

Memorias de la Escuela de Caminos

XIII

El estudio de los Mecanismos y D. Miguel Martínez de Campos

No ha sido mi único propósito al escribir estas crónicas reverdecer en la memoria de los viejos compañeros y dar a conocer a los nuevos, figuras y sucesos de los antiguos tiempos de la Escuela, de aquellos tiempos inolvidables en que tuvieron su sólido cimiento las glorias y prestigios de que hoy disfruta la Corporación. Algo es, y con ello me doy por satisfecho, si he logrado provocar en unos la emoción sentimental que acompaña al recuerdo, y en otros la curiosidad y el interés que despierta la vida y hechos de nuestros antepasados; pero repito que no ha sido esa mi única finalidad.

Pretendo a la vez, y ya lo dije en otra ocasión, hacer revivir ante la actual generación de ingenieros, sacándola del olvido en que yace, la labor fecunda y original de algunos de nuestros más insignes maestros, de aquellos cuyos nombres debieran resonar constantemente en el oído, pronunciados en el aula, y ver imborrablemente estampados en las páginas de nuestros libros de texto. Ese es mi mayor deseo; la gratitud y mi amor al Cuerpo a ello me inclinan, y para satisfacerlo en un caso, quizás el más brillante de todos, escribo la presente crónica, cuyo epígrafe revela el asunto de que voy a tratar, y la figura eminente a quien voy a referirme.

Pido perdón a mis lectores si, por el carácter especial de la materia, carece este artículo de la sencillez y soltura propias del género literario en que he pretendido escribir todos los anteriores; procuraré, sin embargo, ser lo menos enfadoso posible, y en todo caso, bien merece el asunto y la persona hacer alto en el estilo y cambiar por un momento nuestro modo de hacer habitual.

* * *

Un mes antes de comenzar el curso del 85 al 86 fué nombrado por segunda vez profesor de la Escuela D. Miguel Martínez de Campos. Era costumbre entonces, costumbre que ha perdurado hasta hace pocos años, la de nombrar los profesores sin especial designación de la asignatura de que se habían de encargar. A juicio de los antiguos Claustros, todo ingeniero, por el hecho sólo de haber sido elegido profesor de la Escuela, estaba capacitado para explicar cualquier asignatura de la carrera, y así se daba el caso verdaderamente extraño e inexplicable, de que raro era el año en que no apareciera completamente alterado el anterior plan de estudios

con una nueva lista de profesores. Profesor hubo que empezó explicando Física y Química; pasó después a Topografía, y terminó con Mecánica aplicada. Pasar de Máquinas a Ferrocarriles, y de Mecánica racional a Economía política, ocurrió más de una vez.

Pero no está en esto precisamente lo más extraño del caso; lo asombroso, lo verdaderamente inexplicable está en que estos saltos se daban casi siempre de un modo brusco, inesperado, sin que el profesor tuviera tiempo, no ya de prepararse, pero ni siquiera de leer el programa de la asignatura, con la circunstancia agravante algunas veces, de que hasta este programa había de ser hecho por él con la obligación de presentarlo a la Junta en brevísimo plazo.

Tal es el caso de Martínez Campos. Había explicado en su anterior etapa Cálculo e Hidráulica; pero la Dirección de la Escuela, por no sé qué exigencias del plan, le encargó de la asignatura de Máquinas, y como a la sazón la Junta se ocupaba en la redacción de nuevos programas, Campos tuvo que redactar el suyo en los pocos días que mediaron entre su nombramiento y la apertura del curso.

La lectura de este programa tan rápidamente presentado, fué objeto en la Junta de verdadero asombro, porque al gran desarrollo y perfecta ordenación de las distintas materias que lo constituyan, uníanse una forma de exposición y una doctrina para el estudio de los mecanismos completamente original es; nadie tenía de ellas la menor noticia.

Mucho se esperaba de su prodigioso talento; pero, aun así, era difícil explicarse cómo en tan corto plazo y sin preparación, pudo Campos escribir aquel programa. A los que hemos sido sus discípulos y a los que además por circunstancias especiales, hemos tenido necesidad de penetrar en sus ideas, ligeramente expuestas en los apuntes de sus alumnos,

pero desarrolladas ampliamente en el libro que publicó algún tiempo después su sucesor en la cátedra, D. Vicente Garcini, la explicación de lo que se consideró entonces y se debe seguir considerando como una maravilla, no es tan difícil, y creo poder demostrarlo.

