

En resumen, que la acción del hombre sobre las lluvias es, por lo menos actualmente, limitadísima. Para que fuera eficaz, sería preciso encontrar el medio de provocar grandes corrientes ascendentes ó de producir en las alturas enfriamientos bastantes para condensar el vapor contenido en la atmósfera.

Parece que, si esto fuera posible, sería más práctico emplear la misma energía en producir una llamada de aire y enfriarlo por los mismos medios, obteniendo así el agua que necesitáramos.

No puede calificarse el empeño de totalmente imposible; pero, dados nuestros actuales elementos, estaría fuera de toda comparación con los resultados obtenidos.

Una sencilla reflexión bastará para demostrarlo. Prescindiendo de la energía necesaria para poner el aire en movimiento haciendo caso omiso de la que haría falta para conducirlo, enfriándolo á punto de saturación sería preciso por lo menos absorber el calor de condensación que, como se sabe, es para las temperaturas ordinarias de cerca de 600 calorías por kilogramo de agua.

Suponiendo que fuera igualmente fácil añadir que sustraer calor, no reconociendo valor alguno á los gastos de instalación y admitiendo que las pérdidas de energía habían de ser nulas, ó que el coeficiente de rendimiento fuera precisamente la unidad, todavía necesitaríamos por metro cúbico 600.000 calorías, que son el equivalente de 75 kilogramos de hulla, por lo menos; á 5 céntimos el kilogramo, y no sería un precio excesivo para la mayor parte de España, el del metro cúbico de agua se elevaría á 3,75 pesetas.

Sólo la explotación de riquezas considerables como la de los placeres auríferos de la Alaska permitirían comprar el agua á ese precio, y para eso, en la cantidad indispensable para la bebida y usos domésticos que, mejor ó peor, ya se encuentran servidos en la mayor parte de los lugares habitados.

Hay, pues, que renunciar por hoy á toda idea de modificación del régimen de las lluvias y concentrar todo el esfuerzo en la mejor utilización del agua que llega al suelo, ya aprovechándola directamente en el sitio en que cae por medio de inteligentes labores, ya embalsándola y distribuyéndola por obras adecuadas para poder hacer frente á las deficiencias de la estación seca.

Que nos reserve el porvenir y hasta qué punto el abaratamiento de las fuerzas y el conocimiento cada vez más perfecto de las leyes naturales permitirá al hombre en lo futuro abordar empresas que exceden hoy á su limitado esfuerzo, cuestiones son á las que no es fácil dar una contestación razonada. Ya decía Ampere que la palabra imposible debía ser borrada del diccionario de las ciencias; pero si esa consoladora idea puede dar ocasión á hermosos sueños, no debe hacernos cerrar los ojos sistemáticamente á la realidad, que si es el sueño reparador, descanso y obligada tregua en el constante y penoso batallar de las luchas por la existencia, no hay que olvidar tampoco que, imagen de la muerte, su duración indefinida acabaría por identificarle con su modelo.

PEDRO M. GONZÁLEZ QUIJANO.

La mecánica estereotómica.

(CONCLUSIÓN)

En los puentes ó viaductos, y, en general, en las obras sujetas á la acción trepidante de grandes cargas rodadas, sucede un fenómeno análogo.

Generalizando, pues, la observación anterior, hay que proceder á un despiezo por juntas normales á las diversas evoluciones de la línea potencial de acción externa, único medio que poseemos para anular la componente de aquella línea sobre las superficies de junta.

La línea potencial es independiente del despiezo; pero vemos como éste puede provocar descomposiciones en los vectores que por su envolvente configuran aquella línea, de cuyo fenómeno emana precisamente la esencia científica del aparejo, como ya previó el gran Adhemar en sus célebres refutaciones á los sistemas de construcción de los pasos oblicuos, que en un principio propuso Clapeyron. Esta idea, suficientemente generalizada, viene indudablemente á orientarnos por el camino que conduce al descubrimiento de una relación, con seguridad existente entre el aparejo, el equilibrio y la línea potencial de una estructura; la determinación completa de esta relación misteriosa nos revelaría la regla abstracta del despiezo mecánico de las formas estereotómicas... pero el problema no está hoy todavía resuelto.

