

Las aguas ascendentes de Canarias y la teoría de la Isostasia

Fuimos solicitados, en 1890, por el presidente de una Sociedad de explotación de aguas, para visitar una galería en Arafo (Tenerife). Al principio no accedimos a su deseo, fundándonos en que, siendo volcánico el terreno donde las obras de alumbramiento se realizaban, no era posible predecir nada respecto a la circulación de las aguas subterráneas en él; pero fué tal la insistencia de dicho presidente que, a la postre, nos decidimos a visitar las obras, observando que, a través de una traquita dura y compacta, se hallaba abierto un pequeño tramo de galería, en cuyo fondo o extremo se había cortado un dique vertical de basalto y de cuya pared interna brotaba un chorro de agua.

Recorrimos después la superficie del terreno en las proximidades de la galería, viendo numerosos diques, paralelos entre sí, que afloraban, formando canales de longitud al parecer indefinida, y, al ver esto, imaginamos que las aguas meteóricas, al infiltrarse a través de los terrenos y encontrar alguna capa impermeable, discurrían subterráneamente por dichos canales. Poco tiempo nos duró esta creencia, porque observamos luego, en nuestras correrías por los campos de Tenerife, que otros diques formando ángulo con los anteriores, y también paralelos entre sí, se cruzaban con ellos, de forma que semejaban a una cuadrícula en la superficie del terreno. En semejante disposición los diques, no era posible la circulación subterránea de las aguas a lo largo de los canales, tal como la habíamos supuesto.

Abandonamos este asunto por largo tiempo, hasta que, recorriendo, en 1903, la cumbre central de Gran Canaria, por el término municipal de Gáldar, nos fijamos casualmente en la fuente denominada *Los Mastrantos*, la cual nace en la ladera de un montículo formado por arenas volcánicas, a pocos metros por debajo de su cima. Era tan escaso el volumen de rocas situado por encima de su nivel, que a simple vista se veía que no podía ser receptor del caudal anual de agua necesario para su alimentación, sin necesidad de acudir a la medición de la superficie ni de la cantidad de agua meteórica que pudiera en ella caer anualmente. Era indudable, pues, que la fuente se alimentaba de una *corriente ascendente*.

Visitamos después todas las fuentes y fuentecillas de carácter perenne existentes en las islas de Gran Canaria y La Palma, tanto las próximas al mar como las situadas en las cumbres, y de los numerosos reconocimientos practicados dedujimos que las aguas ascendían desde las grandes profundidades a través de las chimeneas de los volcanes y de las fallas y diaclasas de la corteza terrestre.

En 1913 nos convencimos aún más de la ascensión de las aguas en las islas Canarias al ver el gran fenómeno hidrológico de Roque Negro-Catalanes, que a grandes rasgos pasamos a describir.

Con el fin de aumentar el escaso caudal de aguas que, procedente del Monte de Aguirre, surtía a Santa Cruz de Tenerife, su Ayuntamiento acordó aprove-

char las que nacen en Roque Negro, cuya conducción exigía abrir un túnel, de unos 1 700 m de longitud, que atravesara la cordillera que, partiendo de La Laguna, termina en Punta Anaga.

Las rocas dominantes en esta cordillera son los basaltos, tobas volcánicas y traquitas. Diques basálticos, paralelos entre sí y formando con la divisoria un ángulo, próximamente, de 45°, la cortan, dividiéndola en trozos o rebanadas.

Comenzó la ejecución de dicho túnel por ambas bocas y muy pronto empezó a brotar agua del techo, paredes y piso del mismo, convirtiéndose en una verdadera galería de alumbramiento.

Varias fuentes existentes en la montaña, situadas por encima del nivel del túnel, se agotaron rápidamente, por los trabajos de perforación de éste.

En el tramo del Sur, después de haber sido perforado un dique, a pocos metros de distancia del mismo, brotó un importante caudal de agua. Continuó la obra y los obreros empezaron a oír ruidos procedentes del interior de la montaña, semejantes, según ellos, a los que produce un camello al sacar por la boca la vejiga membranosa.

