último, hay que hacer una observación sobre la diferencia que existe en la disposición del ensayo con una carga centrada y la carga uniformemente repartida del caso real de un forjado. Bails, recomienda (párrafo 660) que se utilice la carga puntual como si fuera repartida, ya que la distribución puede variar quedando más cargada en un punto. De proceder así, a favor de la seguridad, se está introduciendo un factor de infravaloración de la capacidad de $0,50$. El momento flector que provoca una carga puntual centrada es el doble del que produciría si ésta se reparte a lo largo de la longitud de la viga.

árbol de edad perfecta, viejo ó joven.

2.º De dicha mitad se han de tomar los dos tercios no mas; porque los maderos no tienen aseguradas tan firmemente sus entradas en los edificios, como en los experimentos.

3.º De estos dos tercios se ha de tomar la mitad no mas, por la razón que aguantando los maderos continuamente la carga, mengua á proporción de esta continuidad su resistencia: así como no puede un hombre tener levantado mucho tiempo el peso mayor que puede levantar del suelo.

4.º Se tomarán últimamente por la verdadera carga los tres cuartos de esta última mitad, esto es, la octava parte del todo el peso que por los experimentos ó la regla propuesta (658) podría aguantar el madero; porque si bien la continuación de la carga no rompe los maderos, los cimbreo, cuyo inconveniente debe también precaverse.

680 Como los autores que mas disminuyen la carga de los maderos la reducen á la quarta parte de la de los experimentos, contentándose los mas con reducirla á la mitad, muchos tendrán por excesiva la disminución ó reducción que acabamos de señalar. Hémoslo hecho porque suponemos que sea toda serradiza la madera que se gaste, con el fin de aumentar el aguante por razón de la mayor altura, sin necesidad de gastar maderos de mayor corpulencia ó solidez, porque pide se camine con pulso la dirección de las hebras á lo largo de las piezas, y la diferente tenacidad de su madera, y últimamente para suplir lo que debilita estas hebras la sierra quando las corta.

681 Concluirémos este asunto dando una muestra de la aplicación que de la doctrina declarada se puede y debe hacer á la práctica, y supondrémos que todo el peso de un suelo cargue sobre una carrera.

Claro está que esta carrera aguantará el peso de los maderos de suelos, el de la mampostería ó forjado, el de las baldosas, de las personas, ó tabiques que sostengan algun peso. Para los suelos de cámaras ó almacenes donde hay granos y géneros, se añadirá el peso de estos al de todo lo demas.

Supongamos, pues, que el pie cúbico de mampostería pese 86 libras , el de las baldosas 127 libras y que la mampostería tenga 5 pulgadas de grueso, y las baldosas 9 lineas .

Para hallar el sólido de mampostería correspondiente á un pie superficial que vale 144 pulgadas cuadradas, multiplicarémos 144 por 5 , y saldrá el producto 720 : el peso de este sólido se sacará con decir: si un pie cúbico ó 1728 pulgadas cúbicas pesan 86 libras ¿el sólido del pie superficial ó 720 pulgadas cuánto pesarán? y sacarémos 36 libras .

Por un método parecido á este hallaremos que el pie superficial de baldosas corresponde el peso de 8 libras ; para lo qual se reducirá el pie cúbico á lineas cúbicas, el pie superficial á lineas cuadradas, las cuales se multiplicarán por 9 , y saldrán lineas cúbicas, y se dirá: si el pie cúbico ó las lineas cúbicas que le componen pesan 127 libras , cuánto pesarán las lineas cúbicas de baldosa correspondiente al pie superficial?

Supondrémos también que la carga del pie superficial por lo que toca á las personas es de 17 libras , porque suponemos que cada persona pesa una con otra 153 libras , y coge 3 pies en quadro, que son 9 pies superficiales, y salen por consiguiente 17 libras á cada una por ser 17 la novena parte de 153 . Es mucho verdaderamente el peso que damos á cada persona, y también suponemos lleno de ellas el suelo quanto cabe, lo que jamas se verifica; pero tambien con este exceso podemos escusar detenernos á evaluar el peso de los muebles.

Por consiguiente la carga que aguantará la carrera correspondiente á cada pie superficial del suelo será por razón de la mampostería 36 libras

por razón de las baldosas 8 libras

por razón de las personas 17 libras

en todo 61 libras

No hemos valuado el peso de los maderos porque no se puede apreciar con la misma generalidad en pies superficiales, y pende del modo con estén esquadrados y de su largo, por lo mismo es preciso valuar separadamente su cubo y peso, y dividirlo por los pies superficiales del suelo. Hemos supuesto en este cálculo, como qualquiera lo echará de ver, los pesos muy grandes. Quando la operacion se hubiese de contraer á algun caso particular, la experiencia dará el peso verdadero de cada pie superficial, porque el Arquitecto sabrá qué grueso ha de llevar el suelo, y la calidad de los materiales que hubiere de gastar.

682 La aplicación de la regla á los casos en que no haya carrera, no tiene dificultad alguna; se viene á los ojos que despues de averiguado el peso del suelo, contando solo la mamposteria y las baldosas, se habrá de repartir entre los maderos para saber la carga que cada uno habrá de sostener, teniendo siempre presente que esta se ha de reducir á la octava parte no mas de la que cada uno aguantaria en los experimentos hasta romperse.

Presupuesto todo lo dicho acerca de la madera, pasarémos á manifestar el papel que hace en la Arquitectura la carpintería para fabricar entramados, escaleras, suelos y armaduras de edificios. Pero como por no tener el carpintero á mano maderos de las dimensiones que necesita, ó por otros fines se ve alguna vez precisado á ensamblarlos ó empalmarlos unos con otros, darémos á conocer primero algunas ensambladuras ó empalmaduras.

III Elementos constructivos

De los suelos

712 Los suelos de los edificios pueden labrarse de dos maneras, ó dexando descubiertas por la parte de abaxo las maderas, ó bien echándolas una capa y enlucido de yeso que forma un cielo á nivel, y llamamos cielo raso. Estos cielos rasos empiezan á ser muy de moda y es cierto que hermosean mucho y hacen mas aseadas las piezas de los edificios, pero es tambien constante que perjudican muchisimo á la madera. El arquitecto que atendiere mas á la duración que no á la buena vista de la obra, escusará quanto pueda los cielos rasos, y hará los suelos, dexando aparentes las carreras y demas maderos, cuya práctica es muy fácil y sencilla, añadiendo á lo largo de las carreras contracarreras con esperas donde se encajen las cabezas de los maderos de suelo. Conviene, pues, antes de declarar como se hacen los suelos con cielo raso, que propongamos la práctica antigua, sobre cuyo asunto copiarémos mucha parte de lo que trae un autor Frances moderno, porque acaso tendrán tambien sus quejas aplicacion en otros paises.

713 Los suelos se componian en otros tiempos de vigas, maderos de suelos y brochales; las vigas se asentaban 12 pies lejos una de otra de cara á cara, y el trecho que quedaba entre una y otra se llenaba ó poblaba mas maderos de 7 pulgadas en quadro, y 14 pies de largo, cuyos maderos se asentaban sobre unas contravigas, conforme se dirá muy en breve.