No mucho tiempo antes, hacia el año 77, dióse a la publicidad una obra titulada *Cinemática*, del profesor F. Reuleaux, Director de la Academia Industrial de Berlín, en la cual se pretende establecer los principios fundamentales de una teoría general de las máquinas.

En el prólogo de este libro—lo más interesante y a juicio de muchos lo mejor de él—se dice, que el objeto que persigue su autor, es dar una forma científica al estudio de las máquinas, que permita la so-



D. Miguel Martínez de Campos

lución de problemas todavía no resueltos de manera racional por los métodos conocidos.

Es cierto que para el perfecto estudio de los mecanismos los elementos y medios que proporciona la antigua Cinemática no son suficientes; hay una parte de esta ciencia inexplorada, la más profunda y más importante, y que se concreta en las siguientes cuestiones:

¿Cómo se ha llegado a los mecanismos actuales?

¿A qué ley debe someterse el procedimiento que permite llegar de un modo racional y lógico a la combinación cinemática en que se funda un mecanismo? ¿Existe tal ley, o el mecanismo es el resultado de un artificio ingenioso que tiene por único origen los datos y elementos suministrados por la invención?

Que a la mayoría de los mecanismos actuales y a todos los antiguos anteriores a Reuleaux se ha llegado según lo que acabamos de indicar, no ofrece duda. Es curioso lo que a este respecto escribía Watt a su hijo, en noviembre de 1808, dándole cuenta de la marcha seguida en la invención del famoso paralelogramo que lleva su nombre.

Reconociendo Watt la imperfección del empleo de las dobles cadenas o de los arcos dentados con cremalleras para transformar el movimiento rectilíneo del émbolo en movimiento angular del balancín en las máquinas de vapor, pensó si sería posible realizar esta transformación valiéndose de dos movimientos alrededor de ejes de rotación, y «al cabo de algún tiempo»—según sus propias palabras—encontró que uniendo dos balancines de igual longitud con una biela, cuando aquéllos giraban un cierto ángulo con relación a las líneas horizontales que pasan por sus centros, un punto de la biela describía una línea sensiblemente recta, propiedad que subsistía si uno de los balancines era más corto que el otro, a condición de que el punto de la biela fuera tomado más próximo del primer balancín.

¿Hay en esta descripción del invento del paralelogramo algo que nos indique que Watt siguiera una marcha metódica en su investigación? Llegó a él por observación, por tanteos repetidos. «He comenzado—dice en otra ocasión—por construir un pequeño modelo de ensayo... Sin embargo, nada quiero decir hasta que yo haya sacado mi patente.»

Cito el caso de Watt porque es el del más potente genio mecánico de fines del siglo XVIII, período en que comienza el perfeccionamiento de las máquinas, y si en un pensador como él no encontramos definida y aclarada la marcha seguida por su pensamiento en la invención, menos hemos de encontrarla en los demás inventores, lo que nos permite asegurar que a los mecanismos conocidos se ha llegado no por un razonamiento lógico partiendo de un principio fundamental común a todos, sino por el trabajo continuo y prolongado del pensamiento, teniendo como punto de origen anteriores inventos e investigaciones. Y si éste ha sido el procedimiento seguido en la invención, dicho se está que en su exposición y estudio ha tenido que procederse en igual forma, como si de cosas aisladas se tratase.

Ahora bien; ¿existe la ley a que antes me refería? ¿Existe un principio fundamental y una teoría que permita explicar todos los mecanismos? ¿La ciencia de las máquinas puede, en suma, fundarse en la deducción? Reuleaux contesta a todo esto afirmativamente, y el objeto de su *Cinemática* es precisamente la demostración de este aserto.

Si se analiza atentamente un caso de constitución de un mecanismo, por ejemplo, el de un cuadrilátero articulado, se reconoce fácilmente, según hace observar Reuleaux, que este mecanismo resulta de la agrupación de cuatro cuerpos o elementos unidos entre sí en forma tal, que los movimientos relativos de cada uno respecto a sus inmediatos están geométricamente definidos por la naturaleza del enlace que los une, constituyendo en su conjunto algo así como una cadena que vuelve sobre sí misma análoga a una cadena sin fin ordinaria.