Cuando se llegó con la perforación a 600 m de la boca, al explotar un barreno en el frente del túnel, ocurrió una pequeña inyección en éste de materiales procedentes del mismo frente, que al parecer se había derruido. Seguidamente comenzaron los obreros a descombrar y, antes de llegar con esta operación al sitio donde se había producido el derrumbamiento, una segunda inyección, más importante, de materiales se produjo, procediéndose también a la limpia, como en el caso anterior. Continuó así, ocurriendo inyecciones, y siguiendo con la extracción de los materiales, hasta que sobrevino una inyección importantísima, que ocasionó la muerte a varios obreros.

Verificados los trabajos de limpia indispensables para la extracción de los cadáveres, suspendióse la obra.

Después de un corto plazo de suspensión, los trabajos se reanudaron; pero con las precisas condiciones, impuestas por la autoridad, de utilizar un escudo e ir reconociendo el frente con una sonda, para evitar nuevos accidentes.

La ejecución del previo sondeo fué imposible, por la naturaleza de las materias inyectadas, consistentes en bloques, piedras y tierras, habiendo sido por esto preciso modificar el trazado del túnel, que se había proyectado en recta. En el trayecto de la desviación se intentó atravesar un cierto tramo de terreno flojo, el cual ejercía tales presiones sobre los revestimientos provisionales de madera, que fué preciso abandonar lo ejecutado en él y tomar otra dirección, alejándose más del punto donde se iniciaron las inyecciones de materiales, con lo que se consiguió pasar dicho terreno flojo; sin embargo, las presiones fueron también grandes, obligando a emplear un revestimiento de hormigón armado. Pasada esta zona difícil, penetró-

se de nuevo en los basaltos, traquitas y tobas volcánicas.

En el tramo del Norte se halló también otra fuente importante al cortar otro dique.

En 1913, durante la ejecución de las obras, y cuando aún no se habían encontrado los tramos de túneles abiertos por el Norte y Sur, el caudal total alumbrado en ambos llegó a 201 litros por segundo.

En mayo de 1916 se terminó la perforación del túnel, quedando enlazados los dos tramos, y en agosto del siguiente año se practicó un aforo, resultando 56 litros por segundo.

A continuación consignamos los aforos verificados posteriormente:

Septiembre de 1918, 45 litros por segundo.

Septiembre de 1920, 38 litros por segundo.

Enero de 1921, 39 litros por segundo.

Mayo de 1921, 37 litros por segundo.

Estos caudales de agua alumbrados no pueden provenir de las lluvias y nieves caídas en la cordillera por el túnel atravesada ni de las condensaciones de la humedad atmosférica, porque, dada la forma de cuña que tiene su sección normal a la divisoria, no hay en dicha cordillera una cuenca receptora suficiente para poder sostener fuentes tan abundantes.

De los diques basálticos que oblicuamente cortan la cordillera, unos están divididos por leptoclasas amplias y numerosas, mientras que otros son de textura bastante compacta, por ser sus leptoclasas poco perceptibles.

Los primeros son verdaderos conductos naturales por donde el agua discurre fácilmente; en cambio, los segundos son verdaderas presas que la contienen. Aun admitiendo la existencia de una cuenca receptora suficientemente extensa, ésta se hallaría dividida en rebanadas por estos diques; los que fueran permeables, desaguarían rápidamente las aguas que llegaran a ponerse en contacto con ellos, y los que hicieran funciones de presas, limitarían extraordinariamente la superficie de la cuenca: no tiene, pues, una explicación satisfactoria el nacimiento de tanta agua, suponiendo que las fuentes del túnel se hallan alimentadas por corrientes descendentes.

Adquirida la convicción de que las fuentes perennes de Canarias se hallan alimentadas por corrientes ascendentes, lógico era que tratáramos de buscar su origen.

