
ANALES

DEL INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Sucesor

De la: «SOCIEDAD DE INGENIERIA» Y del: «INSTITUTO DE INGENIEROS»
Fundada el 31 de Mayo de 1888 Fundado el 28 de Octubre de 1888

Con Personalidad Jurídica desde el 28 de Diciembre de 1900

Adherido a la USAI y a la CONFERENCIA MUNDIAL DE LA ENERGIA

AÑO LXII ● MAYO - JUNIO DE 1949 ● N.ºS 5 - 6
Comisión Editora: Raúl Sáez S. (Pdte.), Carlos Ponce de León, Jorge von Bennewitz y José Pablo Domínguez

Ing. Arturo Quintana A.

Previsión de los escurrimientos glaciales por medida de la nieve

INTRODUCCION

La nieve que se acumula, durante los períodos de precipitaciones estacionales, en las regiones de alta cordillera, constituye una forma de embalse natural, en cierto modo incontrolable por el hombre, y que alimenta en la época de deshielos, a los cursos naturales respectivos.

Estos cursos naturales constituyen cada día más, una fuente de riqueza al ser utilizados como fuentes de abastecimiento de agua para las diversas actividades de la producción que requieren su uso.

El embalse natural constituido por la acumulación de nieve, es por lo general accesible a diversas formas de inspección y medida, tendientes a una apreciación cuantitativa que permita hacer un pronóstico o previsión de las disponibilidades hidrológicas para los abastecimientos de agua en un futuro próximo, por ejemplo durante la temporada de deshielos próxima. Esta previsión es en numerosos casos de gran utilidad para las reparticiones, entidades o personas que ocupan el agua, ya sea en agricultura, en servicios de agua potable, en la producción de fuerza, etc., y será cada día más necesaria a medida que el uso del agua sea más requerido.

En el estado actual de la técnica de esta rama de la hidrología, el procedimiento de previsión que permite mayor fidelidad en el pronóstico es el de las "Rutas de Nieve", que pasamos a desarrollar.

BASES DE PROCEDIMIENTO

El método de las Rutas de Nieve es un procedimiento empírico. Su teoría es la siguiente:

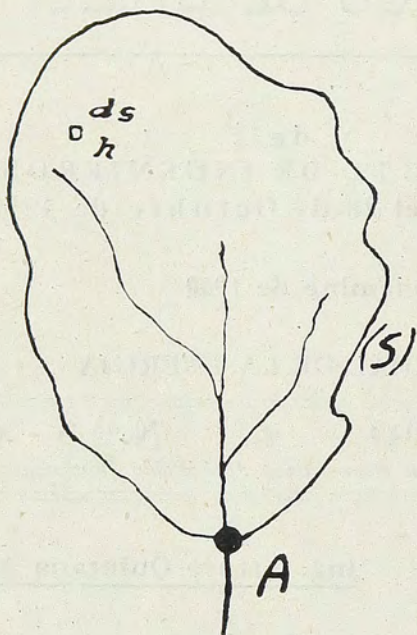


fig. n° 1.

Sea (S), una hoja hidrográfica que desagüa por el punto A.

Supongamos que esta hoja se encuentra en el período en que recién terminadas las tormentas de invierno el volumen de nieve almacenada aproximadamente ha llegado a su máximo.

Denominando h la altura variable de un punto a otro del manto de nieve avaluada como equivalente en agua, se tendría:

$$V_a = \int_0^S h ds \quad V_a = \text{Volumen (Equivalente en agua) de la nieve acumulada.}$$

o también

$$V_a = h_m \cdot S \quad h_m = \text{Altura media de la nieve (equivalente en agua)}$$

Siendo por lo tanto

$$h_m = \frac{1}{S} \int_0^S h ds$$

Ahora bien, el volumen excurrido, controlable en A, mediante una sección limnimétrica es:

$$V_e = \beta V_a$$

El factor que se ha denominado β , representa la fracción del volumen de agua acumulado que se transforma en excurrimiento durante la temporada de deshielo y estiaje posterior, pero anterior a la próxima temporada de precipitación nívea.