En esta cadena, que él llama *cadena cinemática*, dos elementos consecutivos tienen, como ya se ha dicho, un movimiento relativo determinado, el del *par geométrico*—así lo designa—que los enlaza; y además, en el ejemplo que le sirve de explicación, los movimientos de cada elemento con relación a otro cualquiera, no inmediato, también está definido. Es decir, que la cadena del ejemplo está *constituida* de tal manera que «todo cambio de posición de un elemento con relación a aquel que le sigue inmediatamente arrastra un cambio de posición de todos los otros elementos con relación al primero». Una cadena cinemática que cumple esta condición, se dice que es una *cadena cerrada desmodrómica*.

Pues bien; Reuleaux generaliza la observación, y sienta la siguiente proposición fundamental, base de todos sus estudios: «Una cadena cinemática cerrada en la que un elemento se mantiene fijo, constituye un mecanismo.»

Confirmar esta proposición en todos los mecanismos actuales, reconociendo que todos ellos son cadenas *simples* o *compuestas* convenientemente *constituidas* para que sean cerradas, es la materia que se desarrolla en el extenso tratado de *Cinemática* escrito por Reuleaux.

No creo dármelas de adivino si digo, que para redactar Campos su programa le bastó conocer la proposición de Reuleaux, y nada más que esta proposición, pues todas sus explicaciones en la cátedra en aquel memorable curso, único que dió, en nada se parecen a las consideraciones y estudios que se desarrollan en el libro del ilustre mecánico alemán. Es indudable que al fijar Campos su pensamiento en las ideas de Reuleaux brotó en su mente privilegiada el plan de la asignatura, y redactó su programa confiando a la labor diaria en la clase su realización y desarrollo; y como este programa en nada había de parecerse al expuesto por Reuleaux, bien pudo escribirlo rápidamente, ya que procedió con entera libertad y sin tener que someterse a método y disciplina determinada alguna. Y aquí surge el punto principal de que quiero hablar en este artículo.

La proposición de Reuleaux es incompleta: en ella se afirma que todo mecanismo es una cadena cinemática cerrada, pero no se dice qué condiciones han de cumplirse para que así sea; únicamente se dice que ha de estar *constituida de manera que resulte cerrada*.

Es evidente que la verdadera teoría científica de los mecanismos no está establecida en tanto que no se conozcan aquellas condiciones, pues no basta decir que tal mecanismo es una cadena cerrada, es necesario saber por qué es cerrada, y conocer este por qué es descubrir el principio fundamental científico en que se basan todos los mecanismos, que es lo que pretendía Reuleaux. Campos lo vió desde el primer momento.

Tomando como caso más sencillo el de una cadena simple (el estudio se extiende después sin dificultad al caso de cadena compuesta), Campos demostró, que la condición necesaria y suficiente para que dicha cadena sea cerrada es, que el movimiento relativo definido geométricamente por el enlace o par geométrico que liga a dos elementos contiguos sea igual y contrario al movimiento resultante de todos los demás pares; o en otros términos: que el movimiento definido por un par pueda descomponerse en todos los demás que constituyen la cadena.

Y como el caso más general a considerar es el de una cadena cuyos pares geométricos definen movimientos helicoidales, y la descomposición en este caso no es posible, según demostró Campos, si no existen siete pares en la cadena, la proposición fundamental base de toda la teoría de los mecanismos ha de formularse así:

«Para que una cadena cinemática simple formada de pares helicoidales sea cerrada ha de contener siete de éstos. Si tiene más, la cadena es abierta o desligada, sus movimientos son indeterminados, a no ser que se la superponga otra u otras que los determinen; si tiene menos, la cadena será, en general, indeformable, pero podrá ser cerrada para posiciones de los ejes y valores de las características especiales.»

También demostró Campos que «un par geométrico equivale a cinco obstáculos bilaterales—o seis unilaterales—, y la supresión, por tanto, de obstáculos en un par conduce a dar a los cuerpos grados distintos de libertad en sus movimientos relativos, lo que permite poder constituir cadenas reducidas ce-

rradas siempre que los pares se formen suprimiendo entre todos ellos tantos obstáculos bilaterales como elementos faltan en la cadena para ser completa».