Con el reconocimiento general practicado, anteriormente mencionado, nos convencimos también de que las aguas meteóricas de las mismas Islas, descendiendo por otras chimeneas de volcanes apagados, fallas o diaclasas, no podían alimentar las corrientes ascendentes. Tampoco pueden provenir del mar, pues, según demostramos en el artículo publicado en el número de esta REVISTA correspondiente al 1.º de noviembre último, esto no es posible. Es, por tanto, forzoso reconocer que las aguas ascendentes de Canarias proceden de las altas regiones de los continentes.

Pensamos primero en las más próximas, en las del Atlas (Marruecos); pero, dada la gran distancia existente entre dicha cordillera y las islas Canarias (más de 600 km), no es posible que las aguas puedan vencer, aunque traigan una considerable carga, las resistencias de las paredes de las grietas o galerías subterráneas por donde discurran ni evitar tampoco que, por filtración a través de las fisuras de las rocas, se pierda totalmente su caudal.

La existencia de una gran masa de agua dulce a gran profundidad, semejante a un mar, permitiendo despreñar, por su pequeñez, las resistencias en las paredes que la contienen, alimentadas por corrientes descendiendo de las altas regiones continentales, y sometida a considerables presiones, es la única concepción que nos explica satisfactoriamente la ascensión de las aguas en Canarias.

La teoría de la *Isostasia*, expuesta a continuación, se opone a esta concepción.

De la obra *An Introduction to Oceanography*, escrita por James Johnstone, traducimos lo que sigue: «La intensidad de la gravedad no es la misma en todos los puntos de la superficie de la tierra, y esto es debido a la forma esferoidal de la última: un punto cerca del polo está unos 22 km más próximo del centro de la tierra que otro punto situado en el ecuador. La gravitación es por esto más intensa en el último punto. Esta variación en la intensidad de la gravedad es medida en tierra por la observación de los tiempos de la oscilación de un péndulo de invariable longitud, y en el mar, por la medición de la presión atmosférica por medio de un barómetro y, al mismo tiempo, hallando la temperatura a la cual hierve el agua. La altura del barómetro depende, no sólo de la presión del aire, sino también de la intensidad de la gravedad, y el punto de ebullición depende solamente de la presión del aire. Las dos observaciones, tomadas simultáneamente, nos dan, por tanto, la intensidad de la gravedad, la cual depende de la masa de terreno situada debajo del punto donde las observaciones han sido hechas. Este valor depende, además, de la densidad del terreno subyacente y de su cantidad, esto es, la distancia desde el centro de la tierra al punto donde los experimentos son hechos.

Sobre los mares profundos, la intensidad de la gravedad es la misma en cualquier punto, aunque la profundidad varíe entre tres y dos millas. En el último caso tenemos una columna de tierra, que tiene una milla más de altura, y una columna de agua, que tiene una milla menos de profundidad; pero la intensidad de la gravedad es la misma que en el otro caso en que la columna de tierra tiene una milla menos de altura y la del agua una más. Las densidades de las dos columnas de tierra no pueden, por tanto, ser las mismas en los dos sitios, debiendo ser donde el agua es menos profunda menor que donde lo es más.

La intensidad de la gravedad es medida sobre los continentes por la observación de las oscilaciones de un péndulo. En la cima de una montaña, la intensidad será más mayor que en la base; pero podemos imaginar que las desigualdades de la superficie del terreno continental sean allanadas, de modo que los materiales constitutivos de las montañas sean removidos en la extensión necesaria para rellenar los valles. Entonces tenemos la meseta continental, o el plano medio. Este puede ser calculado con datos de mediciones, de modo que pueda obtenerse siempre la distancia vertical de cualquier punto encima o debajo del plano medio. Correcciones a los valores de la intensidad de la gravedad observadas se hacen entonces, de modo que ésta sea la que corresponda al nivel del plano medio. Si la estación de observación está encima de éste, una cierta deducción ha de hacerse; si debajo, una adición.