714 La viga es una corpulenta pieza de madera, sobre la qual carga el suelo de un piso; quando es pequeña se llama vigueta.

715 Quando una viga sostiene un entramado de madera se llama ya solera, ya carrera, y quando sostiene el cuchillo de una armadura se llama tirante. Hoy en día se hace poco uso de las vigas.

716 Desde que se han desechado las vigas en virtud del nuevo método de solar que siguen nuestros Arquitectos Franceses, los Carpinteros ensamblan los suelos de muy distinto modo que antiguamente; en los suelos de los tiempos pasados no habia mas ensambladura que la del brochal; en los de estos tiempos hay infinitas, todo está con ensambladura.

717 Los maderos de suelo se sacaban entónces de troncos corpulentos y maduros: su tirantez no solia pasar de 14 pies, y esto cogia de luz cada tramo del suelo desde una viga á otra; las piezas de madera corpulentas eran muy comunes, no se gastaban entonces maderos de suelo enterizos, se les daba tiempo de sazonzarse á los robles antes de emplearlos en la carpintería, y todas las diferentes especies de maderos que se gastaban en los edificios eran de madera serradiza, y sacados de piezas de mucho cuerpo. La prueba de lo que digo se ve en las armaduras de nuestras Iglesias antiguas, y de los edificios mas antiguos, así públicos como privados.

718 Cada siglo ha discurrido varios modos de fabricar; el gusto del Frances ha mudado, el ingenio de los Arquitectos ha sutilizado particularmente en estos últimos tiempos; y sin detenernos a indagar qual sea la causa de la novedad, podemos asegurar que, ora proceda de su invencion o amor a las cosas nuevas, de la escasez de la madera, ó de la economía, nuestro modo de fabricar es totalmente distinto del que usaron los antiguos; que vemos subsistir edificios públicos de carpintería al cabo de dos mil años que se levantaron, y casas particulares labradas en calles donde están expuestas á todos los inconvenientes que pueden causar su ruina, conservarse sanas y enteras al cabo de quatrocientos ó quinientos años; siendo así que hoy día no bien tienen cien años de antigüedad las casas particulares, quando ya es forzoso apearlas para su reparo, ó labrarlas de nuevo.

719 La corta duración de nuestros edificios modernos proviene de dos causas; es á saber, de la mala calidad del material y del poco cuidado de los oficiales.

De la calidad del material (no me salgo del asunto) 1º. porque la madera enteriza es una madera imperfecta, la qual por no haber llegado muchas veces al debido punto de sazón, no es lo que debiera, ni puede ser de tanta consistencia como si se la hubiera dado tiempo de sazonzarse. Fuera de esto, encerrada esta madera entre los suelos holladeros y los cielos rasos, se recalienta facilmente por falta de ayre, hace fuerza para separar sus partes, y relaxar las fibras tiernas de que se compone; de aquí proviene que se hundén los suelos, y se abren los cielos rasos.

2º. La codicia de los corraleros no consiente que se esquadre como es menester esta madera: de aqui es que no estando esquadrada hasta lo vivo, los clavos que sujetan la tabla de ripia entran con facilidad en esta madera tierna, rompen sus fibras y no quedan asegurados.

3º La multitud de caxas que se hacen en las carreras es otra causa que contribuye á la ruina de los suelos; verdad es que se procura remediar este daño con gatillos ó cinchos de hierro que alivian las espigas, y no hay otro recurso, ni se puede culpar á los carpinteros. No por eso dexa de perder de su fuerza de carrera, y este es el motivo por que á estas piezas principales suele dárseles un tercio mas de grueso qua á las otras.

720 El poco cuidado de los oficiales en ensamblar las piezas de carpintería es otra causa de la poca duracion de los edificios; el corto precio á que se les paga su obra los obliga á hacer tan pocas ensambladuras como pueden; y aun estas pocas las hacen tan floxas, que por poco peso que sostenga la madera, la espiga se sale de la escopleadura, estando la estaquilla ó clavija

El texto dedicado a la carpintería termina con una parte dedicada a aspectos constructivos de los entramados de madera, en el que se apoya con figuras, aunque no todas las descripciones se corresponden con las imágenes.

En primer lugar, en un subcapítulo dedicado a las Ensambladuras (683-691) hace una breve y simple descripción de algunos tipos de ensambles carpinteros. Es muy reducida, no es ordenada y no establece una conexión con la práctica constructiva.

El subcapítulo sobre los Entramados de madera (692-705) es interesante por contener la terminología que se utilizaba para las piezas que componen los muros entramados. Además, propone escuadrías para cada pieza.

En la parte dedicada a las Escaleras de madera (706-711) realiza una breve descripción de la estructura y construcción de estos elementos.

Quizás la parte de más contenido sea la que trata de los Suelos, forjados de madera, (712-731). Establece una discusión a favor de las técnicas antiguas para la construcción de los suelos frente al sistema moderno en el que la moda conduce a ocultar la madera mediante un cielo raso. Bails, reconoce que el enlucido de yeso del cielo raso, ofrece un aspecto más limpio y atractivo (aseado y hermoso), que el de los forjados con los maderos vistos. Sin embargo, la durabilidad disminuye de modo apreciable, según él a causa de la mayor probabilidad de pudrición por la falta de ventilación. Mientras que un suelo construido de manera ventilada se encuentra en buen estado después de 400 ó 500 años, aquellos que se construyen con cielos rasos antes de los 100 años es preciso su reparación o sustitución.

La práctica antigua consistía en un sistema constructivo con dos órdenes: las piezas principales o vigas se tendían apoyadas sobre los muros a una distancia del orden de 3,30 a 3,90 metros, salvando este vano con otras piezas denominadas maderos de suelo, con una sección cuadrada de lado igual a 16 cm y de madera aserrada de duramen y curada adecuadamente.

La práctica moderna, según Bails muy del gusto de los arquitectos franceses de la época, debe su corta duración a los siguientes factores:

La calidad de la madera es inferior debi-



do a que se emplea madera enteriza que incluye albura y no se ha curado.

Al encontrarse la madera encerrada por el yeso de los cielos rasos y por los solados está más expuesta a sufrir pudriciones ya que la humedad puede acumularse y no hay ventilación. («se recalienta fácilmente por falta de ayre...»).

