

CORRIENTES DE AGUAS SERRANAS

Por EMILIO AZAROLA GRESILLON,
Ingeniero de Caminos.

Presenta el autor algunas normas para el aforo de estas corrientes, que debe preceder al estudio de los correspondientes aprovechamientos hidroeléctricos, que considera de interés, aun cuando a veces sean modestas en su cuantía.

El territorio jurisdiccional de España, en una latitud geográfica media, surcada por una red de cordilleras y sierras de faldas escarpadas, combatidas por vientos, de dirección inestable, procedentes tan pronto de regiones oceánicas como de tierras polares o siberianas o de desiertos abrasados, se comprende fácilmente que ha de tener un régimen sumamente irregular y aleatorio, en el caudal de sus corrientes de agua, alimentadoras de los saltos, de que depende en grado importante nuestra vida industrial. La irregularidad ha sido corregida notablemente por la construcción de numerosos e importantes pantanos, debidos a la previsión, ahinco y aplicación tenaz de Cuerpos de Ingenieros españoles, y por la conexión que los adelantos de la técnica permiten hacer entre las redes de transporte de energía eléctrica de regiones nacionales diversificadas y aun de alguna internacional.

Mucho se ha hecho en el tiempo pasado: pero aún queda bastante por hacer, y en este artículo se va a tratar de una labor que precede a la ejecución de un salto nuevo, que es la previsión del caudal de agua de que podrá disponer; pero limitándonos a un caso restringido, que es: el de saltos de agua emplazados en las inmediaciones de la cúspide de una sierra o cordillera, alimentados por corrientes de agua nacidas en las cumbres y que descienden por sus faldas.

La redacción de este artículo ha sido sugerida por trabajos que han culminado en el aforo oficial correspondiente a los saltos de agua de los Picos de Gredos, que fué encomendado a la Confederación Hidrográfica del Tago y destacado al Ingeniero don Joaquín Garrido, que forma parte de su personal facultativo. Tales aforos presentaban dificultades provenientes de lo escarpado del emplazamiento de los saltos y de lo riguroso de su clima. Pero dicho hábil Ingeniero ha vencido aquellas dificultades con gran pericia científica e infundiendo en sus subordinados y personal subalterno la energía y el tesón necesarios.

Cuando una masa de aire, de espesor vertical considerable, a las veces de varios kilómetros, se precipita contra una cordillera y asciende, obligada,

por su falda, es asiento del fenómeno termodinámico conocido: cada volumen, de cierto grado higrométrico con inclusión de nubes, o sin ella, va perdiendo en su marcha ascensional presión y temperatura, y en consecuencia puede llegar al punto de saturación seguido de formación de nubes y luego de precipitaciones lluviosas o niveas. Una vez salvada la cresta del resalte geográfico en la superficie de la tierra, la masa de aire sufre una transformación inversa: se comprime en su descenso y aumenta de temperatura, tanto más cuanto que acaba de absorber calor que le dejó la licuación de vapor de agua y tal vez la congelación del agua precipitada.

En cada zona del nivel de la falda aumenta con la altitud la intensidad de la precipitación, en general. L'apparent estima como máxima la que sucede a corta distancia de la línea cumbre de la sierra, una vez salvada por la corriente aérea. La precipitación total depende de los estados inicial y final del fenómeno aludido. Una misma cordillera puede presentar dos zonas regionales con la misma orientación, expuestas a una misma corriente aérea, con la misma altitud en su base y en su cresta, pero con una longitud normal a su dirección, en planta, de 50 kilómetros la una y de 10 en la otra. La capa media de agua abandonada al paso de una masa de aire húmedo será muy próximamente *quintuple* en la segunda que en la primera. Sin que esto tenga gran influencia en la isohieta general de la comarca. Es ésta una observación que no debe olvidarse.

A su vez, el viento que incide contra el obstáculo que se le presenta aumenta de velocidad a partir del pie de la ladera. Si el suelo tuviera una forma geométrica en la cordillera, podría dibujarse, en demostración, una representación del flujo de los filetes aéreos, que correspondería a una permanente o al menos irrotacional: pero lejos de eso, el viento en las sierras, amoldado a profundas anfractuosidades y resaltos frágiles, se torna turbulento y no es más que un confuso amontonamiento de remolinos de una violencia imponente. Recuérdese, como ejemplo instructivo, las dolorosas catástrofes de aviones sorprendidos, en años recientes, al trasponer la divisoria de

Somosierra y encontrarse con una atmósfera inesperada, procelosa, como el mar cuando se desencadena una tempestad en un cabo prominente en una costa rocosa.