Entonces se halla que la intensidad de la gravedad

es la misma para los parajes de una meseta continental como para los puntos de una depresión oceánica (en la misma latitud, desde luego). Esto significa que la total masa de una columna de terreno debajo de cierta superficie de una meseta continental es la misma que debajo de igual superficie del fondo del Océano. Y esto sucede aunque la diferencia en las alturas de las dos columnas sea de cuatro millas. La conclusión es que el terreno debajo de una superficie continental es menos denso que el que está debajo de la misma superficie oceánica. Hay otra prueba, conduciendo a la misma conclusión: así el Himalaya y otras cordilleras son menos atractivas que lo que debieran ser si estuvieran constituidas por el material hallado en sus márgenes. De modo que sus partes interiores deben estar formadas por una roca menos densa que la que está a la vista.

Capa isostática. Las rocas tienen ciertas resistencias, variando entre 39 y 630 kg por cm²; cuando el esfuerzo excede del límite de resistencia de una clase de roca, ésta es aplastada o desintegrada. Ahora, la densidad general del material de la meseta continental es tal, que el peso de una columna de roca de 3 ó 5 km de altura aplasta los materiales en la base de la columna.

En general, pues, las elevaciones continentales son bastante altas encima de las depresiones oceánicas para que las rocas situadas debajo de los continentes al nivel de dichas depresiones estén aplastadas.

De consiguiente, a cierta profundidad debajo de los fondos oceánicos y de las mesetas continentales, debe haber una capa de terreno en situación inestable, por hallarse constituido por materiales aplastados. Esta es, sin embargo, una zona de roca muy rígida, y es sólo potencialmente inestable o deformable. Cederá fácilmente a un cambio de fuerza, que hubiera sido resistido por una roca no aplastada. En esta zona habrá *corriente de roca (rock flow)*; pero no la corriente de un material viscoso como el betún sólido, sino un transporte de material por solución sólida, partícula por partícula, por hendimiento de cristales, nuevas distribuciones moleculares, etc. Los materiales estarán, en general, en tal estado, debido al sobrepuesto peso, que cederán lentamente a los esfuerzos en adecuadas direcciones.

Esta zona es la *capa isostática*. Se ha estimado que está situada, aproximadamente, a 122 km debajo del nivel medio del terreno; pero recientes observaciones tienden a reducir esta profundidad a la mitad próximamente. Inferiormente a esta capa, el material es rígido en el sentido geológico; pero en el material es plástico, cuando un espacio de tiempo suficiente ha transcurrido para el proceso de la corriente de roca indicado antes.

Encima del nivel isostático hay *equilibrio isostático*, esto es, regiones más altas, como las mesetas continentales, están equilibradas con las más bajas, como las depresiones oceánicas. El equilibrio será esencialmente igual al que se observa en los dos brazos de un tubo en U, uno de los cuales contiene agua de mar y el otro agua destilada. Los líquidos permanecerán en diferentes niveles en los dos brazos y la diferencia de nivel dependerá de la de sus densidades.

Los grandes relieves de la superficie terrestre son así equilibrados, es decir, que los más ligeros materiales de los más altos continentes son equilibrados

por los más pesados de los fondos oceánicos más bajos, ocurriendo el equilibrio en la capa terrestre próximamente a la profundidad de 29 a 122 km. Los pequeños relieves, es decir, montañas y valles, pueden existir en virtud de la rigidez de la corteza terrestre, y no necesitan ser equilibrados en la forma isostática.»

Esta zona isostática, potencialmente deformable, y cediendo fácilmente a las fuerzas exteriores, excluye la posibilidad de que las corrientes de agua, descendiendo por chimeneas y fallas, penetren en ella, pues sería preciso que dichas corrientes trajeran consigo una presión hidrostática superior a la presión producida por el peso de la corteza terrestre, y no existe región alguna en el Globo con elevación suficiente para proporcionar tal carga.

