

Estado actual de algunas cuestiones de Geofísica geológica

Durante la XIV sesión del Congreso Geológico Internacional, que tuvo lugar en Madrid los días 24 al 31 de mayo último, se concedió grandísima importancia a la Sección 10, Estudios geofísicos, la más concurrida por los ingenieros de Caminos, quienes se interesaron mucho por las aplicaciones de la Geofísica al conocimiento del subsuelo. Los ingenieros de los Institutos Geológico y Geográfico, así como otros especialistas españoles, presentaron en dicha Sección notables trabajos y tomaron activa parte en las discusiones relativas a las anomalías de la gravedad, la isostasia, la sismología y las antedichas aplicaciones de los procedimientos geofísicos al reconocimiento del subsuelo. El Congreso, al darse cuenta del interés con que en nuestro país se prosiguen aquellos estudios, acordó que radique en el Instituto Geológico de España la Comisión Internacional de Geofísica aplicada, en la que se centralizarán los trabajos que realicen los geofísicos con destino al próximo Congreso geológico, en vista de los cuales redactará la ponencia que habrá de presentarse ante aquella asamblea.

Con el mismo epígrafe que encabeza este artículo se publicaron dos en esta REVISTA (1), al finalizar el año pasado. El primero se ocupaba de la constitución de la corteza terrestre, y con este motivo se expusieron algunas ideas sobre la Isostasia, que, aun cuando no estén muy relacionadas con las aplicaciones a la Ingeniería, conviene ampliar en vista de los últimos trabajos realizados en tan importante rama de la Geofísica, que seguramente interesa a muchos ingenieros. Esta será, pues, la cuestión de que se tratará primeramente, y después se indicarán algunos de los procedimientos que actualmente se siguen para los reconocimientos del subsuelo utilizando prácticamente ciertos métodos seguidos en el estudio de la Geofísica, asunto cuyas aplicaciones a nuestra profesión, aun cuando todavía está en sus comienzos, son bien manifiestas.

I

Nuevos trabajos sobre la Isostasia

En el tomo I de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS del año pasado (pág. 525), bajo el epígrafe «Ideas sobre la Isostasia», se presenta un resumen de lo que se entiende por Isostasia y los principales resultados a que se había llegado respecto a las profundidades a que podrían hallarse las superficies de compensación. Pero todos estos resultados se habían obtenido partiendo de las hipótesis de Pratt y Hayford, porque hasta entonces se había seguido, casi únicamente, este camino. Posteriormente se han hecho cálculos tomando como punto de partida la hipótesis de Airy, y las consecuencias obtenidas han alcanzado el mis-

mo grado de aproximación que las antes citadas, por lo que ahora se discute cuál de los dos grupos de hipótesis será el que deba preferirse.

Recapitemos las principales ideas sobre la Isostasia, para lo que comenzaremos diciendo en lo que consisten las llamadas *anomalías de la gravedad*. Así como para comparar las temperaturas y presiones atmosféricas de diversos puntos se refieren aquéllas al nivel del mar, también los valores de g , obtenidos en los distintos lugares, se refieren actualmente a un *elipsoide de referencia*, que de un modo más preciso, sustituye al nivel del mar. Este elipsoide, según acuerdo de la segunda Asamblea de la Unión Geodésica Internacional, celebrada en Madrid en octubre de 1924, es el que ya propuso Hayford en 1910, que se define por un diámetro ecuatorial $a = 6378388 \text{ m} \pm 35 \text{ m}$

y un aplastamiento $= \frac{1}{297,0 \pm 0,8}$, en los que los términos después de los signos \pm son los errores probables que para el elipsoide de Hayford calculó Helmert. Ahora bien, por medio de péndulos adecuados [1] (1), podemos calcular el valor de la intensidad de la gravedad en una estación, y partiendo de este dato, previas las correcciones correspondientes a su *altitud* sobre el elipsoide de referencia, a la *atracción de las masas de montañas*, etc., o *corrección topográfica*, y a la constitución no homogénea de las capas internas, o *corrección isostática*, se obtiene un nuevo valor que llamaremos g_0 . Por otra parte, por procedimientos de cálculo puede deducirse el valor de la intensidad de la gravedad, γ_0 , en el punto que corresponde a aquella estación sobre el elipsoide de referencia. La diferencia $\Delta g = g_0 - \gamma_0$, es lo que se llama la *anomalía de la gravedad* para aquella estación sobre el elipsoide de referencia, que se dice positiva si $g_0 > \gamma_0$ y negativa en el caso contrario.