Concomitante con este fenómeno meteórico, puede presentarse otro, que no puede dejarse de mencionar, porque ha sido materia de una discusión larga y enconada entre ingenieros. Una masa de aire que ascienda en contacto con una falda cubierta de bosques, puede dejar allí agua, en cierta proporción, independientemente del fenómeno termodinámico antes referido. En tal caso, pueden formarse nubes, condensándose el vapor de agua en gotas milimétricas de, por ejemplo, 20 micras de diámetros, que abandonen su calor de condensación en la masa de aire y que, arrastradas por el viento, tropiecen con superficies sólidas, humedeciéndolas y mojándolas, sin intercambio de calor. La reiteración de esta fijación de las gotas de niebla forma otras de tamaño suficiente para deslizarse de las hojas y caer, a guisa de gotas de lluvia.

El bosque obra de este modo: en las faldas del Pirineo y en zonas donde el monte es explotado por talas periódicas y por zonas distribuidas, en ocasión de remontarse las nieblas por las faldas montañosas, el autor de este artículo y sus acompañantes se han visto obligados muchas veces a salir a la zona despejada para eludir el agua que caía bajo la arboleda.

Pero la proporción de esta pseudolluvia, si se incorpora a la verdadera, es sumamente pequeña. La aglomeración, unas con otras, de las partículas de vapor condensado, sobreviene en toda la masa de la nube, de kilómetros cúbicos de volumen, sin que se pueda comparar a la acción superficial a que nos hemos referido.

Aparte de la influencia del bosque, pueden existir otras de mucha mayor importancia. En las Islas Canarias, y tal vez en otras que no conoce el autor, la capa anual de lluvia es muy pequeña y no alimenta la corriente de los barrancos. Y sin embargo, la isla de Tenerife, por ejemplo, es muy rica en agua, que no llueve y sirve para todos los usos, incluso para regadío de sus valiosas producciones agrícolas. El pico del Teide presenta de un modo permanente un collar de nubes, un mar de niebla entre las altitudes, de unos 1 200 a 2 600 m. de altitud, que los vientos alisios arrastran, frotando la húmeda corriente contra el suelo del monte y contra todo lo que se le oponga, siquiera sea un mástil, antena de radiaciones. La superficie volcánica de lavas y cenizas que se consolidaron desde tiempos geológicos, es enormemente higroscópica y el macizo entero sumamente permeable. En consecuencia, una gran cantidad de agua es absorbida y desciende paulatinamente de nuevo hasta el Océano, donde, quizá a centenares

de kilómetros, se evaporó y fué arrastrada por el alisio. Por fortuna, el macizo de toda la isla está sembrado de diques de basalto, de emanación interna, en todas direcciones, al azar, y estos diques, deteniendo, dividiendo y concentrando aquel flujo de agua descendente, forman escondidas venas de agua que los habitantes del país encuentran al acaso al perforar kilómetros de galerías, por donde sacan a la luz este prodigioso abastecimiento de aguas de Tenerife.

Para deducir el caudal racionalmente previsible de las corrientes de agua formadas del modo que se ha bosquejado, existen tres procedimientos:

1.º *Procedimiento indirecto.* — Consiste en estudiar la cuenca geográfica sirviente de la corriente natural, apreciando por medios adecuados las precipitaciones lluviosas sobre la misma cuenca o sobre las cuencas de donde procedan infiltraciones favorables. Aplicando un coeficiente de escorrentío, deducido por comparación con otros casos análogos en las condiciones de la naturaleza del suelo, del clima y de las épocas de producción de lluvias, establecer un método meteorológico.

2.º *Procedimiento directo.* — Consiste en establecer en el paraje de la corriente que interese al propósito perseguido una estación de aforo, durante un periodo suficientemente largo para que las cifras obtenidas puedan señalar una normalidad media duradera. Este es el método hidráulico.

3.º *Procedimiento mixto.* — Consiste en valerse por tiempo de un año siquiera, del procedimiento hidráulico y deducir de datos recogidos en las cercanías, que abarquen un cierto número de años consecutivos, las variaciones y alternancias que sean de esperar en las precipitaciones, de donde al fin han de proceder los caudales esperados.