Pero no parece real que la corteza terrestre posea la flexibilidad que la teoría de la Isostasia le supone. Parece más natural admitir que la parte superficial del Globo forma en conjunto una gran bóveda, casi esférica, y no sea ella la que comprima la zona central. En estas condiciones, el agua que desciende desde las altas regiones continentales puede penetrar hasta cualquier profundidad y ser ella misma, con su propia presión hidrostática, la que produzca los efectos atribuidos en la teoría isostática a la corteza terrestre, sufriendo ésta también la consiguiente subpresión.

Se observa que la teoría isostática atribuye a los materiales situados debajo de la corteza sólida una gran rigidez, aunque potencialmente deformables, y suponemos que sea debido esto a los modernos datos suministrados por los sismógrafos, en virtud de los cuales, los sismólogos afirman que la tierra tiene su interior rígido, con un módulo de elasticidad comparable al del acero.

Pasemos a tratar de una materia como esta tan interesante, de la cual se ocupa la Ciencia Sismológica.

Según el sismólogo Milne, la variación de la velocidad de las ondas sísmicas longitudinales con la distancia en grados, a partir del epicentro, es la siguiente:

Distancia arcual en grados	Velocidad de las ondas longitudinales en metros por segundo
10	3 000-5 000
20	9 000
30	10 400
40	10 600
50	10 800
60	11 000
80	11 300
90	11 500
130	12 000

La velocidad de las ondas transversales para cada distancia de las citadas es la mitad próximamente de la correspondiente a las ondas longitudinales.

En un medio sólido indefinido, la velocidad de propagación de los desplazamientos longitudinales se obtiene por la fórmula siguiente, copiada del *Tratado de Física* de Chwolson:

$$V = \sqrt{\frac{1 - \sigma}{(1 + \sigma)(1 - 2\sigma)} \cdot \frac{E}{\delta}}$$

en la cual $\sigma = \frac{\beta}{\alpha}$ siendo β el coeficiente de contracción transversal, que se produce durante la dilatación longitudinal, y α el coeficiente de contracción lineal (acortamiento) de una varilla o hilo, E módulo de elasticidad y δ la densidad del medio, o sea la masa contenida en la unidad de volumen.

Si hacemos, como Wertheim, $\sigma = \frac{1}{3}$

$$V = 1,225 \sqrt{\frac{E}{\delta}}$$

Como $\delta = \frac{1000\Delta}{g}$, siendo Δ la densidad con relación al agua y g la aceleración de la gravedad,

$$V = 1,225 \sqrt{\frac{Eg}{1000\Delta}}$$

Relacionado el módulo de Young, E , al metro cuadrado de sección, resulta $E = 10^6 E_0$, siendo E_0 el módulo habitualmente dado por las tablas, referido al milímetro cuadrado de sección; de consiguiente,

$$V = 38,73 \sqrt{\frac{E_0 g}{\Delta}}$$

Si se adoptan para el acero los valores $\Delta = 7,7$ y $E_0 = 20\ 000$, resulta $V = 6\ 158$ metros por segundo. Con $\Delta = 7,7$ y $E_0 = 75\ 000$, $V = 12\ 000$ metros por segundo.

Para obtener, por tanto, la velocidad de 12 km por segundo, observada en las ondas longitudinales de los terremotos, se necesita que la tierra esté constituida interiormente por un cuerpo cuyo módulo de elasticidad sea superior al doble del correspondiente al acero más rígido obtenido hasta hoy en la industria.

Veamos ahora lo que ocurre en los líquidos. La velocidad de propagación de las ondas longitudinales en éstos es dada por la fórmula

$$V = 3,22 \sqrt{\frac{g}{\beta_0 \Delta}}$$

tomada también de la *Física* de Chwolson, en la cual β_0 es el coeficiente de compresibilidad dado por las tablas; g y Δ lo mismo que en la fórmula anterior.

