

Las pérdidas por evaporación en España

De las tres formas principales que afecta la evaporación, en la superficie de las aguas, en el suelo y en los seres vivos, vamos a ocuparnos de la primera, cuyo conocimiento es del mayor interés, puesto que es un factor de importancia entre las mermas que sufren los embalses. Su evaluación es difícil, por depender muy íntimamente de las condiciones de observación y de las variaciones locales.

Desde luego, el aceptar los valores que en tratados o en revistas aparecen, y que suelen ser de casos muy diferentes de aquellos a los cuales se aplican, es un procedimiento inadmisibles. Tampoco puede admitirse la adopción de cifras obtenidas experimentalmente en regiones de condiciones climatológicas distintas, ni aun en las de idénticas pero en condiciones de observación que no son aquéllas en que se van a utilizar los datos que se obtengan, ya que variarán muy considerablemente los valores deducidos con la extensión de la superficie evaporatoria, recipiente de contención, etc. Como la velocidad de evaporación depende, entre otros factores, de la temperatura del agua, la cantidad evaporada durante un mismo tiempo será muy distinta si se la mide en un curso de agua, en un lago profundo o en un depósito de dimensiones pequeñas; cada masa de agua tiene, por decirlo así, su evaporación propia, lo que quita toda generalidad rigurosa a los resultados.

Ante estas dificultades de generalización y de experimentación se comprende que el estudio que, con los datos existentes en España, puede hacerse de esta cuestión será bastante incierto, pero siempre más próximo a la realidad que la utilización de datos obtenidos en otros países y aplicados al nuestro.

Dos son las principales fórmulas utilizadas para la determinación de la cantidad de agua evaporada: la de Dalton y la de Fitzgerald. En la primera, la cantidad de agua evaporada por cada elemento de la superficie libre de las aguas vale, por unidad de tiempo,

$$e = c \frac{s}{p} (F - f)$$

en la cual e es la cantidad evaporada en la unidad de tiempo, c el coeficiente de evaporación, s la superficie de evaporación, p la presión, F la tensión correspondiente a la temperatura en la superficie del agua y f la tensión del vapor ambiente. En la fórmula de Fitzgerald, deducida de sus trabajos experimentales de Boston, la cantidad de agua evaporada por unidad de tiempo vale

$$e = 0,014 (F - f) + 0,000047 (F - f)^2$$

De la comparación de ambas fórmulas resulta que, según la última, debe sufrir la de Dalton una corrección con un término de segundo grado. Esta corrección sería de una centésima del valor total en el caso de una diferencia de tensión de 30 mm de mercurio. Ahora bien, esta diferencia rara vez se alcanza, según puede observarse en los gráficos que se acompañan, escogidos entre estaciones de condi-

ciones climatológicas bien diferentes. El valor medio máximo de tensión en el quinquenio 1919-23 solamente alcanzó (Barcelona, agosto) la cifra de 17,9 mm, siendo el máximo absoluto, durante el mismo quinquenio, 21,2 mm (Barcelona, agosto de 1919); por otra parte, las diferencias de las observaciones directas entre sí y con la fórmula exceden a menudo de aquel 10 por 100. Por ambas razones creemos innecesaria, por lo menos para las tensiones del vapor acuoso corrientes en España, la adopción del término de segundo grado de la fórmula de Fitzgerald, con lo cual la fórmula de Dalton tiene la ventaja de ser lineal, con lo que se puede aplicar a los valores medios de las observaciones directas, obteniendo así un valor medio general sin calcular los valores medios particulares.

En cuanto al coeficiente de evaporación, es decir, la evaporación por metro cuadrado, hora y milímetro de diferencia de tensión, admite Masure, como resultado de sus experiencias en Orleans, una oscilación de evaporación entre 30 y 40 gramos por metro cuadrado, hora y milímetro de diferencia de tensión, y según Fitzgerald oscila entre 14 y 15,5 gramos por iguales unidades, valores muy diferentes a los anteriores. Vemos, por consiguiente, que estos coeficientes, dependiendo, como al principio hicimos observar, de condiciones locales, no pueden generalizarse, por lo que, en rigor, deberán determinarse en cada caso, localizando el lugar, época y hora de observación. Esta variación obedece a diferencias entre las temperaturas del aire y del agua y a la rapidez con que son arrastrados los vapores formados en la evaporación, rapidez que aumentará con el viento y con las corrientes ascensionales atmosféricas, tanto mayores cuanto más grande sea la temperatura del agua respecto a la del ambiente.