1.º PROCEDIMIENTO METEOROLÓGICO.

La medición de las precipitaciones en una cuenca se hace por *puntos aislados*, estableciendo en cada uno de ellos un pluviómetro. Se ofrece horizontalmente la boca de un embudo a la penetración de las gotas de lluvia, o copos de nieve, que caen, por gravedad, en el espacio anular, de un par de decímetros de área, y se admite que la precipitación de lluvia desde la atmósfera libre, sobre esa boca del pluviómetro, es un término medio de las precipitaciones por cada área igual, en cierto radio alrededor de su emplazamiento. Antes de penetrar para ser encerradas por el embudo, las gotas de lluvia están expuestas al viento y existe un supuesto implícito: que las trayectorias del haz de gotas de lluvia recogidas presentan cierta regularidad de forma en el espacio y la

velocidad de su descenso cierta constancia en el tiempo, en todo el contorno asignado al punto aquél, sin cuyo requisito perdería su sentido de promedio la medición.

Si el suelo de la cuenca que se examina es, en extensión suficiente, llano o entrellano siquiera, y el viento tiene la apariencia de una corriente fluida no turbulenta, las trayectorias de las gotas de lluvia presentan formas regulares, con cierto grado de paralelismo entre ellas y pueden admitirse los supuestos referidos. La inseguridad de los resultados se atenúa al promediar el cómputo de gran número de pluviómetros, instalados en parajes diversificados y en varios años consecutivos.

De este modo se dibujan mapas de las isohietas de un país, que dan una idea utilizable acertadamente, para ciertas aplicaciones climatológicas, forestales, agrarias, sanitarias, etc., etc.

Tratándose de la previsión del caudal de una corriente fluvial de importancia, que se intente utilizar para un aprovechamiento hidroeléctrico, el método es admisible en un estudio preliminar; pero ni siquiera en este primer grado merece consideración en el restringido caso que nos hemos propuesto de un salto en cumbres serranas limitadas. En estas áreas especiales, las isohietas que se tratara de dibujar presentan tortuosidades, que sólo podrían apreciarse en escalas desusadas y puntos de discontinuidad y requerían el empleo de un número inaceptable de pluviómetros.

En España las estaciones mantenidas, aun para planos generales, son insuficientes y no precisan nuestras ideas mucho más que lo que un conocimiento somero de la orografía de la Península y de la procedencia y carácter de las masas aéreas que la invaden nos permitiría suponer. En las publicaciones que el autor ha podido obtener, hay grandes lagunas en la red de estaciones pluviométricas y, desde luego, las sinuosidades que hemos mencionado no pueden señalarse. Así se explican algunos olvidos absurdos. Por ejemplo: el viento del SO., el ábrego, cargado de humedad, proveniente de larguísima *línea de agua* oceánica, de mares tropicales, penetra en la Península y en algunos pasos entre alturas; se adelanta sin tropiezo con prominencias desecadoras, hasta chocar con una de las cordilleras más ásperas y elevadas de la Península: la sierra de Gredos; pues bien, hay mapa que encierra toda esa región en la isohieta de 400 milímetros de capa media anual.

Hay, todavía, varias circunstancias que hacen inaplicable el método. Considérese lo antedicho acerca del viento tempestuoso que salva el resalto formado por una cordillera sobre la superficie del globo. La *pequeñez de la boca* de un pluviómetro, en el caos turbulento de la atmósfera en la cresta de la sierra,

desacredita al aparato tanto como a un molinete de Woltmann la sumersión al pie de una cascada cayendo sobre un fondo rocoso.

Además, debe recordarse que existen trasvasaciones naturales del agua en la capa freática y en otras profundas, de unas cuencas a otras. Como la diferencia de nivel entre faldas de opuesta orientación, pero contiguas, de una sierra puede ser muy grande, las trasvasaciones pueden influir decisivamente en los caudales fluentes. Hay varios aprovechamientos en el Bajo Pirineo, importantes, en la vertiente septentrional, de inclinación muy pronunciada, que reciben el caudal de su dotación, desproporcionado a la magnitud de su cuenca sirviente, de altiplanicies orientadas al Sur. Incluso llegó a iniciarse una discusión sobre la pertenencia jurídica de ríos subterráneos descubiertos en la sima de San Martín, en España; pero muy próximos a la frontera francesa, donde ocurrió la dolorosa y lamentable pérdida de un insigne espeleólogo francés.