En los trabajos gravimétricos se obtienen muchas anomalías positivas y negativas, que no pueden explicarse teniendo sólo en cuenta la altitud y las condiciones topográficas; esto hizo concebir la idea de la *corrección isostática*, o sea la que se refiere a la falta de homogeneidad de las capas internas. Por los datos reunidos en un gran número de estaciones se ha llegado a la conclusión de que, en términos generales, debe haber defecto de masa en las zonas bajo las montañas y mesetas elevadas, y exceso en las regiones de escasa altitud y bajo los mares.

Las teorías emitidas para explicar estos hechos pueden dividirse en dos grupos: la de Pratt y Hayford, que admite que realmente deben ser menos densas las masas bajo las montañas y elevadas mesetas, y la de Airy, que concibe la corteza terrestre como formada por grandes bloques de espesores variables, que a modo de témpanos de hielo, *icebergs*, flotan sobre un

(1) REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, año 1925, tomo I, páginas 523 y 526.

(1) Los números entre \square se refieren a los que figuran en la Bibliografía que se halla al final de este artículo.

magma de mayor densidad, hundiéndose, por consiguiente, más los que más sobresalen, por lo que resultará menor densidad bajo las altas regiones, puesto que tendrán mayor parte de su materia constitutiva hundida en el magma, más denso que aquélla.

Para ambos grupos de teorías cabe admitir, de acuerdo con la mayoría de los geólogos antiguos y modernos, que la Tierra se hallaría en sus orígenes en estado líquido, pudiendo concebirla como formada por capas concéntricas elipsoidales de densidad creciente hacia el centro. En todo el elipsoide existiría en un principio un completo equilibrio; la densidad y presiones dependerían tan sólo de la profundidad, y cualquier punto estaría sometido a presiones iguales cual corresponde a un fluido perfecto en equilibrio hidrostático. Se perturbó este equilibrio cuando las capas superficiales se plegaron al solidificarse y contraerse por efecto del enfriamiento, y tanto la teoría de Pratt como la de Airy admiten que las perturbaciones que desde entonces existen sólo se manifiestan en una profundidad pequeña con respecto al radio terrestre, existiendo una superficie elipsoidal, a partir de la cual se conservará el equilibrio hidrostático. Por encima de esta superficie las presiones no serán función de la profundidad, sino distintas de uno a otro punto de cada superficie elipsoidal, y como al llegar a ella se igualan, se la designa con el nombre de *superficie de compensación isostática*. Esta soportará en cada uno de sus puntos la misma presión unitaria, que será igual al peso de los materiales que se encuentren en la vertical hasta llegar a la superficie del terreno.

Se explica la existencia de la superficie de compensación por los partidarios de las ideas de Pratt admitiendo que los materiales que se encuentran bajo las regiones elevadas de la superficie terrestre tienen que ser más ligeros que los que corresponden a las depresiones, y aun cuando es algo violento darse idea de cómo podría haberse realizado esto en la Naturaleza, por lo que resultan artificiosas las explicaciones que dan de la formación de los continentes y mares y de las montañas, tales como las que expuse en mis artículos en esta REVISTA citados anteriormente, han defendido sus ideas con tal entusiasmo y son tan notables los trabajos de los geodestas Hayford y Bowie, que han subyugado a muchos geodestas y geofísicos. El estudio metódico de las anomalías de la gravedad, teniendo en cuenta las correcciones topográfica e isostática llevado a cabo por aquellos eminentes geodestas norteamericanos, se ha efectuado refiriéndose a las componentes verticales de las atracciones ejercidas sobre la unidad de masa situada en la estación, tanto por el exceso de masas exteriores al elipsoide de referencia, como por las masas internas, en defecto, bajo las mesetas y montañas. El cálculo que se basa en la ley newtoniana de la atracción universal, está indicado por Inglada [1] y Perrier [2], llamando la atención por la manera tan ingeniosa y práctica como se llevan a cabo las operaciones.