Existe ordinariamente una confusión lamentable entre el aparejo y la labra de las piezas; significa de ordinario la Estereotomía, el conjunto de operaciones gráficas conducentes á la obtención de todos los datos determinativos de los sólidos; con frecuencia complicados, que configuran las piezas de la estructura dovelar; significa además la Estereotomía el orden de operaciones y la factura material de las mismas, para arrancar de la entraña del bloque informe al complejo poliedro matemático que contornea la dovela... Todo esto no es estereotomía, en el aspecto lógico de la ciencia estructural del despiezo; todo esto es, sencillamente, una *estereografía*, un arte de dibujar y obtener sobre un solo plano los elementos estéreos pertenecientes á formas de sólidos más ó menos complicados. Desde este punto de vista, en efecto, la ciencia estereotómica ha se vestido ya del carácter definitivo de doctrina clásica y constituida, como lo indica claramente el que desde la formación de la Geometría descriptiva, en el siglo pasado, viene la estereotomía figurando como asignatura consabida en las Escuelas de construcción existentes en todo el mundo... De ordinario, no se paran mientes en el fondo mecánico del problema, á no ser por los pequellos detalles de orden puramente práctico, como, por ejemplo, el consejo de evitar las juntas dobles, los ángulos agudos, etc., etc.; pero respecto á la mecánica del aparejo, circunstancia esencial que es precisamente la base del equilibrio, no se dice nada general y concreto, y, sin embargo, la primordialidad de la cuestión es evidente que está en la resolución de aquel equilibrio por virtud de alguna ley que ligue las fuerzas externas con el despiezo que se adopte.

Se objetará tal vez que existen reglas clarividentes, de carácter general, que, apoyándose en propiedades geométricas de las superficies estructurales, dictan el aparejo de éstas; conforme; pero estas reglas, dictadas por el sor-

prendente ingenio de Monge, no significan, al fin, más que la teorización de uno de los detalles prácticos antes aludidos, cual es el de evitar los ángulos agudos, detalle que así, ingeniosa y efectivamente queda realizado, si tomamos, como aconseja Monge, las líneas de curvatura de la bóveda por líneas de junta, en cuyo caso resultan desarrollables los lechos de las piedras, engendrados por normales á la bóveda, y, naturalmente, se resuelve también la ortogonalidad entre las líneas de junta. Pero esta ley genial, que produce en ciertos casos verdaderos poemas de armonía matemática, como se ve, por ejemplo, al aplicarla á las bóvedas elípticas escalenas, no es, sin embargo, la ley mecánica general del aparejo.

La regla de Monge significa únicamente un grado intermedio y precioso de la ley, desconocida y mecánica, á que aludimos, es tan sólo una *generalización limitada* del aparejo de algunas construcciones elementales, y, en efecto, así lo comprendemos al intentar la aplicación de la teoría del aparejo por curvaturas á una bóveda cilíndrica con esviaje, en cuyo caso ésta se derrumba; apliquemos la misma ley á un túnel de gran pendiente, y éste cae; sirvámonos de aquella ley para el despiezo de una trompa de revolución, y ella se desequilibra. ¿Es, pues, falsa la ley de Monge?... ¡No! Lo que hay es que es una ley de no suficiente carácter general, como hemos dicho; una ley, en fin, que viene á afirmarnos cómo la ciencia estereotómica atraviesa actualmente la evolución normal que caracteriza á los períodos de formación de todas las ciencias, que sabemos comienzan y se desenvuelven por el sucesivo descubrimiento y estudio de casos particulares, casos que gradualmente van presentándose con mayor generalidad hasta llegar á uno de grado suficientemente complejo, el cual, por abarcar ya á todos los anteriores nos da la norma general de los mismos; entonces sólo es cuando se conoce la base fundamental de la ciencia en cuestión. En la Estereotomía hase de verificar exacta gestación.