En las cimas donde emergen terrenos del estrato cristalino o de granitos y pórfidos hipogénicos, no se presenta la circunstancia que inutiliza para su aplicación la medición de la capa anual sobre la cuenca sirviente; pero en terrenos sedimentarios, de estratos retorcidos en épocas arcaicas, se ha de proceder con prudencia. Y más aún en formaciones de calizas cavernosas, de que es ejemplo notable la altiplanicie que corona la sierra de Urbasa y Andía, del país vasco-navarro, donde el agua llovida se sumerge y aparece en flancos de la sierra, esparcidos en copiosos *nacederos*.

2.º PROCEDIMIENTO HIDRÁULICO.

Los detalles formales de su aplicación no ofrecen la menor duda. Las cuencas serranas son de dimensiones relativamente reducidas y es fácil y asequible la construcción de presas-vertederos en parajes adecuados de las corrientes que se proyecte captar. Presas de remanso suficientemente amplio, con escotaduras cerradas con palastros de hierro, de borde biselado, formando vertederos en pared delgada. Conviene suprimir la contracción lateral y ventilar la cara inferior de la lámina vertiente, y también dividir la anchura total en dos o más porciones, con aristas a diferente altura, para medir bien gastos pequeños de estiaje y grandes de avenidas.

La altura del remanso será registrada en limnógrafo, establecido con precauciones conducentes a evitar interrupciones causadas por congelación que, a las veces, exigirán medios extraordinarios para ser evitados.

Con eso se obtendrán resultados muy próximos a

ser exactos, sin necesidad de acudir a coeficientes de escorrentía, siempre dudosos.

En casos especiales de suelo perfectamente impermeable y evaporación conocida o razonablemente supuesta, el conjunto de la pequeña cuenca con su presa y su limnógrafo se puede considerar que forman, a la postre, un pluviómetro de tamaño natural, en el cual, a causa de las dimensiones del receptáculo de la lluvia, que se miden por kilómetros, no por decímetros, evitan el obstáculo de la turbulencia atmosférica. El volumen del líquido se aprecia con el medio que en la Hidráulica práctica existe de mayor precisión. Así, en la cuenca de las Cinco Lagunas, de una extensión de 0,592 Km.², impermeable como un plato de porcelana, situada inmediatamente detrás de las cumbres de Gredos, en la situación óptima de Lapparent, en el año hidráulico 1955-56, es enteramente indiscutible que las precipitaciones de agua y nieve equivalieron a una capa de agua de más de siete metros de espesor.

3.º PROCEDIMIENTO MIXTO.

Importa, sobre todo, la obtención de una cifra media probable en el tiempo por venir, y, por ende, el resultado de muchos años de observación, lo cual es incompatible tal vez con la premisa de la gestación comercial de la empresa imaginada.

Cabe recurrir, cuando se tengan observaciones meteorológicas o hidráulicas relativas a cercanías del emplazamiento en ciernes, a sistemas de comparación de que vamos a dar una idea, admitiendo un supuesto perfectamente defendible: que en parajes elegidos, contiguos o vecinos unos de otros, y en cada uno de ellos las precipitaciones en dos mismos años distintos, guardan una misma relación. O sea: que la *calidad hidrológica-meteorológica* de regiones contiguas, es la misma.

El agua, en el globo terráqueo, recorre un ciclo de cambios de estado siempre repetido. De los mares pasa a la atmósfera, convirtiéndose de líquido en vapor. En la atmósfera se licúa de nuevo. Cae a tierra y se divide en varias porciones que, por caminos y modos variados, torna otra vez al mar, cerrando un anillo del ciclo, que se repite indefinidamente.

Para computar cuantitativamente cada porción, conviene reducir todas a dimensiones lineales. Cifrando cada volumen líquido en Hm.³, la división por el área de la cuenca en Km.² nos da un número de metros que tendría una capa virtual de espesor uniforme, que se esparciera, con igual volumen, en tal área.

La cantidad P de precipitaciones sobre la cuenca considerada se descompone en partes:

a) Una parte que va a engrosar las corrientes fluviales, F , la cual puede ser recrecida o disminuida

por trasvasaciones en cierta proporción, según la hipótesis supuesta, convirtiéndose la aportación en $F + F_1$.