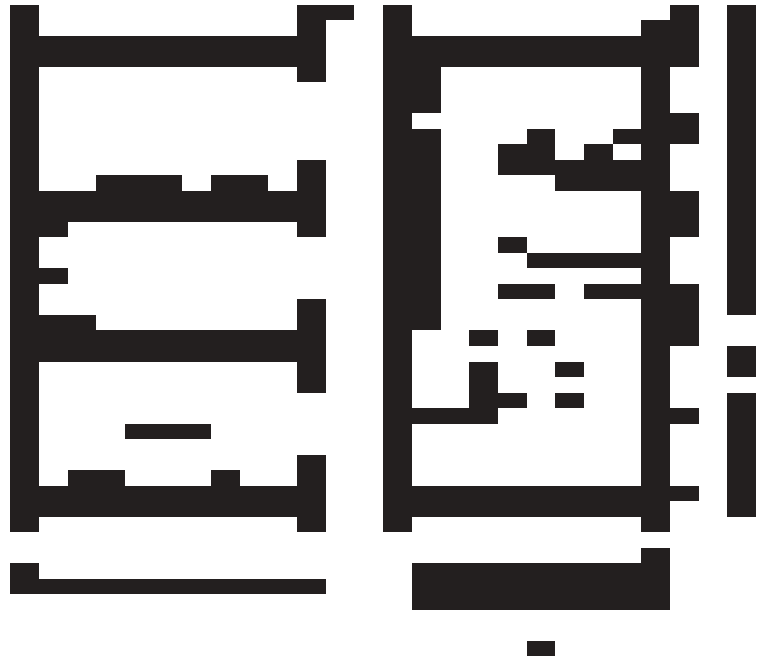
El sistema constructivo obliga a efectuar numerosas cajas en las carreras lo cual las debilita, aunque luego se refuercen con piezas de hierro.

Finalmente, añade una razón que parece una constante en la construcción, como es el poco cuidado que ponen los oficiales en ensambles las piezas. Este proceder lo justifica en el «corto precio» que se les paga por su obra, lo que les obliga a hacer las mínimas ensambladuras posibles y de baja calidad.

Por otro lado, comenta que la tendencia de los oficiales es a hacer las piezas más gruesas de lo necesario para cobrar más y esto implica un peso excesivo que acelera su ruina; esta afirmación resulta poco creíble ya que el aumento de peso sería insignificante comparado con su mayor resistencia.

A pesar de que la práctica moderna de la construcción de suelos no es recomendada por Bails, se ve obligado a explicarla debido a su fuerte implantación en su época. En esta exposición incluye consejos para evitar los defectos más graves.

El sistema consiste simplemente en disponer maderos de suelo (o viguetas) apoyados de muro a muro, con la precaución de evitar el apoyo sobre los huecos del muro.



Suelos de madera. Disposiciones constructivas antiguas y modernas

muy cerca del extremo de la espiga, ó demasiado arrimada al extremo de la escopleadura, abre con facilidad la poca madera que queda; y quedando entonces sin ninguna sujecion la madera, cede á todas las impresiones de la humedad ó del calor: Los oficiales conocen por experiencia estos daños de la madera, y ocultan su causa con mucho misterio; este es el motivo por que obligan al señor de obra á que pague y haga clavar de su cuenta todo el hierro necesario para la fortificacion de su obra.

Para sacar su jornal y suplir los gastos que han de hacer por razon de lo poco que se les paga, gastan maderas mas gruesas de lo que es menester, porque á ellos les cuesta el mismo trabajo labrar una pieza gruesa que una pieza delgada, y de aqui se sigue que llevan los edificios un peso excesivo que acelera su ruina.

Los brochales suelen tener el mismo grueso que los maderos de suelos.

Las contravigas, que tanto se usaban antiguamente á lo largo de las vigas y paredes, prosigue Mesange (tom. 1.p. 72), tenían 4 pulgadas de canto por 10 pulgadas de tabla, iban trabadas con las vigas ó carreras, haciendo oficios de contracarrera, con estaquillas, y tenían muescas del ancho de los maderos de suelos donde estos se encajaban. Se usaban tambien á lo largo de las paredes carreras, y las recibian canecillos de hierro empotrados en la pared y embebidos en la misma carrera; la viga, la contraviga y los maderos de suelos estaban labrados con esmero y acepillados, y con molduras en todos sus vivos. Los maderos de suelos eran entonces de madera serradiza de siete á nueve pulgadas de grueso en quadro, segun su tirantez, y llevaban en la cara superior un rebaxo de una pulgada ó pulgada y media, donde se encajaban los tableros de suelo acepillados por debaxo, y por arriba enrasaban con la viga, y los maderos de suelo, y con esto se escusaba cargar extraordinariamente los suelos conforme se hace hoy dia; las mas veces en lugar de una tortada de yeso de echaba una de barro, sobre la qual se asentaban tableros pequeños y delgados, y encima de estos el entablado. La viga, las contravigas, los maderos y tableros de suelo, todo estaba labrado y unido como si fuese obra de carpinteria de taller. Los Señores hacian pintar y dorar por debaxo estos suelos, les pegaban lienzos donde los Pintores de mayor habilidad pintaban cielos rasos, y de todo esto resultaban aposentos muy nobles y magníficos.

721 Hoy dia nuestros Arquitectos no quieren vigas en los aposentos; porque es muy facil hallar maderos de suelo enterizos, y distribuyen los quartos de modo que en los edificios de los grandes y particulares, ya no hay ni vigas, ni suelos de madera aparente; se forjan los suelos con yeso, y esto se llama cielo raso, y se encierran maderas que por no haber llegado á su punto de sazón, se recalientan con facilidad, y duran poco tiempo. Lo mismo viene á decir Vitruvio (lib. 2. cap.6): «Tambien los suelos hechos sobre zarzos de cañas ó de otras cosas semejantes, enlucidos con yeso ó cal, hacen aberturas, y resquebrajos en la disposición del derecho y del través, porque estando enlucido y recibiendo el humor hinchan, y despues secándose se estrecha y embebe, y así estrecho y embebido rompe lo macizo del enlucimiento.

Pero como á pesar de todo eso se van introduciendo cada dia mas los suelos con cielos rasos, dirémos cómo se han de labrar. Por de contado se han de emplear maderos muy secos, derechos y sin vicio ninguno, sin nudos ni albura. Encargamos tanto cuidado en la elección de los made-

ros, porque han de estar asentados horizontalmente, esto es, en la situación que mas trabajan, y por lo mismo es mejor que no sean quadrados, pues siendo desiguales sus dos lados, se podrán asentar de canto, con lo que aguantarán mas carga.

722 El grueso de los maderos de suelo ha de ser proporcionado a su tirantez, y al peso que hubieren de resistir. A los que cogen 15 pies de largo se les suele dar 5 por 7 pulgadas de grueso en sus extremos, ó á lo menos en su medio; desde 15 á 18 pies de largo se les podrá dar 6 por 8 pulgadas; 7 y 9 desde 18 hasta 21; 8 y 11 desde 21 hasta 28 pies; finalmente, cojan lo que cogieren de largo, siempre que se les hubiere de hacer alguna espera ó muesca para ensamblar con ellos otros maderos, se les dará en cada lado una pulgada mas de lo que dexamos señalado.

Por lo que mira al hueco que se puede dexar de un madero de suelo á otro, suele ser una quarta parte mayor que el ancho de los mismos maderos; bien que esto tambien pende de su tirantez, y de la carga que el suelo hubiere de aguantar.

723 Las diferentes piezas de que se componen los suelos de que vamos hablando son:

Los cabios, *E*, *E*, que siempre tienen de entrega en cada pared unas 8, 9 ó 10 pulgadas. Su destino es llevar el peso de los lienzos y la mampostería del cóncavo *A* de las chimeneas, mediante las llantas de hierro de codillo, y en los cabios se ensamblan los brochales.