En la teoría de Airy, que como la de Pratt corresponde a mediados del siglo pasado, la superficie de compensación quedaría un poco por bajo de la del magma, sobre la que se supone flotan los bloques corticales. Abandonada durante bastante tiempo por geodestas y geofísicos, la mayoría de los cuales acogieron la de Pratt, ha vuelto a estudiarse con interés en estos últimos años, especialmente por Wegener,

a quien le sirve de base para su teoría de continentes a la deriva [3], por Schweydar y por otros.

Desde hace algunos años se ocupa el Dr. W. Heiskanen, del Instituto geodésico de Finlandia, en comparar las teorías de Pratt y de Airy, aprovechando los datos publicados correspondientes a varias estaciones gravimétricas. Sus trabajos tienen gran importancia, por haber sometido al cálculo la teoría de Airy, para lo que ha tanteado varias profundidades de la superficie del magma sobre el que flota la corteza, y también distintas diferencias de densidades entre ésta y aquél, empleando en cada uno de estos supuestos los mismos procedimientos de Hayford y Bowie, antes mencionados. De este modo ha deducido las correcciones topográficas e isostáticas correspondientes a cada estación, y obtenido las anomalías correspondientes. Comenzó por 71 estaciones de la región del Caspio y montañas del Cáucaso y 37 del resto de Europa ([2] y [4]), obteniendo como resultados que para la región del Cáucaso, produce menores anomalías residuales la teoría de Airy; en los Alpes las profundidades de la superficie de compensación más ventajosas son 107 km para la de Pratt y sólo 35 para la de Airy. En los Estados Unidos de Norteamérica, la revisión y estudio de los datos de 56 estaciones da como resultado que la hipótesis de Airy es algo superior a la de Pratt, asignando para aquélla un espesor de corteza de unos 50 km. En el año actual ha publicado Heiskanen [4] los resultados de sus trabajos relativos a la Noruega meridional, de los que deduce que, con grados de aproximación semejantes, la hipótesis Pratt-Hayford conduce a una profundidad de compensación de 80 km, y la de Airy asigna a la corteza externa un espesor medio de 37 km. De todos estos trabajos de Heiskanen parece deducirse que no debe existir una superficie única de compensación a profundidad constante bajo el elipsoide de referencia, y que si se adopta la teoría de Airy se obtienen resultados tanto o más satisfactorios que con la de Pratt, correspondiendo para aquélla unas superficies de compensación a profundidades de la mitad, o menos, de las que se deducen si se admite la de Pratt.

Las bases sobre las que descansa la Isostasia, comunes a ambas teorías, llevan a la conclusión de que las desigualdades superficiales deben compensarse a profundidades del orden de decenas de kilómetros; pero aun no hay datos suficientes para dar decididamente la preferencia a la hipótesis de Pratt o a la de Airy, que corresponden a admitir las compensaciones locales o las regionales [5]. Como se ha dicho precedentemente, la teoría de Airy explica mejor los fenómenos geológicos de formación de los continentes y mares y de las montañas. También la compensación regional, abarcando una extensión superficial del orden de la profundidad, dice Jeffreys que parece más probable que la compensación local, y se concibe que aquélla conduzca a una profundidad de compensación más pequeña que ésta, puesto que se establece en una superficie de mayor extensión, resultando dicha profundidad, según los trabajos de Heiskanen, la mitad o aun menor. El eminente sísmólogo alemán Gutenberg llega a la conclusión [6] de que el espesor a partir del cual se produce una discontinuidad cortical para la transmisión de las ondas sísmicas es de 57 km, cifra que concuerda mejor con las obtenidas para la superficie de compensación

por Heiskanen al aplicar la hipótesis de Airy, que las que ha deducido partiendo de la de Pratt, especialmente si se admite, con Stoneley y Jeffreys, que en los trabajos de Gutenberg no se han tenido en cuenta los efectos de la dispersión de las ondas sísmicas, lo que reduciría aquella cifra a cerca de su mitad. Por todo ello, y sin perjuicio de que nuevos estudios modifiquen la impresión actual, es probable que haya en Europa más partidarios de la hipótesis de Airy que de la de Pratt, a pesar de estar esta última tan brillantemente expuesta y concienzudamente desarrollada por los geodestas norteamericanos.