A esta porción designan los autores alemanes con el vocablo *escorrentía* (Fischer, Keller, etc.): pero desde el punto de vista que nos ocupa, que es el aprovechamiento hidroeléctrico, esta dimensión ha de ser afectada de una sustracción: porque todo el caudal que llega por la corriente natural al remanso de la presa, por la cual es derivada hacia las turbinas donde debe trabajar y convertirse en energía eléctrica, cabe que no pueda admitirse en su mismo régimen de fluencia. La regulación de este régimen puede consistir en lagunas naturales, frecuentes en esta clase de aprovechamientos serranos, como los ibones del Pirineo Alto y Oriental, o en pantanos artificiales. La misma nieve espera su fusión durante cierto plazo, y en parte tiene ese carácter de acumulación. Pero, en general, las avenidas saltarán por la presa de derivación, siendo pérdidas para su utilización. A este respecto debe tenerse en cuenta la afortunada conexión sobrevenida entre las grandes redes consumidoras, para dotar ampliamente el diseño de turbinas y generadores del salto. En fin de cuentas, se hará la rebaja obligada afectando a la porción $F + F_1$ de un coeficiente $(1 - \alpha)$.

b) Otra parte de las precipitaciones no llega a los cauces fluviales. La que cae sobre superficies líquidas (lagunas, pozos, charcos, etc.) o sólidos (el mismo suelo, las construcciones, el arbolado, las plantas herbáceas, etc.) se evapora directamente y otra, considerable, penetra en tierra. De ésta, alguna, rara vez como la que hemos referido al hablar del Teide, se dirige directamente al mar: pero, en general, es absorbida por las raíces de la vegetación y se evapora en las hojas. En definitiva, toda la parte que no llega al cauce fluvial se evapora y forma una parte, V , que depende algo de la precipitación total y mucho más de la temperatura del ambiente en el país y de la altitud de la cuenca estudiada.

La temperatura climática es variable de unos años a otros en cada lugar, pero no en grado semejante a la del volumen de las precipitaciones. La pequeña trascendencia que tiene esta variabilidad hace que sea costumbre de los autores tomar esta dimensión, V , como fija. En la Europa central se toma una cifra poco diferente a 400 mm. en cada caso.

En las sierras de España podrían tomarse 300 milímetros en grandes altitudes del Norte de la Península y de 400 a 600 en el Mediodía.

c) Puede citarse otra porción, de magnitud despreciable, en nuestro propósito, de agua que pasa a formar parte, por cristalización o combinación química, de otros cuerpos.

En definitiva podemos establecer la relación:

$$P = (F + F_1) (1 - \alpha) + V.$$

De esta relación, de la hipótesis antes formulada de igualdad de la calidad hidrológico-meteorológicas de cuencas serranas contiguas, de las estadísticas que se puedan obtener y del fundamento de un aforo preciso por un período mínimo de un año, podemos deducir un cómputo de probabilidad suficiente de la dotación de caudal que pueda esperarse para un salto en proyecto.

En resumen: la previsión de que hemos tratado requiere un estudio geológico detenido de la cuenca serrana que se proyecte explotar y de sus alrededores: un examen estadístico de la afluencia de masas de aire aportadas por el viento y de sus procedencias y recorridos y, en fin, un aforo preciso y continuo de duración mínima de un año de las corrientes de agua que se intente captar.

La aplicación a este empeño de cifras de isohietas

generales o comarcales, con aplicación de coeficientes de esorrentía arbitrarios, es completamente inadecuada y no puede ofrecer ni siquiera una aproximación en los vaticinios que se deduzcan de tal modo.

Y no se desdeñe la importancia del conjunto de los numerosísimos, aunque unitariamente modestos, aprovechamientos de esta clase que pueden esmaltar las sierras del territorio español, deslumbrados por el brillo de empresas multimillonarias, aunque fundamentales a la verdad, para el porvenir de nuestra colectividad. En los alrededores donde se escribe este artículo, en las montañas de Navarra, Guipúzcoa y Vizcaya, en cada rincón de sus vaguadas, hay una pequeña central, y a buen seguro que, aunque modestas, son las primeras en el aprecio de los que en sus cercanos domicilios artesanos han fundado la brillante vanguardia de la industrialización preconizada, teniendo a la vista las ostentosas redes de altísima tensión, que, asimismo en vanguardia, han construido para enlazar las urbes capitales.