

La señal sonora completamente montada cuesta 37.000 francos, de éstos 33.000 para la maquinaria y 4.000 para la sirena y sus accesorios.

El aparato óptico es de grupos de tres resplandores rojos de quince en quince segundos y de seis lentes de 60° de amplitud cada una y 0,70 metros de distancia focal. Es del tipo más reciente de los aparatos franceses, con flotador de mercurio y eje central y aparatos catadióptricos de la mayor precisión. Está iluminado por lámparas de incandescencia, por el petróleo con manguito, de 85 centímetros de diámetro. La potencia de los resplandores de luz roja, es de 3.300 mecheros Carcel y da un alcance luminoso por lo menos igual á 20 millas, en tiempo despejado, y de 7 en tiempo nebuloso.

El aparato óptico, comprendido el montaje, cuesta 70.000 francos.

El farol, con sus cristales rojos, cuesta 30.000 francos.

Las obras, que se empezaron en 1904, están á punto de terminarse. Los ensayos de funcionamiento y la instrucción del personal ocuparán una parte del verano. La inauguración del faro se verificará antes del invierno.

La mecánica estereotómica ⁽¹⁾

Las construcciones estereotómicas, es decir, las estructuras que trabajan por compresión y están formadas únicamente por una serie de piezas sin más enlace entre sí que el mutuo apoyo verificado á lo largo de las respectivas superficies de junta, pueden en rigor compararse á montones de cuerpos, á *empilages* de sillería, ó de otro

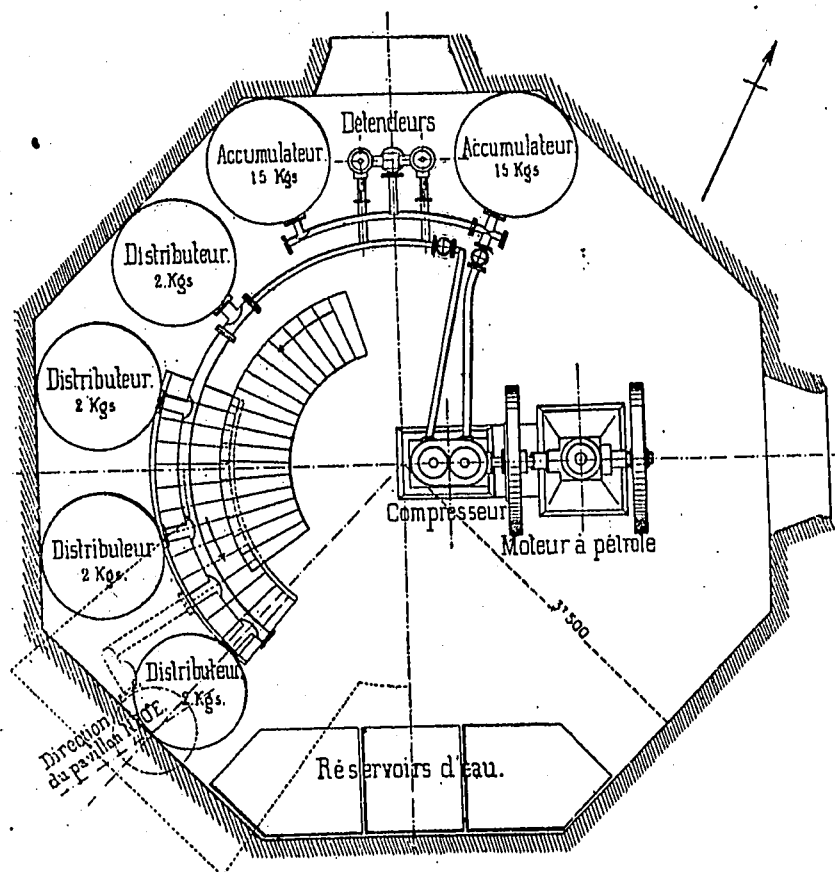


Fig. 7.^a

El cuadro siguiente resume los datos principales que caracterizan la obra que acabamos de describir sumariamente y que hemos extractado de un artículo publicado en los *Annales des Ponts et Chaussées*, en su parte técnica correspondiente á los meses Marzo-Abril.

Farol de la Jument d'Onessant.