Analizando el significado de este factor podemos establecer:

$$\beta = 1 - d$$

siendo "d" lo que podríamos denominar "deficit unitario de excurrimiento". Comprende:

- a) Las pérdidas unitarias por transformación al estado gaseoso (evaporación y sublimación).

- b) Las pérdidas permanentes por infiltración. Del agua que al producirse la fusión de las nieves queda libre para excurrir, una parte se insume en el terreno produciendo napas subterráneas generalmente freáticas. Una parte de ésta reaparece más abajo en la superficie libre de los cursos naturales durante el mismo período de fusión o en forma de estiajes posteriores. En cambio otra parte vuelve a la superficie del terreno por capilaridad, perdiéndose en definitiva por evaporación de suelos humedecidos. Esta última parte queda comprendida dentro del "déficit unitario de excurrimiento".
- c) El remanente que no alcanza a fundirse antes de la temporada siguiente.

La magnitud de cada una de las pérdidas que integran el valor de "d", y por lo tanto la magnitud de β dependen principalmente:

- a) De factores permanentes, como ser de la orografía y fisiografía de la hoya, o sea característica de permeabilidad de los diversos puntos de la hoya, características de forma, orientación, pendiente de los accidentes del terreno, etc.
- b) Del proceso meteorológico anterior, reflejado en este caso integralmente en el valor mismo del valor V_a acumulado, o lo que es lo mismo del valor de la altura media de agua h_m . En efecto la experiencia estadística ha indicado que el valor de β depende para cada hoya muy principalmente del valor de h , según una ley más o menos estable, siendo mayor para valores mayores de h .
- c) Del proceso meteorológico a lo largo del período de fusión de la nieve. Este es un factor perturbador que introduce cierta dispersión en los resultados. Por ejemplo, en el evento que en una misma hoya en dos años diferentes ocurriera que, en una misma época del año, ya terminado el período de tormentas, el volumen acumulado de nieve (equivalente en agua), fuera igual, el valor de β , será algo diferente, debido al diferente desarrollo cronológico del proceso meteorológico ulterior (temperatura, humedad del aire, fuerza y dirección de los vientos, etc.). Este factor sin embargo, afecta con mayor importancia a la marcha cronológica del desarrollo de la crece de deshielo, y sólo en menor escala al volumen total excurrido.

De los puntos a) y b) anteriores se desprende que para cada hoya hidrográfica:

$$\beta = \varphi_1 (h_m)$$

de donde resulta que:

$$V_e = \varphi_1 (h_m) \cdot h_m \cdot S$$

$$V_e = \varphi_2 (h_m) \cdot S$$

Sin embargo, lo expuesto en el punto c), conduce a dar a esta expresión solamente el carácter de aproximada.

Lo anterior ha supuesto que en la época elegida, toda la hoya hidrográfica considerada esté cubierta de nieve. Puede ocurrir, sin embargo, que el recubrimiento sea solamente parcial, y en este caso será variable de un año a otro, de tal manera que S ya no es una constante como aparece en la fórmula anterior. Pero por otro lado se verifica que tanto la superficie cubierta por la nieve, como la altura media dependen en forma directa de una misma causa: el fenómeno meteorológico anterior, ocurriendo que cuando ha sido mayor la precipitación anterior, junto con aumentar h_m , aumenta también la superficie afectada S . Dependiendo ambos fenómenos de una misma variable, por un proceso de correlación se puede también establecer:

$$S = \varphi_3 (h_m)$$

y por lo tanto

$$V_e = \varphi_4 (h_m)$$

o también

$$V_e = \varphi_5 (S)$$

Esta última fórmula, requeriría para su aplicación el conocimiento de la superficie S , realmente cubierta de nieve en la fecha elegida. Podría actualmente obtenerse todos los años por fotografías aéreas en esa fecha. Sería necesario considerar siempre hoyas parcialmente cubiertas de nieve para que S operara como variable.