Los brochales *F* se ensamblan con los cabios en la parte delantera del cóncavo *A*, y con los brochales se ensamblan por el un extremo los maderos de suelo que componen el entramado *K*. Los brochales *G*, *H* se ensamblan en los cabios *E*, y á veces el uno de sus extremos va entregado en la pared, con ellos se ensamblan los maderos de suelo del entramado ó repleno *K*, y suelen echarse á lo largo de los cañones de las chimeneas, encima de los vanos de las puertas, ó á lo largo de las paredes, donde hacen oficios de carrera ó solera, por no entregar en los muros las cabezas de todos los maderos de suelo.

Las cabezas de las carreras *M* van entregadas en las paredes; en ellas se asientan sin ensambladura los maderos de suelo, y descansan sobre unos canecillos de hierro *a*, plantados á trechos en el muro, cuyo grueso va embebido en esperas hechas en la misma carrera.

Los aguilonos *H* son maderos maestros, asentados en diagonal en el piso superior de un edificio, debaxo del faldon de una armadura: por el un extremo descansan en el ángulo de la pared, y por el otro están ensamblados con los quadrales *F*: con los aguilonos se ensamblan las péndolas *I*, que son maderos de repleno, cuyo largo va disminuyendo sucesivamente.

Los maderos cojos son aquellos que tienen el un extremo entregado en una pared, y el otro ensamblado con otros maderos.

724 Al repartir la carpintería de un suelo, se ha atender á los cóncavos *A* de las chimeneas; á sus cañones pasantes *D*, de los pisos inferiores, arrimados á los muros; á los huecos de las puertas y ventanas inferiores, con el fin de asentar sobre macizo las entradas de las piezas maestras, sobre las quales han de cargar las demás, por no perjudicar á la fortificación, y practicar todo quanto pueda precaver los incendios. Por cuyos motivos convendrá

1.º Asentar los cabios *E* un pie mas lejos uno de otro, que lo que coja la luz entre los lienzos de una chimenea de buque mediano.

2.º Dexar una distancia de 4 pies entre el fondo del cóncavo *A* de una chimenea, y la parte delantera del brochal *F*, que recibe los maderos de repleno; y si por detrás del cóncavo pasaren cañones de chimenea, los 4 pies se contarán desde la lengüeta donde se empotrare la plancha de trashogar.

3.º Apartar 3 1/2 pulgadas los brochales *G* de la parte delantera de los cañones pasantes *D*; porque por rezelo del fuego bueno será dexar siete pulgadas de hueco entre la cara interior de un cañon de chimenea, y todo madero, sea de suelo, armadura, &c.

4.º No asentar jamas las entradas de los cabios encima de los vanos de las puertas y ventanas, sí siempre sobre macizo.

5.º No interrumpir jamas la continuacion de las paredes en derecho de los pisos, con entregar en ellas las cabezas de todos los maderos de repleno; porque esto las debilita, interrumpe su trabazon, y pudriéndose con el tiempo los maderos, dexan un hueco y la pared en vilo; por cuyo motivo es mas acertado asentar dichos maderos encima de brochales *G*, *H*, puestos á lo largo de las paredes, y ensamblados con los cabios.

6.º Entregar las cabezas de las carreras ó vigas un pie quando menos en cada pared, y asentarlas encima de machones.

7.º Finalmente, guardarse de echar delante de tres cañones pasantes de chimenea un brochal comun *G*, el qual tendria poca resistencia por razon de su mucha tirantez. Pero entre el segundo y tercer cañon se echará un cabio entregado en la pared, dexando de cada lado del cabio 7 pulgadas de mampostería hasta la cara interior de los cañones.

Estas advertencias son generales; otras hay que si bien solo tienen aplicacion á casos particulares, no por eso dexan de ser de suma importancia.

725 Como los cabios reciben con ensambladura los brochales, si acaso la tirantez de estos pasare de 6 á 7 pies, ó cargasan sobre ellos maderos de repleno muy largos, convendrá fortificar las ensambladuras del brochal con un gatillo de hierro *I*, el qual abrazando el brochal por debaxo, vaya á clavarse en la cara superior del cabio. Pero esto solo será necesario en derecho



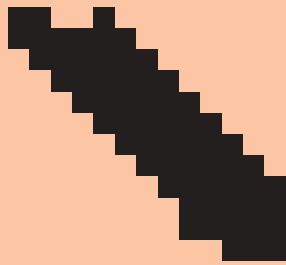
Para ello, se disponen brochales que sirven de apoyo a los maderos cojos, y éstos se apoyan sobre aquellos maderos que asientan sobre zonas macizas del muro. Esta disposición presenta la ventaja de evitar el apoyo de las vigas en las posibles repisas de huecos de balcones en los que es más fácil la retención de humedad con el consiguiente riesgo de pudrición.

Para las escuadrías de los maderos de suelo da las siguientes recomendaciones:

Luz (m)	b x h (cm)	esbeltez l/h
4,17	11,5x16,1	26
4,17-5,00	13,8x18,4	22-27
5,00-5,83	16,1x20,7	24-28
5,83-7,78	18,4-25,3	23-30

La esbeltez resultante es elevada ($l/h = 22-30$) para no tener una flecha excesiva, pero también debe tenerse en cuenta que recomienda una separación entre maderos muy reducida (la calle-distancia entre las caras de las viguetas-igual a 1,25 veces el ancho, *b*, de las mismas).

Termina con los textos dedicados a las Armaduras (734-753) y Cubiertas (760-769) en los que expone las generalidades sobre el trazado de las armaduras de cubierta, generalmente habitables (parhilera, mansardas y obras de trazado más complejo). Describe algunas armaduras históricas como la de la antigua Basílica de San Pedro de Roma, la de San Andrés del Valle en Roma y la del teatro de Parma. Y finalmente trata brevemente sobre los materiales de impermeabilización (teja y pizarra).



Bibliografía

Navascués, Pedro. Estudio crítico de la obra de Benito Bails: De la Arquitectura Civil. 1796. Dos tomos. Ed. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Murcia, 1983.

Rejón de Silva, Diego A. Diccionario de las nobles artes. Segovia, 1788. Edición facsímil del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Fundación Cultural COAM. Madrid, 1995.

Notas

¹Todos los demas árboles tienen tambien tres edades, que son la vejez, la edad perfecta y la juventud; se echa de ver que la mejor madera es la que se saca de los árboles que están en su edad perfecta.

²En el Diccionario de Comercio verbo *Chene* se lee que no es necesario esté seco el roble que se ha de gastar hincado en tierra ó dentro del agua, porque empleado de este modo se pone per sí tan duro, que parece petrificado; que quando se hubiese de gastar madera de roble faltando tiempo para secarla, se suplirá con tenerla algun tiempo en remojo.