El puente oblicuo marca la etapa en que termina la ley de Monge, pues no pudiendo esta obra aparejarse mecánicamente, según las leyes por aquel geómetra sentadas, induce la idea de nuevos aparejos de equilibrio que son iniciados por el Ingeniero inglés Chapman en la construcción de los puentes del condado de Kildere (Irlanda), en cuyas construcciones se descubre ya el intento de descomponer los vectores de la línea potencial al objeto de llevar el empuje á los estribos.

Estas estructuras, que datan aproximadamente del año 1830, tienen una definición mecánica bastante luminosa en la propia obra de su autor, titulada *Oblique bridges*, definición que aclara y precisa ya de un modo completo algo más tarde, en 1842, Mr. Adie, con el sistema de los *equilibrated courses*, por él preconizado, sistema que no es, en definitiva, más que el método de aparejo por lechos cilíndricos á lo largo de las trayectorias ortogonales de las secciones del puente producidas por planos paralelos á las embocaduras, en cuyo sistema ve Nicholson una simplificación notable por el mero hecho de sustituir á dichas trayectorias por hélices de gran paso, sentando así el método helizoidal inglés, cuyo análisis es debido á Watson Buck, Fox, John Hart y otros insignes Ingenieros británicos.

Sin embargo, á pesar de las simplificaciones reportadas por el anterior sistema de las hélices, se siguió empleando en Francia el método original con todo su rigor, gracias á los estudios de Lefort (1854), á quien se debe la ecua-

ción diferencial y la integrada correspondiente á las líneas de junta.

Las precedentes citas, que son solamente las más notables de la fecunda arquitectonografía de los puentes oblicuos, sirven sólo para ver la relativa juventud, el interés y los profundos estudios evocados por la aparición de los cilindros en esviaje, con los cuales comienza á sentirse el verdadero espíritu mecánico de los despiezos estereotómicos.

Y no es sólo el puente oblicuo, desarrollado por la industria de los ferrocarriles, el elemento que cambia radicalmente la faz de las construcciones que trabajan por compresión de sus elementos, sino que existen otros géneros de construcciones, especialmente en Francia, en las que se revela un esfuerzo portentoso de resolución nueva en el despiezo, una como precursoria de un aparejo mecánico racional y general, todavía no encontrado. Entre las obras aludidas merecen mención especial las célebres trompas del puente de Tours, que ensanchan el paso en los extremos para mejor envocar su tránsito. Estas trompas, construídas el siglo pasado por el célebre Inspector general de *Ponts et Chaussées*, M. Bayeux, tienen un despiezo originalísimo y de un sentido mecánico sorprendente y genial; las líneas de junta seguidas vienen á ser las trayectorias ortogonales de la curva generatriz de la construcción, advirtiendo que esta generatriz varía notoriamente de forma en sus diversas posiciones, circunstancia que, á pesar de complicar extraordinariamente el problema, no dificulta al autor su resolución, por haber éste sabido encontrar ingeniosas simplificaciones, que no hacen, sin embargo, para los efectos prácticos, cambiar en nada la esencia teórica del aparejo.

Son, realmente, en la vecina república muy frecuentes las construcciones de esta naturaleza, por lo que el espíritu observador tiene ocasión de ver los esfuerzos de los estereotomistas franceses en encontrar el aparejo mecánico ideal.

El mismo *Pont Royal*, de París, tiene á su vez, en las trompas extremas, soluciones de despiezo altamente interesantes y completamente desligadas de las líneas de curvatura de la superficie que informan.