También deberá ser objeto de observación directa, para aplicación de las fórmulas citadas, la tensión f del vapor acuoso y la temperatura del agua, de la que se deduce la tensión F , que corresponde a la temperatura en la superficie del agua.

Dedícese de todo lo que someramente acabamos de indicar que es preferible la medida directa de la evaporación en cada caso, lo que se verifica con los evaporímetros, aunque, como la temperatura de los evaporímetros varía mucho más rápidamente que las de las masas de agua naturales y la velocidad de la evaporación aumenta con la temperatura del agua, los números que dan estos aparatos son muy elevados. Por consiguiente, las cifras que en el curso de este estudio consignamos, que son obtenidas con evaporímetros ordinarios, son más elevadas que las que realmente tendrían lugar en grandes superficies de agua, por lo que sus valores no son los verdaderos; son, no obstante, de gran interés, puesto que sus indicaciones pueden servir para estudiar las variaciones de evaporación durante el año, y de un año a otro, comparar las variaciones de un lugar a otro y servir de referencia para dar idea de la evaporación efectiva de una gran superficie de agua conociendo la de otro lugar y las cifras dadas por los evaporímetros en ambos sitios.

no fueron, de enero a diciembre, respectivamente, 0,74, 0,84, 0,87, 1,10, 1,22, 1,39, 1,43, 1,47, 1,41, 1,03, 0,86 y 0,68.

Por el contrario, las zonas de mayor evaporación son las próximas a Cáceres y Murcia. La primera estación tiene una altura media de evaporación en el decenio de 7,03 mm, con máxima anual de 7,9 en 1917 y mínima de 6,5 en 1920; las máximas mensuales fueron de 16,2 mm en julio de 1923, y la mínima 1,5 en diciembre de 1914. En Murcia, la media decenal es de 7,4 mm, con máxima anual de 10,4 en 1917 y mínima de 4,7 en 1923; máxima mensual de 18,1 mm en julio de 1917 y mínima de 1,7 en noviembre de 1922.

Es de lamentar que el número de estaciones que se pueden utilizar para la formación de este mapa de evaporación sea muy escaso, y aun de aquéllas hay que descontar algunas que contienen datos poco verosímiles.

Damos a continuación un cuadro-resumen del número de estaciones, que demuestra lo que acabamos de indicar. Se inserta en este cuadro el número total de estaciones meteorológicas funcionando cada año; el número de las estaciones llamadas completas, que son las que realizan observaciones de presión atmosférica, temperatura, humedad y viento, y dentro de éstas, que son las únicas que hacen observaciones de evaporación, indicamos el número de las que no tienen estas observaciones, las que las tienen, pero con lagunas en las cifras consignadas, y las que tienen observaciones de evaporación en todo el año:

AÑOS	Número total de estaciones meteorológicas.	NÚMERO DE ESTACIONES COMPLETAS			TOTAL
		Sin observaciones de evaporación	Con observaciones incompletas de evaporación.	Con observaciones completas de evaporación.	
1914	555	27	10	29	66
1915	695	29	9	33	71
1916	747	26	5	40	71
1917	817	25	8	43	76
1918	857	27	8	42	77
1919	966	29	12	35	76
1920	806	32	17	32	81
1921	807	23	22	38	83
1922	778	29	16	33	78
1923	780	26	16	42	84

Del cuadro anterior se deduce la existencia de una media anual, en el decenio observado, de treinta y siete estaciones con observaciones completas de evaporación y de doce con observaciones incompletas, o sea de cuarenta y nueve estaciones anuales con observaciones completas e incompletas de evaporación. Aun completadas éstas mediante interpolaciones convenientemente elegidas, como así hemos hecho, no resulta el número de estaciones que sería de desear.

Ahora bien, influyendo en el valor relativo de las cifras obtenidas el sistema de aparato empleado en las observaciones, es conveniente la unificación de tipos de evaporímetros. A este respecto es satisfactoria la red meteorológica española, ya que la mayor parte emplea la misma clase de aparatos, el evaporímetro de Piche, muy adecuado para estas observaciones. Indicamos a continuación la lista de estaciones cuyo sistema de aparato empleado en el último año del decenio estudiado nos es conocido:

Evaporímetro de Piche. — Alicante (Sismológica), Denia, Almería (Sismológica), Avila, Badajoz, Palma de Mallorca, Mahón, Mataró, San Julián de Vilatorca, Cáceres, Puerto de Santa María, Sanlúcar de Barrameda, La Laguna, Castellón, Ciudad Real, Córdoba, La Coruña, Santiago, Gerona, Granada (Aeródromo de Armilla), Granada (Universidad), Huesca, Jaén, Carracedo, Madrid (O. C. M.), Málaga (Sismológica), Pontevedra, Santander, Reinosa, Sevilla, Tarragona, Riudabella, Tortosa, Teruel, Valencia (Universidad), Valencia (Puerto), Requena; Valladolid (O. M.), Valladolid (Universidad), Algorta y Veruela.