³Casi todos los Franceses que han escrito de Arquitectura traen que en tiempos antiguos se gastaba en Francia para las fábricas muchísimo castaño. Equivocaron estos Escritores la madera de este arbol con la de una especie de roble de color y textura parecidas á la del castaño, segun Mr. Camus (*Force des bois*, pág. 44). Ya había dicho el Marques Galiani en su *Vitruvio* (pág. 266 nota 2) que los antiguos usaron poco el castaño; pero añade que hoy día es al reves, y que se hace mas uso del castaño que no de otra madera. Hablará naturalmente de Italia; porque acá la madera que mas se gasta en las fábricas es la de pino; en Francia, en París por lo menos y sus al rededores, es la de roble.

de los cañones pasantes de chimenea; porque siempre que los brochales estuvieren á lo largo de las paredes haciendo oficios de carrera, será escusado el gatillo, y bastará apearlos por debaxo con canecillos de hierro de quadradillo *L*, entregados en la pared y embebidos en una muesca hecha de intento en el brochal.

726 Aunque dexamos dicho que por no debilitar los muros entregando en ellos las entradas de los maderos, conviene añadirles brochales para asentar en ellos con ensambladura los maderos; hay sin embargo casos, como quando un suelo ha de aguantar mucho peso, en que vale mas asentarlos encima de una carrera *M* sin ensambladura, con lo que es mayor el aguante de la carrera. Entonces se puede labrar la carrera á chaflan por debaxo, á fin de que vuele menos, y la tape la escocia de la cornisa del cielo raso.

727 Quando las paredes de fachada de una casa fueren de sillarejo, y se las quisiere cargar suelo, se echarán al tiempo de labrar dichas paredes, á la altura de cada piso soleras de unas 6 pulgadas de grueso, empalmadas á media madera y cola de milano, las quales cogen á veces todo el grueso del muro, y en ellas se asentarán los cabios, siempre encima de los macizos entre ventanas, y nunca jamas encima de sus vanos.

728 Los suelos ordinarios, quando van solados, suelen tener 14 pulgadas de grueso quando mas; pero para retretes y entresuelos á sobradillos se pueden hacer con carreras de 5 á 6 pulgadas de grueso, las quales con los ladrillos y el cielo raso vendrán á componer 18 pulgadas de grueso. Los maderos de suelo han de ir asentados muy á nivel, y siempre de canto.

729 Casos habrá en que por ser mucha la area de un suelo, ó porque se le haya de cargar mucho peso, será forzoso gastar vigas, de donde resultará mayor el grueso del suelo. Para ocultar el vuelo de las vigas en este caso, acostumbran algunos prácticos hacer un contrasuelo; pero como carga mas las paredes, y ocasiona mayor gasto, mejor será disminuir con arte el grueso de las vigas sin perjuicio de la fortificación. En vez de gastar una viga de mucho grueso, y asentar encima de ella con ensambladura los maderos de suelo, vale mas echar una carrera de mediano grueso, agregándola dos contracarras que la aliviarán muchísimo.

Supongamos, por exemplo, que sea tal un suelo que pida una viga de 24 pies de largo: en vez de echar una viga ó carrera de 18 pulgadas por 14, bastará una carrera *A* de 13 pulgadas en quadro, arimándola dos contracarreras *B*, *B* de 10 pulgadas de tabla por 6 de canto, entregadas en la pared como la carrera, aseguradas á trechos con gatillos de hierro *C*, que abracen la carrera, y con pasadores *D*, que atraviesen á un tiempo la carrera y ambas contracarreras, y con clavetas de hierro de unas 8 pulgadas, que van clavadas en la carrera atravesando cada contracarrera. Estas contracarreras aumentan el aguante de la carrera, que con esto llega á ser tan fuerte como si tuviese 18 pulgadas por 14, sin tener tanto de alto; con ellas se ensamblan tambien los maderos de repleno á caja y espiga, ó á media madera con muesca, ó á caja y muesca alternadamente. Ademas de que toda carrera ha de tener un pie por los menos de entrada sobre un machon de piedra, que suba desde la planta baxa, es muy importante echarla en cada extremo un tirante ó llanta con su llave de hierro de quadradillo de unos tres pies de largo, cuyo grueso vaya todo embebido en el paramento exterior de la pared, mediante lo qual llegará á tener la carrera una tercera parte mas de resistencia, y se precaverá, conforme queda dicho atrás, la separación de los muros.

730 Hay prácticos que estilan dixer al rededor de la entrada de una carrera una holgura, que calzan por arriba y abaxo con teja y tierra de miga, y para que se renueve el ayre en la holgura dexan dos agujeros enfrente por la parte exterior de la pared, discurriendo que con esto consiguen que no se pudra tan pronto la entrada de la carrera. Pero sobre que estos agujeros solo se pueden dexar en derecho de los muros de fachada, parece que para conservar la entrada de la carrera el medio mas seguro es resguardarla del ayre, para cuyo fin lo mejor será envolverla con una plancha de plomo, que salga un poquito á manera de rebaba en la parte interior del aposento.

731 Quando el suelo fuere de mucha extensión, se fortificarán los maderos de suelo con codales metidos á fuerza y escaqueados en unas ranuras ó esperas hechas de intento en dichos maderos, porque estando así trabados unos con otros, serán de mucha más resistencia.



Precedentes históricos de la resistencia de materiales

Desde que el hombre comenzó a construir, requería una información que le permitiera dimensionar los elementos estructurales con suficiente seguridad. El proceso de prueba y error terminaría generando una serie de reglas empíricas para la construcción.

Los griegos desarrollaron la estática, lo que representa una base para la mecánica de materiales. En la época romana el saber de la construcción había alcanzado un nivel alto, a pesar de no conocer las ventajas que suponen los métodos de análisis de tensiones.

La mayor parte del conocimiento que los griegos y romanos acumularon sobre la ingeniería se perdió durante la Edad Media y sólo se recuperó en el Renacimiento.

Durante el Renacimiento Leonardo da Vinci (1452-1519) interesado, entre otras cosas en la mecánica, dejó escritos sobre la resistencia de materiales y en particular sobre la capacidad de carga de vigas y voladizos. Concluía que la resistencia de las vigas era directamente proporcional al ancho de la sección e inversamente a la luz, pero no concreta nada acerca de la influencia del canto de la pieza.

El primer intento de abordar el dimensionado de las estructuras de forma analítica se debe a Galileo (1564-1642). En 1638 publica su libro «Intorno a due nuove scienze», que contiene una parte dedicada a las propiedades mecánicas de los materiales estructurales y a la resistencia de las vigas. En realidad constituye la primera publicación en el campo de la resistencia de materiales. En cierta manera, se podría agradecer a la Inquisición la aparición de este libro; Galileo se dedicó a la resistencia de los materiales durante los últimos años de su vida, recluso en su casa de forma obligada tras ser condenado por la Inquisición por apoyar la teoría de Copérnico sobre el Universo. Evidentemente era mucho menos peligrosa la afición a la mecánica.

En el análisis que realiza sobre la capacidad de carga de un voladizo deduce un valor que resulta tres veces superior al que se obtiene con la actual teoría de la flexión en materiales que siguen la ley de Hooke. Sin embargo, la influencia del canto de la sección aparece ya elevada al cuadrado.

Robert Hooke (1635-1703) publicó «De potentia restitutiva» en el que explica los resultados de sus experimentos con cuerpos elásticos. En ellos, pone de manifiesto la proporcionalidad existente entre cargas y alargamientos de cables y muelles.