Existe, pues, indudablemente alguna solución general que se pugna por encontrar, y dentro de la cual caben las leyes del insigne Monge, como soluciones particulares, viniendo, entre otras razones, á demostrarlo el que al anular el esviaje de un puente oblicuo, degeneran en generatrices del cañón, es decir, en líneas de curvatura de éste, las trayectorias ortogonales del aparato mecánico racional.

Si suponemos, para terminar, que la bóveda cuyo despiezo se busca es un cilindro en pendiente, las dificultades crecen de todo punto, hasta el extremo de que, con frecuencia, hay que apelar, para el equilibrio, al empleo de los llamados *ancrages* ó tendones locales de consolidación, realizados en hierro, cuya presencia en una construcción estereotómica es completamente irrisoria, por equivaler á trocar radicalmente el trabajo, que debe únicamente ser compresivo entre las piezas constitutivas ó el dovelaje.

Para los cilindros en pendiente, se debe al gran Resal la continuación de la videncia mecánica de la estereotomía, iniciada con los puentes oblicuos horizontales; sienta este célebre Ingeniero, con un espíritu generalizador excepcional, unas ciertas reglas de aparejo que vienen, en

definitiva, á constituir como un caso más amplio de las que rigen en los puentes oblicuos, ya que, efectivamente, un cilindro en bajada y un cilindro en esviaje, son, de un modo general, dos cañones cuyas embocaduras verticales cortan oblicuamente al eje. A tal efecto, dedúcese que:

Las curvas de las juntas discontinuas, trazadas sobre el intradós, deben estar en planos paralelos á la dirección de las fuerzas exteriores ó cargas. Estos planos se distribuirán de manera que, por un cambio regular y gradual de orientación, pasen desde la dirección de una embocadura de la bóveda á la de otra embocadura; los lechos discontinuos podrán ser planos. Las curvas de las juntas continuas, trazadas en el intradós, serán trayectorias ortogonales de las anteriores; y las correspondientes superficies de junta ó lechos, serán superficies alabeadas engendradas por una normal á la curva de juntas discontinuas, situada en el plano de esta curva, cuya normal se irá desplazando sobre la línea de junta continua.

Estas reglas estereotómicas, de colosal instinto mecánico, sintetizan todos los despieces racionales de las bóvedas cilíndricas, y ellas, que en la práctica son susceptibles de simplificación, sin que se altere la esencia de las mismas (aquí precisamente juega el espíritu de práctica y de economía que debe desplegar el Ingeniero), pueden perfectamente aplicarse lo mismo á las bóvedas en pendiente, que á las bóvedas en esviaje, y á las cilíndricas de eje horizontal con testas en talud, etc.; y, finalmente, dan también resultado al aplicarlas á los cañones en gran pendiente y gran esviaje, á la vez; estructuras estas últimas de tan complejísima mecánica, que indudablemente hubiesen hecho retroceder, cincuenta años atrás, á los Ingenieros más hábiles, y lo decimos así, por cuanto el mismo Dejardin, en su *Etablissement des voutes*, publicado en 1845, aconsejaba el evadir, á ser posible, la construcción del puente oblicuo, merced á un cambio de alianeación en el trazado del camino, dada la dificultad entonces aún reinante, en el problema del aparejo.

Con todas estas novísimas leyes del despiece mecánico, ¿se ha llegado ya á la generalización de las reglas estereotómicas?... Evidentemente que no, pues ella, en rigor, no hacen más que descubrir la esencia real del equilibrio de un conjunto litópolo, es decir, de un montón geometrizado de piezas talladas, en cuya estabilidad juega toda una mecánica grandiosa cuyos principios solamente son conocidos en casos particularísimos, mientras que en otros de mayor generalización (que la ingeniería y la arquitectura futuras irán indudablemente exigiendo), alcanzan un grado tan complicado, que apenas hoy pueden veladamente presentirse.