Haciendo para el agua

$$\Delta = 1, \quad g = 9,81 \text{ y } \beta_0 = 0,000050,$$

que es el coeficiente de compresibilidad a la presión de una atmósfera,

$$V = 1\ 426 \text{ metros por segundo.}$$

Amagat ha realizado numerosos experimentos relativos a las variaciones de la compresibilidad del agua con la presión, y la tabla siguiente da los va-

lores de $10^6 \beta_0$ para la temperatura de 0° y presiones crecientes hasta tres mil atmósferas.

Presión Atmósferas	$10^6 \beta_0$
1 a 500	47,5
500 a 1 000	41,6
1 000 a 1 500	35,8
1 500 a 2 000	32,4
2 000 a 2 500	29,2
2 500 a 3 000	26,1

Se ve que el coeficiente de compresibilidad disminuye al aumentar la presión.

Según Roche, g aumenta al descender por debajo de la superficie de la tierra hasta llegar a la profundidad de 1 085 km, en donde tiene de valor 10,457. Continuando el descenso, decrece hasta llegar a cero en el centro de aquélla.

Si suponemos que la propagación de la onda se verifica a 1 085 km de profundidad, y damos, por tanto, a g el valor 10,457; si para tal zona admitimos

$$\Delta = 2,50 \text{ y } \beta_0 = \frac{3}{10^8},$$

se obtendrá por la citada fórmula $V = 11\ 300$ metros por segundo, que es, aproximadamente, la velocidad que corresponde a dicha profundidad, según Milne.

La velocidad de propagación de los desplazamientos transversales se obtiene por la fórmula

$$V' = \sqrt{\frac{N}{\delta}}$$

en la cual N es el módulo de deslizamiento.

Este módulo es nulo en los líquidos perfectos, y en éstos, por tanto, no se propagan las ondas transversales; pero, tratándose de rocas enormemente comprimidas, que por esta causa pasan a un estado plástico especial, parece natural pensar que la cohesión primitiva de la roca conserve un cierto valor, de modo que su correspondiente módulo de deslizamiento sea tal que se obtengan para las velocidades de las ondas transversales las cifras que dan los sismógrafos.

Además, conviene recordar que la Física, para definir este módulo, considera al cuerpo sólo sometido a una acción cortante, a la cual ha de resistir la cohesión molecular exclusivamente; pero en el caso de una capa interior de la tierra, recibiendo de otra sobrepuesta, que la envuelve totalmente, enormes presiones, ya no son solamente las fuerzas de cohesión las que se oponen a la fuerza tangencial o cortante, propagadora de las ondas transversales: se oponen también los rozamientos originados por esas presiones y las resistencias a las compresiones en el sentido tangencial, ya que las moléculas no tienen tampoco libertad para moverse en este sentido.

La referida fórmula

$$V' = \sqrt{\frac{N}{\delta}}$$

no parece aplicable a las ondas sísmicas transversales.

La indiscutible ascensión de las aguas perennes es Canarias y las consideraciones que van expuestas

nos han inducido a concebir la constitución de la tierra del siguiente modo, como único medio, en nuestra opinión, de poder explicar tan grandioso fenómeno hidrológico:

1.º Una corteza sólida, formando una gran bóveda casi esférica, con espesor variable, según la naturaleza de las rocas que la constituyen en cada punto, especialmente las situadas en su parte inferior, por ser las que han de resistir mayores subpresiones.

2.º Una zona líquida de gases licuados por la

presión, aceites minerales y agua, recibiendo grandes presiones hidrostáticas, producidas por las columnas de agua descendiendo de las altas regiones continentales por las chimeneas de volcanes apagados, fallas y diaclasas.

3.º Un núcleo central, formado de rocas en estado plástico especial por efecto de las enormes presiones a que se hallan sometidas, distribuidas en capas con arreglo a sus densidades, de menor a mayor, en dirección hacia el centro de la tierra.