Altura del foco en metros por encima del suelo.....	42 metros.
Idem id. por encima de las altas mareas.....	36 »
Diámetro medio de la base (de la cota 2 á la 10,50).....	11 »
Idem exterior de la torre en la base (cota 10,50).....	9 »
Cubicación de la mampostería.....	1.742 metros cuad.
Peso total de la misma.....	4.180 toneladas.
Gastos.	
1.º Construcción y mobiliario de la torre.....	713.000 francos.
2.º Aparato óptico completo.....	100.000 »
3.º Señal sonora.....	37.000 »
	850.000
Pagados con la donación Petróon.....	410.710,45
Idem por el Estado.....	439.289,55

material distinto de la piedra, que se equilibran, en fin, mecánicamente tan sólo por *gravedad*. Son, en una palabra, tales construcciones, estructuras muertas, por carecer de la vitalidad elástica que constituye el privilegio de las obras birresistentes. Hay, realmente, en toda estructura elástica, un principio de energía y de vida que se opone con original tenacidad á su desequilibrio, como afirmando la presencia de un sorprendente espíritu natural de animación que nos está constantemente tranquilizando respecto de la estabilidad. Este espíritu ó principio, viene por la vía original de la ciencia de la construcción, á confirmarnos la ley mantenedora de la vida: el movimiento; y, en efecto, en la construcción elástica existe una verificación completa de tal ley, por cuanto las estructuras correspondientes están en una actividad constante por experimentar, constantemente también, las contracciones y dilataciones originadas por los indefectibles cambios de elástica.

(1) Del interesante libro de D. Félix Cardellach *Filosofía de las estructuras*.

Por el contrario, en las estructuras despiezadas, principalmente en las de carácter aligerado ó no formadas por grandes macizos, es decir, en los pilares, arcuaciones y nervaduras pétreas, en general, nuestro sentimiento advierte como una inestabilidad inquietante que nace precisamente de la ausencia de aquella vida y de la conciencia instintiva que tenemos de que el equilibrio es deficiente, artificial, pues está producido de un modo exclusivo por nuestra mano y merced á argucias ó artificios de pura posición.

Por ley compensatriz, el material corriente de las estructuras estereotómicas ó litópolas, es la piedra, cuya general inalterabilidad por los agentes atmosféricos es lo que resuelve la duración de la obra. Si las armaduras elásticas no fueran oxidables, alcanzarían una perduración incomparablemente superior á toda la arquitectura monumental. La cuestión de duración es, pues, un accidente del orden químico, y ello no reza con la esencia mecánica de que aquí estamos tratando.

Por estas elementales ideas compréndese fácilmente cómo, en términos generales, son más interesantes y complicadas de estudio las estructuras estereotómicas que las elásticas, toda vez que en las primeras el equilibrio solamente depende de la mano del hombre, al paso que en las segundas, por encima del tratamiento que se las da, existe la salvaguardia de la elasticidad con que la sabia Naturaleza las ha revestido.

De aquí, precisamente, procede el progreso rápido de la arquitectura del metal una vez iniciada, y de aquí también el atraso completo que en la actualidad revisten las estructuras estereotómicas, á pesar de los millares de años con que vienen evolucionando.

Si el lector ha reflexionado sobre la índole mecánica de la construcción aparejada, indudablemente estará conforme con la conclusión precedente, pero si esta reflexión no le ha sugerido, si ha visto tan sólo en las estructuras de piedra un mundo suntuoso de belleza y una prosapia arquitectural de nuestros hermosos monumentos... entonces, con seguridad absoluta, le sorprenderá intensamente el que proclamemos el atraso de un sistema constructivo que, por haber ya llegado á la cúspide de su perfección, ha designado por sucesores al hierro y al acero, que imperan en nuestro siglo. Sin embargo, es completamente cierto que la construcción estereotómica merece en la actualidad un estudio profundo para llegar al descubrimiento de sus *leyes generales*, que, como veremos en seguida, son por ahora del todo desconocidas.

Los principios mecánicos del despiezo, aparentan ser bien simples y completamente definidos; basta decir que todos ellos se encierran en tres elementales conclusiones que, respectivamente, hacen referencia: al ángulo que con los lechos de las piezas pueden formar las fuerzas compresoras; al punto de paso que en aquellos lechos pueden tener las resultantes de dichas fuerzas compresoras, y al valor de la presión máxima por unidad superficial que resisten las piezas de la construcción.

La aclaración de estas conclusiones es bien sencilla también:

Al objeto de evitar el resbalamiento de una pieza sobre otra, es necesario que el vector representativo de la presión, que la primera transmite á la segunda, corte al lecho ó superficie de junta, entre ambas piezas, bajo un ángulo

no menor que el complementario del llamado de «rozmiento».

Además, á fin de evitar esfuerzos tensivos en la zona de la superficie de junta, cuyos esfuerzos originarían (toda vez que la resistencia á la tensión en dicha zona es nula) el basculeo ó giro de una pieza sobre otra, se hace necesario que la resultante de la presión atraviese á la junta precisamente por un punto interior de su núcleo central.