En estas dos proposiciones se basa toda la teoría general de los mecanismos. Campos la desarrolla ampliamente y la aplica a todos los casos prácticos que pueden presentarse.

Sería fatigoso continuar por este camino; basta lo dicho para afirmar que si Reuleaux dió la idea, Campos la desarrolló y la completó, realizando de un modo concluyente lo que para Reuleaux era una aspiración que no logró en su libro: explicar con rigor científico la constitución de los mecanismos conocidos y tener una guía segura que conduzca al descubrimiento de otros nuevos.

Con menos motivos ciertos procedimientos de exposición y de enseñanza peculiares de un país han merecido la alta distinción de formar escuela; ¿no podría legítimamente decirse que esta enseñanza de los mecanismos es de *escuela española*?

Hay un motivo más para que así se dijese: la clasificación clásica de los mecanismos, la que prevaleció entre otras muchas que se han hecho y se sigue utilizando, fué propuesta por Lanz y Betancourt, autores de un *Ensayo sobre la composición de las máquinas*, ambos españoles, e ilustre fundador de nuestra Escuela el segundo.

La enseñanza, en suma, de los mecanismos tiene en España y en la Escuela de Caminos un historial glorioso: comienza con Betancourt y termina con Campos; al primero se debe la verdadera clasificación; al segundo, la exacta teoría.

Carlos de ORDUÑA
Profesor-Secretario de la E. de C.

DIQUES DE ABRIGO.--ROMPEOLAS

XIV Congreso de Navegación

Como continuación de artículos anteriormente publicados, se empezará con éste a tratar de la segunda parte del primer asunto propuesto en aquel Congreso celebrado en El Cairo, en la sección relativa a la Navegación marítima, y que ha sido el estudio de los *Rompeolas o diques de abrigo en mares sin marea*. Su coste, asunto del cual se muestra el gran interés para el ingeniero de Puertos, solamente con ver el enunciado y advertir que las enseñanzas adquiridas sirven también para completar y aclarar las obtenidas en el X Congreso, en el cual se trató este importante tema para los mares de marea.

Se han presentado bastantes Memorias (1), y entre ellas hay algunas verdaderamente interesantes; se observa el avance en el problema del cálculo de estas obras, y aun cuando no se puede fijamente determinar cómo ha de plantearse, ni se tienen datos firmes y concretos para hacerlo, ya es un paso el tratar de abordar este difícil problema, soslayado antes, y entregados los ingenieros exclusivamente a los resultados de la experiencia, o a un empirismo, que por la enorme diferencia de los

(1) Memorias presentadas sobre este asunto: *Bélgica*, Bonnet y Braeckman; *Chile*, Lira; *Egipto*, Quellennec; *España*, Hernández Mateos; *Estados Unidos*, Coleman y Townsend; *Francia*, Benezit y Hersent; *Italia*, Coen Cagli y Albertazzi; *Japón*, Sakamoto y Takanishi; *Mónaco*, Butavand; *Rumania*, Ward; *Rusia*, Ghercevanof, Kandiba y Toukhalka.

casos presentados, aun en una superficial apariencia análogos, muy diferentes en su verdadera esencia.

Se observa también en las secciones o tipos presentados y en las consecuencias deducidas afirmaciones más interesantes y determinadas sobre estas obras, formulándose algunas reglas o condiciones de indudable valor, no absoluto, pero muy conveniente para dar una orientación, siquiera sea en un sector algo amplio, a los proyectistas que no tenían otra, sino la impresión únicamente guiada por la idea, no siempre cierta, de proporcionar la resistencia y estabilidad de estas obras, a su masa, viéndose que, aun admitiendo esto en términos generales, puede, en ciertos casos, ser inadmisible, y debiendo atenderse siempre a la disposición adecuada de esas grandes masas.

En estos artículos se expondrán las normas de cálculo dadas o seguidas para determinar el esfuerzo de las olas sobre estos diques, con el resultado de la observación sobre el modo de considerar la actuación de esos esfuerzos y las consecuencias de todo ello deducidas para fijar las normas más convenientes de las secciones; se hará la exposición de los tipos presentados por los ingenieros informadores, con algunas observaciones y comentarios sobre esos tipos, y las normas a seguir como consecuencia de esas observaciones, y las conclusiones del Congreso para el proyecto de estas difíciles e inseguras obras.