Pero también realiza unas importantes consideraciones sobre la deformación de las vigas y voladizos trabajando en flexión; las fibras longitudinales en la cara convexa se alargan durante la flexión, mientras que las fibras de la cara cóncava se comprimen.

La ley de Hooke, en la forma original en la que fue formulada, tenía aplicaciones prácticas bastante limitadas. En realidad Hooke estaba hablando de las deformaciones de la estructura completa (muelle, puente o un árbol) cuando se aplica una carga.

A pesar de este prometedor comienzo resulta sorprendente que transcurrieran 120 años desde la muerte de Hooke, hasta que aparecieran científicos dedicados al análisis y desarrollo de este principio.

En efecto, durante el siglo XVIII el progreso en el estudio de la elasticidad fue realmente pequeño. Las razones de este fenómeno son complejas, pero se acepta normalmente, la idea de que mientras que los científicos del siglo XVII entendían la ciencia como algo interrelacionado con el progreso de la tecnología (algo nuevo para entonces), muchos de los científicos del siglo XVIII se consideraban a sí mismos como filósofos desarrollándose en un plano superior a los problemas sórdidos de la fabricación y el comercio. Este modo de pensar es en cierto grado una vuelta al enfoque de la ciencia en la Grecia Clásica.

Así la ley de Hooke servía de explicación de un fenómeno común, y a los ojos del «caballero-filósofo» del siglo XVIII era suficiente para saciar su curiosidad sin estar interesado en los detalles técnicos o prácticos.

Mariotte (1620-1684) comenzó a interesarse en la resistencia a flexión de las vigas a raíz del encargo que tuvo para el diseño de las tuberías de suministro de agua del Palacio de Versalles.

Efectuó experimentos con barras de madera y de vidrio, llegando a la conclusión de que la teoría de Galileo conducía a valores exagerados sobre la capacidad de carga, y así desarrolló su propia teoría. Su análisis es más acertado al suponer una distribución de tensiones correcta, con una parte traccionada y otra comprimida, pero comete un error al valorar la capacidad de carga, deduciendo un valor doble al actual.

Hacia finales del siglo XVII la familia Bernoulli comenzó a producir sobresalientes matemáticos durante más de 100 años. Parte de su trabajo fue dedicado a la mecánica de los cuerpos elásticos.

Jacob Bernoulli (1654-1705) dedujo la curva elástica de la viga en voladizo, a partir de la hipótesis errónea de Mariotte sobre la posición del eje neutro. No obstante, la forma general de la ecuación, era correcta, al deducir que la curvatura en cada punto es proporcional al momento flector.

Su hermano pequeño John Bernoulli (1667-1748) fue considerado uno de los más importantes matemáticos de su tiempo. Su aportación científica fue más importante en el cálculo diferencial que en las propiedades elásticas de los materiales.

Su hijo, Daniel Bernoulli (1700-1782) es conocido principalmente por su libro sobre hidrodinámica, pero también contribuyó a la teoría de las curvas elásticas. Sugirió a Euler que aplicara el cálculo de variaciones para la obtención de las ecuaciones de las curvas elásticas. Daniel Bernoulli fue el primero en deducir la ecuación diferencial que representa las vibraciones laterales de las barras prismáticas, proponiendo nuevos problemas matemáticos a resolver por Euler.

Leonard Euler (1707-1783) fue un gran matemático cuyas publicaciones sobre Introducción al cálculo, Cálculo Diferencial y Cálculo Integral, constituyeron la base de los matemáticos de finales de siglo XVIII y principios del XIX, que pueden considerarse como sus discípulos.

Su prestigio era tal que estando al frente de la Academia de Ciencias, durante la Guerra de los Siete

Benito Bails una biografía

Sobre el autor, Benito Bails (1731-1797), existe poca información, según cita Pedro Navascués en el estudio crítico de su obra.

Su padre se dedicaba al tejido de medias y seda y tenía una fábrica en Perpiñán. A los dieciocho años ganó una cátedra en esa ciudad, a la que se presentó empujado por su familia. Renunció a ella y continuó sus estudios en la Universidad de Tolosa. Allí estudió con los jesuitas, teología y matemáticas. A los veinticuatro años de edad se trasladó a París, donde realizó traducciones de obras de carácter muy diverso.

Posteriormente fue admitido en la Academia Española y en 1768 recibió el encargo de escribir los tratados de matemáticas. Al mismo tiempo que empezó a trabajar en el curso de matemáticas cayó enfermo y se vio obligado a permanecer en cama durante tres años, aunque no dejó de trabajar.

En 1791 fue detenido por la Inquisición y permaneció preso durante tres meses. Fue acusado de posesión de libros prohibidos (libros franceses principalmente). Las razones que motivaron este hecho parecen deberse a alguna conjura contra él. Sólo tres meses después de salir de prisión fue desterrado a Granada donde quedó alojado en el convento de las Carmelitas Descalzas. Al cabo de un año, aproximadamente, logró volver a su casa, donde siguió trabajando hasta su muerte a los 66 años, en 1797.

La Academia de San Fernando se planteó, ya en 1767, la necesidad de incluir el estudio de las matemáticas para la formación de «consumados y verdaderos arquitectos». De esta forma Bails comenzó a enseñar matemáticas en 1768, al parecer con gran éxito entre sus discípulos. Impartía temas de aritmética, geometría y arquitectura. El texto «Elementos de Matemática» tuvo su origen en la necesidad de contar con una documentación de apoyo a la enseñanza oral. Bails comenzó a escribir los textos que trataban de Geometría y en 1774 contaba ya con 6 volúmenes, pero se decidió no editarla hasta tener completa la obra, adelantando en 1776, una primera edición reducida a tres volúmenes bajo el título de «Principios de Matemática».

A esta obra le siguió el que llamaba «curso grande de matemáticas», consistente en once gruesos volúmenes que con el título de «Elementos de Matemáticas» se publicó entre los años 1779 y 1787. Cada volumen está dedicado a una de las siguientes disciplinas: Aritmética, Álgebra, Secciones cónicas, Dinámica y Estática, Hidrodinámica, Óptica, Elementos de Astronomía, Astronomía Física, Arquitectura Civil, Arquitectura Hidráulica, y tablas de logaritmos.

Tanto la obra «Principios» como los «Elementos» tuvieron un gran éxito confirmado por el número elevado de ediciones que se hicieron

de ambas obras. En parte el éxito se debía a que la obra de Bails era texto obligado en las academias de Bellas Artes y Escuelas de Dibujo y en otros centros de prestigio en la España de la segunda mitad del siglo XVIII, tales como la Academia Militar de Matemáticas de Barcelona.