Y, finalmente, es preciso, para prevenir el aplastamiento de las piezas, que la presión máxima por unidad superficial no rebase el coeficiente de seguridad al trabajo por compresión, en el material de que se trate. Esta presión máxima, cuyo valor nos viene determinado, como sabemos, por la ley trapezoidal, puede, en la práctica, sensiblemente considerarse que vale el doble de la presión media, es decir, de la que resulta de dividir la presión total por el área del lecho, que es el caso más desfavorable, porque equivale, evidentemente, á suponer que la presión resultante no pasa por el centro de gravedad del referido lecho.

Estas son, sencillamente, las leyes fundamentales de la mecánica estereotómica; ahora, para la aplicación de estas leyes, es decir, para averiguar si se satisfacen ó no, se hace necesario el determinar para cada estructura su correspondiente línea potencial de acción externa (es decir, la línea de las presiones en nuestro caso). pues ya sabemos cómo tal línea, en unión de su polígono de fuerzas, nos ofrece para cada sección de la estructura la resultante de las fuerzas externas que obran contra dicha sección. Ahora bien: ya se analizó oportunamente la entraña de esta cuestión; allí, pues, nos remitimos, pero háse de observar aquí una particularidad ciertamente original.

Una estructura estereotómica no tiene definición exclusiva de empotramientos ni de articulaciones, puesto que toda vez que no es posible, para mantener el equilibrio, el permitir rotaciones de unas dovelas respecto á las otras alrededor de las aristas de junta, en todas las juntas podráse suponer existente una cierta condición de aparente empotramiento; pero, en cambio, por lo mismo que la libertad en ellas es completa, puesto que hay una solución de continuidad absoluta (toda vez que en las obras de sillaría el mortero es usualmente considerado sólo como un transmisor de cargas, pero sin eficacia adherente), se verifica que también en todas las juntas existe, más ó menos acentuado, el principio de la rótula.

De este principio de rótula proviene precisamente el conjunto de múltiples rotaciones elementales, sin ley asequible á nuestro espíritu, cuyas *dislocación* de la estructura, gracias á la cual puede ésta experimentar algunas variaciones de perfil y ceder, sin derrumbarse, á ligeros movimientos del terreno, fenómeno curioso (que algunos técnicos califican malamente de elasticidad de las obras doveladas) del que tenemos repetidas pruebas en toda la construcción gótica que, como es sabido, al igual que la generalidad de las arquitecturas no modernas, posee una deplorable deficiencia en lo que atañe á la infraestructura ó solución de las fundaciones.

Precisamente por el anterior fenómeno de la dislocación se han deslizado los analistas á fin de plantear el método para determinar la curva de las presiones en las estructuras arqueadas. En efecto, las tres regiones de máxima dislocación, digámoslo así, que presentan dichas estructuras, coinciden sensiblemente con la clave y con los

riñones del arco. En el riñón del arco existe situada la llamada «junta de rotura», es decir, aquella junta radial que forma aproximadamente con el horizonte un ángulo igual al de rozamiento (entre los 30 y los 40 grados) y que, por consiguiente, indica que para colocar, durante la construcción, las dovelas superiores es necesaria la presencia de una cimbra, sin cuyo artefacto dichas dovelas resbalarían. Ahora bien, las dos juntas de rotura situadas de la manera referida, y además la existente en la clave, vienen a representar tres articulaciones de máxima sensibilidad y á ofrecernos, por tanto, la determinación de la línea de las presiones. Queda ya sólo, para precisar el paso de dicha línea, el conocer cuál de los puntos de las referidas juntas deben precisamente jugar el papel de articulación, puesto que si bien nuestro sentido mecánico ve perfectamente que la junta de clave tiene su articulación en el estradós y las de rotura en el intradós, y lo ve, decimos, claramente, porque dichos puntos son los de báscula al iniciarse al desequilibrio en los arcos circulares y en los rebajados, no se pueden tomar tales puntos en la posición referida, por la sencilla razón de que caerían fuera del núcleo central, por consiguiente, se tomarán los que, estando situados en el mismo núcleo, estén más próximos á los de verdadera báscula, viniéndose por todo esto á suponer, en definitiva, que la línea de las presiones pasa por el tercio superior de la clave y por los tercios inferiores de las juntas de rotura. Tal es el método que la experiencia ha sugerido á M. Méry.

Habiendo así acomodado el problema del equilibrio de los arcos de sillería á la ciencia de la estática, basta plantear sus relaciones fundamentales para resolver la cuestión. Supóngase, al efecto, la mitad del arco, equilibrado por el empuje horizontal incógnito aplicado al tercio superior de la junta de clave; tómese el momento de esta fuerza respecto al punto situado en el tercio inferior de la junta de rotura; tómese, además, respecto al mismo punto, el momento del peso propio y de las cargas que corresponden al medio arco en cuestión; iguálase á cero la suma algebraica de todos estos momentos, y despéjese, finalmente, el empuje horizontal. El valor de este empuje es, evidentemente, la distancia polar del polígono de las fuerzas; queda, pues, éste determinado, y, por consiguiente, conocida la línea potencial de acción externa...