Las disertaciones anteriores vienen, en definitiva, á demostrar como, hasta hace muy poco, no hemos abierto los ojos ante el problema mecánico de la ciencia estereotómica; y, efectivamente, hace tan poco, es tan reciente el descubrimiento, que aun pasa completamente desapercibido, viniéndolo á probar el hecho de que los estudios del despiece se hacen preceder á los de la mecánica de la construcción en la mayor parte de las Escuelas especiales, con lo cual se significa á la estereotomía como una estricta aplicación de la Geometría descriptiva. Si á esta observación unimos el principio incontrovertible de que todas las ciencias son indefinidas en la extensión de sus investigaciones, vendremos á convencernos, finalmente, de que las

estructuras unirresistentes y litópolas, es decir, las construcciones estereotómicas, están en la actualidad dentro un grado de formación en absoluto embrionario.

BIBLIOGRAFÍA

Filosofía de las estructuras por D. FÉLIX CARDELLACH, Ingeniero, Arquitecto y Catedrático. — Un tomo en 8.º; precio en rústica, 8,50 pesetas, y en tela, 10.

Por los dos capítulos de la obra que hemos publicado (en el número anterior y en el presente) habrán podido juzgar nuestros lectores del punto de vista en que se coloca el autor para hacer un estudio sintético de las formas constructivas; y por el índice detallado que insertamos á continuación deducirán el amplio horizonte que abre á la imaginación para crear otras nuevas; es un estudio original que, escrito en estilo ameno, resulta muy interesante para estimular el sentido mecánico que debe acompañar y aun preceder á todo cálculo matemático.

Índice detallado de la obra.

Parte I.—FUNDAMENTOS GENERALES.

El principio estructural: El principio de estructura revelado por la naturaleza.—La perfección de una obra constructivo-arquitectónica está en razón directa del acuse de sus formas resistentes.—El esqueleto gótico.—El principio de estructura soberano de la construcción actual.—Génesis ó ley de evolución del principio estructural.

Origen de las estructuras: La concepción de una estructura como fenómeno de inspiración.—La etnografía y la sensibilidad mecánica.—Apariencia de los problemas de la Ingeniería.—Constante carácter de la facultad creatriz de estructuras.—El ingeniero, refractario á la inspiración, descubrirá un método deductivo de las formas estructurales.

La agrupación: Transcendencia de una clasificación de estructuras.—Análisis de los conceptos distintivos que pueden servir de base á dicha clasificación.—El punto de partida clasificativo debe consistir en la aptitud de la estructura para reaccionar contra las fuerzas externas.—Dos característicos grupos de formas estructurales.—Análisis de los grupos sucesivos que naturalmente se desprenden.—Existencia de una filiación ó genealogía racional de estructuras.—El cuadro sinóptico de la agrupación encontrada.—«Coeficiente estructural», su importancia y utilidad.—Fondo mecánico de la clasificación deducida.

Línea potencial de acción externa: Equilibrio de un sistema mecánico.—Acción y reacción en un sistema estático; análisis de la ley de equilibrio en una forma estructural; plano analizador.—Caso general.—Aparición de la línea potencial de acción externa.—Visión de todo un nuevo mundo de estructuras en el que nuestra arquitectura significa tan sólo un pobre caso particular.—Estructura alabeada trabajando sin flexión ni torsión.—Sistemas coplanos.—Línea de presiones como caso particular de la potencial de acción externa.—Líneas potenciales parciales; resultante de ellas.

Parte II.—SÍNTESIS DEL CÁLCULO DE LAS ESTRUCTURAS PLANAS CON CARGAS EN SU PLANO MEDIO.

Los dos grandes empirismos: Evidencia de la reacción de la estructura contra su línea potencial de acción externa.—Sencillez y claridad del único problema mecánico que rige á toda la arquitectura.—Plasticismo de este problema y su independencia de toda matemática.—Paso al empirismo.—Confusión y multiplicación con que se presentan los métodos de cálculo de las