La obra: Elementos de matemática

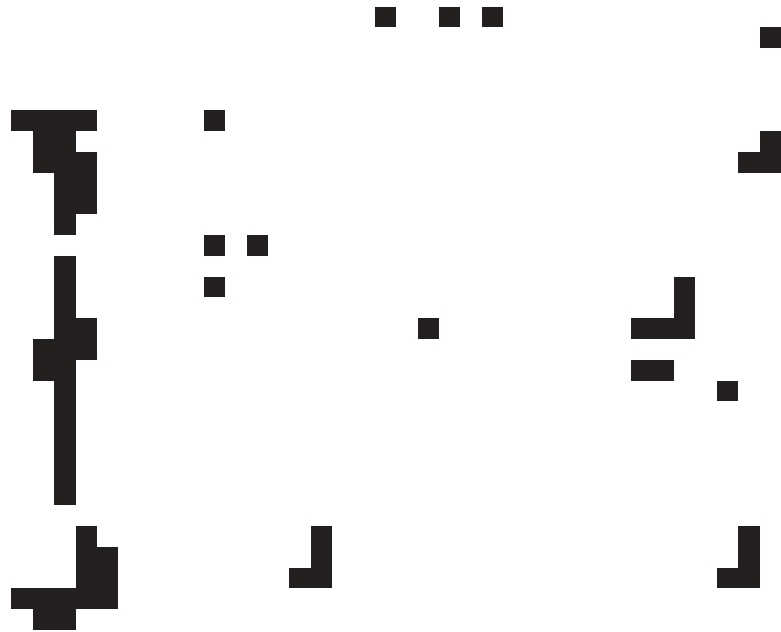
El trabajo de Bails en la redacción de la obra es más de traductor que de autor. Su mérito principal está en la selección de los mejores textos de cada tema y en su papel difusor. Evidentemente, para poder realizar esta tarea era imprescindible que su formación matemática fuera realmente importante. Según se cita, la Aritmética y el Álgebra de Bails está copiada literalmente del Curso de Matemáticas de Bezout, el Análisis procede de Cramer y del Marqués de L'Hospital y detrás de su Cálculo de Variaciones está Lagrange. Su profundo conocimiento de la lengua francesa fue la llave que le permitió acceder a la literatura científica francesa.

La primera edición del volumen de la Arquitectura Civil apareció en 1783 y no se diferencia prácticamente en nada de la segunda edición de 1796. Bails era consciente del riesgo de escribir sobre arquitectura sin que esta fuera su profesión; pero él decía que profesar un arte no es lo mismo que conocerlo y que "si no pudieran entender las Artes los hombres que las estudian ¿qué sería de la opinión de los Artistas?"

Según Pedro Navascués, aunque Bails reconoce haberse apoyado en la autoridad de otros autores, en realidad llega a convertirse en un plagio mediante una traducción de textos que luego une en un índice, falto de una sistemática rigurosa. Los textos en los que se basa son principalmente de Blondel y Patte (Curso Arquitectura), Frézier (Tratado de Estereotomía), Palladio y Milizia. Además, contiene citas a obras como La Scienze des Ingenieurs de Belidor, L'architecture pratique de Pierre Bullet, Architecture Harmonique de René Ouyard, los tratados de carpintería de Mesange y Camus y el Essai sur l'architecture de Langier.

En el índice de la obra, que aquí comentamos, se encuentran los temas siguientes:

- Generalidades sobre el arquitecto, la arquitectura y la ciudad.
- Distribución de la ciudad y de los edificios.
- Edificación en general y materiales.
- La cal.
- Cimentación.
- Sillería y ladrillo.
- Carpintería de madera.
- Bóvedas.



Ensayos de tracción y flexión realizados por Mariotte

Años, su casa fue confiscada en 1760 por el ejército invasor ruso. Cuando se enteró el general Totleben, al frente del ejército, inmediatamente se disculpó ante Euler y ordenó un pago como compensación. Incluso la emperatriz rusa Isabel le envió una suma adicional que sirvió de recompensa sobrada por las molestias. Ya desde la dieciséis años tuvo problemas con la vista, perdiendo en 1735 la visión de un ojo y fue acercándose a una completa ceguera. Sin embargo esta desgracia no impidió una actividad creciente, ya que en el último periodo de su vida su producción científica fue mucho mayor.

Como matemático, su atención se centró en las formas geométricas de las curvas elásticas, aceptando la teoría de Bernoulli sobre la proporcionalidad entre la curvatura y el momento flector. En la introducción al método de cálculo diferencial para la resolución de los problemas elásticos en su libro «Methodus inveniendi lineas curvas...», observa: «Ya que la construcción del universo es perfecta, y es resultado del más sabio Creador, no existe nada que tenga lugar en el universo que no tenga que ver con un máximo o un mínimo. Por consiguiente, no existe ninguna duda de que cada efecto en el universo puede explicarse satisfactoriamente a partir de las causas finales, con la ayuda de un método de máximo y mínimo...».

Su mayor aportación es la determinación de la carga crítica de pandeo de una columna; la carga que puede resistir una columna con una determinada sección es inversamente proporcional al cuadrado de su longitud. A partir de esta carga crítica el equilibrio se convierte en inestable y la pieza es incapaz de resistir flexiones.

Lagrange, que nació en Turín (1736-1813), introdujo las nociones de coordenadas y fuerzas generalizadas y mantuvo correspondencia con Euler, quien tenía un gran concepto de él. Realizó contribuciones a la teoría de las curvas elásticas de cierto interés, insistiendo y profundizando en la determinación de las cargas críticas de columnas con diferentes coacciones en sus extremos. Su contribución a la resistencia de materiales tenía más interés desde el punto de vista teórico que práctico.

La mayoría del trabajo realizado por los matemáticos

del siglo XVIII se orienta a la determinación de las curvas elásticas, a partir de la proporcionalidad existente entre la curvatura y el momento flector. Sin embargo, apenas se plantean el análisis de la distribución de las tensiones en la sección de la viga. Junto a este enfoque matemático se desarrollan otras investigaciones que estudian el problema de la flexión con un sentido físico y plantean la distribución de las fuerzas en la sección.

Uno de estos investigadores fue Parent (1666-1716), que nació en París y estudió Leyes, como imposición familiar, pero nunca ejerció como abogado sino que se dedicó a lo que realmente deseaba, el estudio de las ciencias físicas y matemáticas. En el estudio de la flexión, Parent adopta las hipótesis de Mariotte, tomando como eje neutro la fibra extrema en la cara cóncava. En escritos posteriores realiza unas consideraciones sobre el caso de la viga en voladizo llegando a la conclusión de que la distribución de las tensiones en la sección se efectúa en forma de dos triángulos, uno comprimido y el otro traccionado. De esta forma corrige el error cometido por Mariotte. Además profundiza en el análisis de las tensiones cuando el material no sigue la ley de Hooke y existen módulos de elasticidad diferentes en compresión y en tracción. Sus estimaciones teóricas coinciden con los resultados de ensayo realizados por Mariotte.

Como resumen, Parent tenía ideas mucho más claras que sus predecesores sobre la distribución de las tensiones en la flexión. Sin embargo, su trabajo se mantuvo desconocido para los ingenieros del siglo XVIII, quienes continuaron utilizando fórmulas basadas en la teoría de Mariotte.

La causa era que su trabajo no fue publicado por la Academia y sólo apareció en los volúmenes que recogen sus investigaciones, pobremente editados y con numerosas erratas. Además, Parent era un escritor muy crítico con el trabajo de otros investigadores, lo que probablemente le hizo poco popular entre sus contemporáneos.