Si las articulaciones ó puntos de paso de la línea potencial fuesen efectivamente reales, la racionalidad del método anterior sería completamente irreprochable; pero, en la actualidad, aquel método tiene un fondo de fantasía y de conveniencia acomodatriz que le desautoriza completamente en el terreno rigorista de la ciencia, convirtiéndole tan sólo en *medio* para averiguar la posibilidad de una solución de equilibrio de la forma estructural.

Los Ingenieros alemanes, con su característica videnia, comprenden que la filosofía de los hechos constructivos es solamente un eco de los mismos, es decir, que éstos con sólo filosofarlos no se alteran, toda vez que en ellos preside la inmutabilidad mecánica; comprenden, en fin, cómo hay que traducir en realidades las consideraciones especulativas anteriores para que ellas sean ciertas en la esfera de lo tangible, y á este efecto, materializan con sorprendente perfección el principio vago de la triple rótula que antes se ha definido.

La característica de los puentes alemanes de sillería, y también á veces de hormigón armado, construídos en es-

tos últimos años (á partir sensiblemente de 1902), estriba en la presencia de verdaderas articulaciones dispuestas en las juntas de rotura, ó sea en el nacimiento de los arcos, si éstos son escarzanos, y ordinariamente en la clave también.

Tales articulaciones se resuelven de dos maneras distintas: ó por medio de un verdadero órgano maquinal formado por dos cojinetes y un gorrón de acero, ó más usualmente, por la adopción de lecho cilíndrico en la junta donde se desea que juegue la articulación. Esta solución última, que no por ser sencilla deja de acusar un sorprendente ingenio, se realiza en la práctica labrando en granito las dos dovelas que configuran la rótula; las caras de mutuo apoyo de estas dos dovelas son cilíndricas, trazadas á simple arco de círculo, con centro á un mismo lado de la junta, pero con radio distinto para cada dovela, correspondiendo, naturalmente, el radio menor á la junta convexa y el mayor á la cóncava. Suele, además, intercalarse en el tercio central de estos lechos cilíndricos una lámina de plomo de unos dos centímetros de espesor, genial dispositivo que asegura el reparto de la presión en una cierta superficie sin perjudicar en nada el libre giro elemental.

Liebold y otros ingenieros del imperio alemán aplican ya sistemáticamente los anteriores dispositivos á las geniales y atrevidas estructuras de piedra, como, por ejemplo, la del Nekarhausen y otras, que poseen luces extraordinarias y reducidísimas flechas. Si los morteros empleados en estas estructuras aplanadas, han sido escrupulosamente escogidos y ensayados, y además se disponen en ellas las articulaciones referidas, puede entonces con cierta prudencia jugar en la verificación correspondiente la teoría del arco elástico, con lo que comienza á mixtificarse la verdadera esencia estereotómica de la construcción. Esta es la tendencia moderna de las grandes y aligeradas obras de cantería aparejada, realizadas por los ingenieros alemanes.

Suponiendo ahora que á pesar de la nebulosidad que hemos visto envuelve á la determinación de la línea de las presiones, nebulosidad que constituye la primera conclusión que deducimos para demostrar el atraso de las estructuras estereotómicas, se lograra por el método alemán ó por la aplicación de otros principios, el precisar la situación de aquella línea, corresponde inmediatamente el desplegar gran atención al hacer el despiezo para evitar de un modo absoluto los esfuerzos cortantes desarrollados en las formas.

El esfuerzo cortante en una junta estereotómica, es decir, la proyección sobre ella del vector que representa el esfuerzo actuante contra la junta, es, naturalmente, la causa de los deslizamientos de unas dovelas sobre otras, deslizamientos que evidentemente no tendrán lugar hasta tanto que dicho esfuerzo cortante no supere al producto de la presión normal á la junta por el correspondiente coeficiente de fricción; sin embargo, conviene evitar, si es posible, de un modo absoluto, cualquier valor de esfuerzo cortante, por nimio que sea, ya que la sola presencia de dicho esfuerzo hace que en las trepidaciones á que esté sujeta la obra se multiplique la tendencia al deslizamiento dovelar, lo que explica la relativa facilidad con que se han desmoronado ciertas construcciones militares de fortificación por efecto no sólo del choque de los proyectiles enemigos, sino á causa principalmente de la vibración originada por los disparos de las baterías propias.

(Continuará).