Vaso evaporatorio. — Alicante, Barcelona, Sabadell, Cuenca, San Sebastián, Huelva, Madrid (Moncloa), Salamanca y Zamora.

Evaporímetro de balanza. — Algeciras y Almería. Es decir, que en total sabemos que emplean el evaporímetro de Piche cuarenta y una estaciones, y solamente nueve vaso evaporatorio, y dos evaporímetro de balanza.

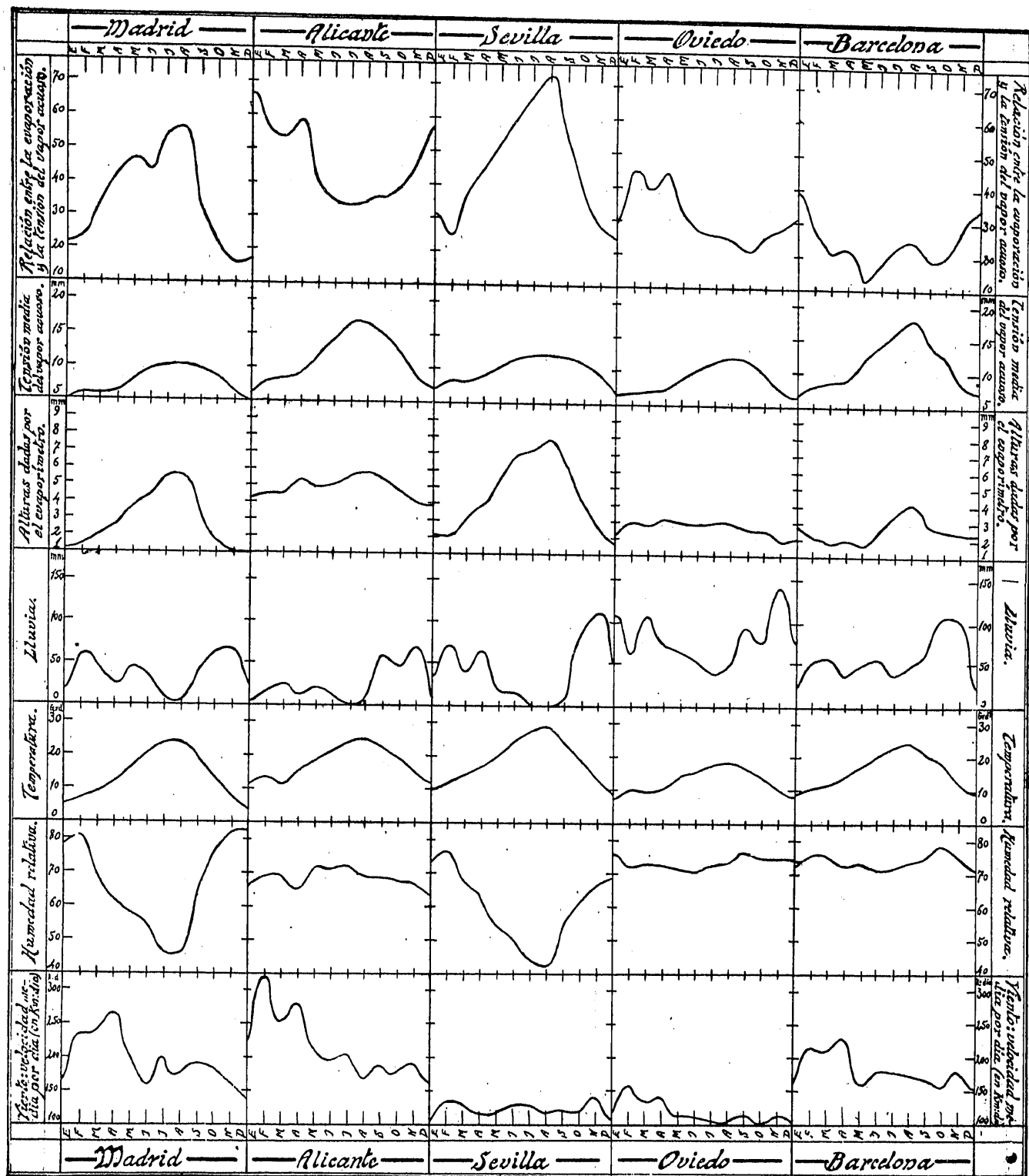
Las curvas de evaporación que en el mapa figuran son, como antes dijimos, los valores medios en el decenio 1914-23; pero las cifras de un año a otro son, en general, poco diferentes entre sí. En demostración de esto indicamos las alturas dadas por el evaporímetro de algunas estaciones, escogidas al azar, durante los diez años estudiados:

ESTACIONES	AÑOS										Media decenal
	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920	1921	1922	1923	
Barcelona.....	2,0	2,6	2,8	2,9	1,5	2,4	2,7	2,1	2,6	3,2	2,48
Bilbao.....	2,9	2,5	2,7	2,3	2,7	2,4	2,8	2,2	2,3	2,5	2,53
Cáceres.....	7,0	6,6	7,0	7,9	7,3	6,8	6,5	7,0	6,6	7,6	7,03
Ciudad Real.....	3,0	4,2	4,7	4,5	4,0	3,7	3,3	3,5	3,6	3,9	3,84
La Coruña.....	2,4	2,9	2,0	2,4	2,6	2,5	2,4	2,5	2,1	2,0	2,38
Granada.....	4,5	4,4	5,0	5,0	4,9	5,1	5,0	4,8	5,8	4,1	4,86
Huesca.....	4,9	3,8	4,6	4,2	4,8	4,6	4,1	4,1	4,5	4,8	4,43
La Laguna.....	1,8	1,9	1,7	1,8	1,7	1,7	1,5	1,6	1,3	1,2	1,63
Mahón.....	2,5	2,5	2,7	2,7	2,6	3,0	2,8	2,9	2,7	2,6	2,70
Madrid.....	3,0	2,9	3,0	2,9	3,6	2,6	2,8	2,8	2,7	2,7	2,90
Pontevedra.....	2,5	2,7	2,5	2,6	2,7	3,1	2,8	2,8	2,4	2,9	2,70
Riudabella.....	3,1	2,8	2,7	2,8	2,8	3,0	2,9	3,2	3,0	3,2	2,95
San Julián de Vilatorca.....	1,9	1,8	2,2	1,9	2,0	1,9	1,9	1,8	2,1	2,1	1,96
Tarragona.....	3,6	3,3	3,7	3,5	3,1	3,3	3,0	2,8	3,3	3,2	3,28
Toledo.....	4,9	4,9	5,4	5,3	5,3	5,0	5,2	5,1	5,4	5,8	5,23

En cuanto a las variaciones de la evaporación en su relación con otros elementos meteorológicos, en la imposibilidad de indicar aquí las características de todas las estaciones estudiadas, hemos escogido de ellas las de condiciones más diferentes y representado gráficamente los valores medios mensuales durante el quinquenio 1919-23 (segundo del decenio correspondiente al mapa) de Madrid, Alicante, Sevilla, Oviedo y Barcelona. Indicamos en estos gráficos las alturas dadas por el evaporímetro y aquellos otros datos que influyen en la variación de la evaporación, es decir, tensión media del vapor acuoso,

lluvia, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento media por día y la relación entre la altura dada por el evaporímetro y la tensión del vapor acuoso.

Del examen de estos gráficos se deduce la semejanza de las variaciones de la tensión media del vapor acuoso y de la temperatura con las alturas dadas por el evaporímetro; se observa también el mayor valor medio de estas alturas para menor valor medio de las de lluvia. Vemos confirmado, por consiguiente, que aunque las leyes exactas de la evaporación no están aún determinadas, la veloci-



Gráficos meteorológicos de Madrid, Alicante, Sevilla, Oviedo y Barcelona en el quinquenio 1919-23

dad de evaporación crece con la temperatura del agua y la velocidad del viento y disminuye cuando la humedad y la presión del aire aumenta.