Eugenio SUÁREZ GALVÁN
Ingeniero de Caminos

Laboratorios de Electro-mecánica

Ensayos de la Sección Térmica

La Escuela de Caminos, como programa que tiene a desarrollar para el nuevo curso, se propone dar a sus enseñanzas técnicas la mayor aplicación práctica posible, especialmente en aquellas materias que fueran susceptibles de completarse con ensayos y trabajos de investigación en el *Laboratorio de Electro-mecánica*, instalado hace años por iniciativa del entonces director D. Luis Gaztelu, marqués de Echandía, y en el de *Automovilismo*, cuya implantación ha sido iniciada por acuerdo del último director, D. Alfredo Mendizábal.

El actual director de nuestra Escuela, D. Vicente Machimbarrena, que desde hace tiempo se ha ocupado especialmente de trazar la orientación moderna pedagógica en que nuestra enseñanza técnica hoy se desarrolla, ha iniciado con gran entusiasmo la preparación de planes y programas para que se hagan por profesores y alumnos, entre otros trabajos, pruebas y ensayos de investigación, semejantes a los que algunos profesores hemos seguido con gran interés en nuestras asistencias de pasados años a los Laboratorios de varias Escuelas profesionales extranjeras, principalmente suizas y alemanas.

Considerando oportuno el que sean conocidos por nuestros compañeros algunos de estos estudios, aunque muchos de ellos pequen de estar algo enmohecidos por el tiempo, a continuación desarrollamos uno que estimamos interesante y que se realizó antes de la guerra en la Sección Térmica del Instituto de Ensayos Mecánicos y Técnicos de la *Escuela de Ingenieros* de Dresden, y que tuvimos ocasión de seguir suficientemente de cerca, con el deseo de que pudiera servir de norma a los que deseábamos realizar en nuestro país y en nuestra Escuela, un poco retrasados ambos en este género de investigaciones.

Los ingenieros H. Scheit y Bobeth de aquel establecimiento de enseñanza dieron forma a este trabajo de

investigación, y de ellos tomamos casi íntegramente los resultados que a continuación se consignan (1).

ESTUDIO DEL PROCESO DE TRABAJO DE UN MOTOR DE DOS TIEMPOS

I.—Introducción

En el período a que hemos hecho referencia anteriormente, era interesante tema la comparación de los motores de explosión de dos y de cuatro tiempos. Se había comprobado que mientras en la fabricación industrial de estas grandes máquinas los motores de dos y de cuatro tiempos se desarrollaban en el mismo grado de importancia, había alcanzado el de cuatro tiempos, considerado como máquina de gran velocidad, una positiva ventaja sobre el de dos tiempos, indudablemente debido a su aplicación como motor de arranque para vehículos automotores, ya que con su peso propio reducido alcanzaban un rendimiento elevado y un aprovechamiento muy económico de su combustible.

En la época de referencia parecía oponerse a los esfuerzos industriales de aplicar el motor de dos tiempos como máquina de gran velocidad, la esencial dificultad de su sistema, pues solamente se disponía de una carrera de su émbolo para realizar los períodos de escape y admisión de nueva carga de la mezcla combustible; mientras que en el de cuatro tiempos se utilizaban para aquellos períodos de distribución dos recorridos completos del émbolo.

Esta circunstancia era la que dificultaba generalmente el tener un servicio activo de la bomba de alimentación en los motores citados y que se acentuaba en los que funcionaban con bombas accionadas por manivelas acunadas al eje motor.

Aunque existía la posibilidad de perfeccionar el proceso de alimentación del motor, no se lograba con ello que el de dos tiempos alcanzara la velocidad de una máquina rápida propiamente dicha, que desarrollase 2 000 o más revoluciones por minuto. A lo más, sensiblemente, no se conseguía sobrepasar un límite

(1) Véase el Z. V. D. I. de 1.º de junio de 1912.