Coulomb (1736-1806) nació en Angoulême, realizó sus estudios en París y entró en el cuerpo de ingenieros militares. En 1773, mientras estuvo destinado en la isla de la Martinica, realizando

diversos trabajos de construcción, escribió su famoso trabajo «Sur une application des règles de maximis et minimis à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture».

Las principales aportaciones de Coulomb a la mecánica de los cuerpos elásticos se recogen en este trabajo.

Después de su vuelta a París, fue nombrado miembro de la Academia de las Ciencias. Las facilidades que tuvo para la investigación le llevaron al estudio de la elasticidad y el magnetismo. Para la medición de pequeñas fuerzas de origen eléctrico y magnético desarrolló un mecanismo muy sensible a la tracción. Esto sirvió de camino para el estudio de la resistencia a la torsión de un alambre.

A raíz de la Revolución Francesa en 1789, se retiró a sus posesiones en Blois. En 1793 se cerró la Academia, para, dos años más tarde, reaparecer bajo el nuevo nombre de Instituto Nacional de las Ciencias y las Artes. Coulomb fue elegido uno de los primeros miembros de esta nueva institución.

Su trabajo sobre la mecánica de los cuerpos elásticos comienza con una serie de diseños de mecanismos para la realización de ensayos de tracción, cortante y flexión sobre piezas de piedra. Después incluye una explicación teórica sobre la distribución de las fuerzas en la sección de la viga. Según parece, el trabajo de Parent era desconocido para Coulomb.

Además en su publicación incluye temas como la rotura de prismas comprimidos, analizando el modo de rotura en un plano inclinado; la estabilidad de muros de contención y arcos y la torsión.

Como ocurría en ese tiempo, las soluciones correctas que Coulomb presentó en 1773 sobre problemas de la mecánica de materiales necesitaron más de 40 años para ser estudiadas satisfactoriamente y ser aplicadas en la práctica por los ingenieros.

Thomas Young (1773-1829) nació en Milverton y desde niño presentaba una notable capacidad de aprendizaje. A los 14 años, tenía conocimientos de latín, griego, árabe, persa y hebreo, además de las lenguas modernas. Estudió medicina en Londres, Edimburgo y en la universidad de Gottingen.

Después fue admitido como Fellow Commoner del Emmanuel College en Cambridge. Estudió la física del sonido y la luz.

En 1802 fue elegido miembro de la Royal Society lo que representaba un reconocimiento por su aportación a las ciencias físicas. Ese mismo año llegó a ser profesor de filosofía natural en el Royal Institution. Como profesor fue un fracaso. Las principales atribuciones de Young a la mecánica de materiales se encuentran en este curso («A course of lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts», 1807).

Introdujo, por primera vez, el concepto de módulo de elasticidad, aunque con una definición muy diferente a la que utilizamos en la actualidad.» El módulo de elasticidad de un material es aquella columna del mismo material, capaz de producir en su base una presión de compresión que resulta al peso como la longitud a su acortamiento».

En la parte dedicada a la flexión de barras, incluye una serie de teoremas que en algunos casos asume el viejo error de la posición del eje neutro. Según parece esta parte del libro de Young es realmente difícil de leer, pero contiene algunas soluciones correctas, como las referidas al problema de la tracción o compresión excéntrica de barras de sección rectangular, situando correctamente la fibra neutra. Navier (1785-1836) realizó importantes avances en el primer cuarto del siglo XIX. Nació en Dijon y tras la muerte de su padre, cuando él tenía 14 años, fue a vivir con su tío Gauthey, ingeniero francés muy

conocido. Ingresó en la Escuela Politécnica y después fue admitido en la Escuela de Puentes y Caminos donde su tío había estudiado y enseñado matemáticas. En los últimos años de su vida, Gauthey preparaba un tratado sobre puentes y canales, que terminó y editó Navier en tres volúmenes, entre 1809 y 1816. Para actualizar el trabajo de Navier añadió notas en diversos lugares. La parte de esta publicación dedicada a la teoría de flexión de barras prismáticas sigue con los mismos planteamientos de Mariotte y Jacob Bernoulli. A pesar de haber transcurrido 43 años desde la muerte de Coulomb y 100 años desde la de Parent, Navier no conocía sus trabajos.

Muy poco después, en 1819, al comenzar a dar clases de resistencia de materiales en la Escuela de Puentes y Caminos, ya había corregido el error. Y ya en la primera edición de sus apuntes en 1826, situaba correctamente la posición de la fibra neutra en la flexión de piezas, en materiales que siguen la ley de Hooke.

Fue elegido miembro de la Academia en 1824 y en 1830 llegó a ser profesor de cálculo y mecánica en la Escuela Politécnica. Sus clases sobre estos temas fueron publicadas como «Résumé des leçons de Mécanique», y durante muchos años gozaron de popularidad entre los ingenieros franceses. Aun en la actualidad se denomina fórmula de Navier a la expresión que define las tensiones en una barra sometida a flexión.

Navier definió el módulo de Young, en 1826, por primera vez de acuerdo a los términos modernos, como la relación entre la tensión y la deformación unitaria.

Augustin Cauchy (1789-1857) fue un matemático que nació en París y cuyos trabajos supusieron un cambio cualitativo en la resistencia de materiales. Estudió en la Escuela Politécnica y entró en la Escuela de Puentes y Caminos donde se graduó en 1810. Trabajó en importantes obras de ingeniería, pero compartía su dedicación a la investigación matemática.

En 1822 publicó un trabajo en el que formula de manera generalizada las ideas de tensión-deformación. Los ingenieros del siglo XIX, al ver sus trabajos se percataban de la facilidad que presentaban sus conceptos para ser entendidos; y lo más importante era que una vez asumidos y comprendidos el análisis de una estructura completa quedaba mucho más simplificado.

Por primera vez en la teoría de la elasticidad, Cauchy introduce la idea de tensión. Hasta entonces se hablaba de fuerzas que actúan entre las moléculas del cuerpo elástico. Se manejaba el concepto de presión (en un líquido o gas), que se ejerce por igual en todas las direcciones, pero la tensión se refiere a un plano que pasa por un punto del cuerpo elástico.

Como dice Gordon, en su libro «Structures», Galileo escribió en «Dos nuevas Ciencias», como una barra sometida a tracción tenía una resistencia proporcional a su sección transversal; sin embargo, se necesitaron cerca de 200 años para dividir la carga de rotura por el área, para llegar al concepto de «tensión de rotura» aplicable al material de modo general.

Bibliografía:

- Timoshenko, Stephen P. History of strength of materials. Ed. Dover Publications, Inc. New York, 1983.
Gordon, J.E. Structures, or why things don't fall down. Ed. Da Capo Press. Inc. New York, 1978.

- Molduras.
- Arcos.
- Ornato y fachadas.
- Escultura.
- Edificios públicos.

El listado anterior es una relación, no exhaustiva, de los temas principales que desarrolla Bails en su libro De la arquitectura Civil. Puede observarse que el índice tiene una gran falta de coherencia, sobre todo en la jerarquía de los títulos o capítulos. De un total de 888 páginas, a la carpintería de madera se dedican unas 55, es decir sobre un 6%.

Instrumentos utilizados en los experimentos de Hooke