N. PUIG DE LA BELLACASA
Profesor de la Escuela de C., C. y P.

Bibliografía

1. INGLADA: *Las observaciones gravimétricas*. Madrid, 1923.
2. PERRIER: «Les raisons géodésiques de l'isostasie terrestre.» (*Annuaire 1926*, Bureau de Longitudes, Paris.)
3. WEGENER: *La génesis de los Continentes y de los Océanos*. Traducción por V. INGLADA. Madrid, 1924.
4. HEISKANEN: «Untersuchungen über Schwerkraft und Isostasie. (*Veröffentlichungen des Finnischen Geodätischen Institutes*, núm. 4, 1924, y núm. 5, 1926.)
5. JEFFREYS: «Gerland's Beiträge zur Geophysik.» (*Band 15*, 1926, pág. 167.)
6. INGLADA: *Cálculo de las coordenadas del foco sísmico y del instante inicial de la sacudida...* Madrid, 1926.

DESCIMBRAMIENTO DEL VIADUCTO DE ALCOY

El pasado mes de noviembre se verificó el descimbramiento del primer arco del viaducto de hormigón armado que, con gran actividad, se está construyendo en la ciudad de Alcoy.

La importancia de esta obra merece que se la dé a conocer haciendo una descripción detallada; pero más conveniente será aplazarlo para su terminación, ya que pocos meses faltan para ver lograda esta aspiración tan necesaria.

Daremos, por el momento, una ligera idea, concretando lo que se refiere al descimbramiento.

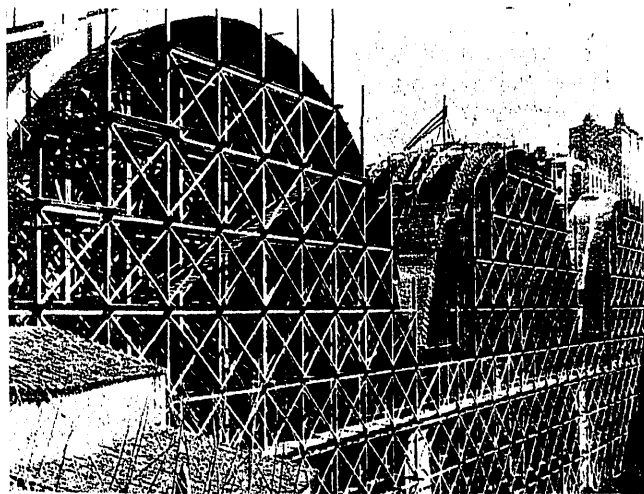


Fig. 1.ª

Comenzó la obra en el otoño del año pasado, mediante adjudicación que el Ayuntamiento de Alcoy hizo a favor del proyecto redactado por nuestro joven e inteligente compañero D. Carmelo Monzón, que estudió este viaducto con todo el entusiasmo de la primera obra y con toda la competencia de una sólida preparación.

La energía y patriotismo del Sr. Marqués de San Jorge, felizmente secundado por el Ayuntamiento presidido por él, permitió resolver las dificultades económicas para la consecución de la obra, encargando de la contrata a los Sres. Erroz y San Martín, cons-

tructores pamploneses, que acreditarían su pericia en este viaducto si no estuviera ya en otras obras suficientemente probada.

Se compone esta obra de tres arcos de 45 metros de luz, con altura de rasante próxima a los 45 metros, sustentados sobre dos pilas intermedias y dos estribos, completándose por un tramo recto a un lado y



Fig. 2.ª

otros dos tramos al lado opuesto, dando una longitud total de más de 200 metros.

Terminada la cimentación en los primeros meses del presente año, se construyeron las pilas, hasta los arranques, y el estribo más próximo a la ciudad, procediéndose a la ejecución del andamiaje y cimbras, para encofrado de los arcos, cuya obra auxiliar es de la mayor importancia, dada la altura de rasante y