La variación anual de la tensión da máximos en verano y mínimos en invierno; la de alturas del evaporímetro sigue marcha análoga con máximos elevados en países de verano riguroso, como Madrid y Sevilla, y mínimos muy pequeños en las regiones de inviernos fríos, marcándose poco la diferencia entre los máximos y mínimos en las zonas húmedas, como Alicante y Oviedo. En cuanto a la variación anual de la humedad relativa, se observa que sigue una marcha inversa respecto a la de las curvas de tensión y evaporación. En los países donde hace frío y buen tiempo en invierno con lluvias en verano (condiciones climatológicas de Pekín, por ejemplo), la variación anual de la humedad relativa es, por el contrario, análoga a la de la tensión; no así en los países de la Europa Central, donde la variación anual de la humedad relativa presenta un mínimo en abril y máximo en diciembre, con máximo secundario en

junio y mínimo secundario en julio; tales son las oscilaciones observadas en París, por ejemplo. Este último tipo de variación presenta algunas características análogas a las de España, con las consiguientes variaciones según la región; el mínimo es muy marcado en agosto en Madrid y Sevilla; pasa a abril, como en París, en Alicante, y a octubre en Barcelona; los máximos tienen lugar en diciembre o enero en Madrid, Sevilla y Oviedo; en junio, en Alicante, y en octubre, en Barcelona.

Terminamos con esto la exposición de los resultados más salientes que, con los datos existentes en España, hemos deducido, mas no sin antes hacer observar que sería muy conveniente, como antes dijimos, que se instalaran en los embalses de España aparatos de evaporación de gran superficie y situados en lugares con distintas condiciones de profundidad de agua, orientación, etc., para poder deducir, con los datos aportados, provechosas enseñanzas en materia de tanta importancia.

César VILLALBA
Ingeniero de Caminos^s

Consideraciones sobre el cálculo y la ejecución de las presas-bóvedas

Si insistimos, tras los diferentes artículos referentes a las presas-bóvedas, sobre el del profesor Peña Boeuf (1), debemos resaltar, desde el primer momento, el gran interés y valor de este artículo, en el cual, para la construcción de una presa-bóveda, desde el punto de vista puramente teórico, su autor busca una solución que responda a la teoría del arco, y reconocemos que una solución así sería muy económica; pero vamos a mostrar los ensayos hechos con este objeto y las dificultades que han surgido.

El ilustre profesor recuerda el gran número de eventualidades de la repartición de las cargas sobre bóvedas y ménsulas en el llamado método Stucky (2) y busca en su artículo, como hemos dicho, una solución que responda puramente a la teoría.

Nos permitimos recordar, que una discusión semejante hubo en 1919-20 en Suiza, a propósito de la presa de Amsteg, sobre la cual insistiremos más tarde, que fué calculada como bóvedas independientes, para lo que en la ejecución éstas reposan unas sobre otras por intermedio de juntas de mortero.

El Sr. Peña Boeuf recomienda dividir la presa mediante capas de asfalto en bóvedas horizontales y rodear los puntos de apoyo en la roca con arcilla o asfalto, a fin de que las directrices de aquéllas, coincidentes con los polígonos funiculares que corresponden a la presión del agua, sean arcos de círculo.

Estamos de completo acuerdo en que la hipótesis de la flexión correspondiente a un punto de cruce entre una bóveda horizontal y una lámina de una viga vertical no está fuera del alcance de toda crítica. Es cierto que la influencia de la carga y de la temperatura sobre las vigas y los arcos que tienen diferentes longitudes, secciones y curvaturas, no es la misma en todos los puntos. Deben producirse tensiones de deslizamiento entre las láminas con un valor considerable, sobre todo cerca de los apoyos.

Si se estudia el problema, bastante sencillo, de una placa apoyada libremente sobre sus cuatro lados, o que esté empotrada en uno solo o en los cuatro lados, se encuentran considerables dificultades. El doctor Markus (1) ha estudiado esta cuestión a fondo y establecido una diferencia de hasta 70 por 100 entre las tensiones normales calculadas, de acuerdo con las normas para construcción en hormigón armado de la mayor parte de los países, establecidas según el sistema análogo, suponiendo la placa repartida en láminas independientes, y la realidad. Las tensiones de deslizamiento entre las láminas y el momento de rotación que de ellas resulta, pueden disminuir las tensiones normales sensiblemente, pero también cambiar la repartición de las tensiones según nuestros cálculos. Sería, pues, importante estudiar las tensiones de deslizamiento de una presa-bóveda, pero las dificultades matemáticas son ya casi insuperables para un perfil simétrico e inabordable para un perfil irregular.

(1) Véase REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, número 9, 1.º mayo 1927, y el proyecto del Sr. Becerril (R. DE O. P., número 8, 1927).

(2) Stucky (A.): *Etude sur les barrages arqués*. (Rouge et Cie. Lausanne, 1922.)

(1) Markus (H.): *Theorie elastischer Gewebe und ihre Anwendung auf die Berechnung biegsamer Platten*. (Julius Springer. Berlín, 1924.)

Markus (H.): *Die vereinfachte Berechnung biegsamer Platten*. (Julius Springer. Berlín, 1925.)