El método de las "Rutas de Nieve" que se desarrolla en este trabajo opera con la expresión:

$$V_e = \varphi (h_m)$$

Para aplicar esta fórmula son necesarias dos condiciones: determinar el valor de la altura media de la nieve h_m en toda la hoya, y conocer la naturaleza y constantes de la función que liga h_m con V_e .

Se comprende fácilmente la dificultad material que existe para determinar el valor de h_m ; el enorme número de medidas locales que habría que efectuar diseminadas en toda la hoya, la imposibilidad de hacerlo en zonas inaccesibles en esa época etc., lo que hace esta tarea realmente irrealizable como regla general.

Esto se subsana limitando las observaciones a unos pocos, a veces un punto de la hoya, convenientemente elegido. Sea h la altura del equivalente en agua de la nieve en un punto dado P . Evidentemente la altura h acumulada en ese punto, es una función del fenómeno meteorológico

anterior, como lo es también el promedio general h_m , y también es evidente que las magnitudes de ambos valores año a año experimentan variaciones concomitantes, ya que ambos son funciones de la misma naturaleza de una misma variable. Por lo tanto se puede establecer:

$$h_m = \varphi_5 (h)$$

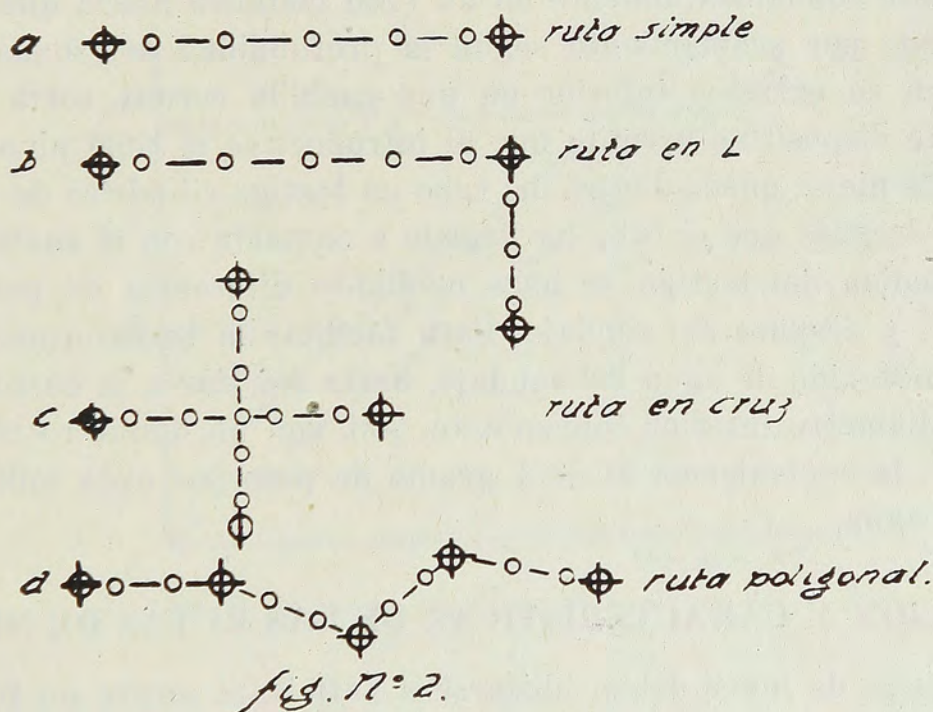
Por consiguiente

$$V_e = f (h)$$

Naturalmente, son necesarias ciertas condiciones o exigencias que debe cumplir el punto P para que pueda ser considerado como punto base. Estas condiciones serán analizadas más adelante.

RUTAS DE NIEVE

La medida de la altura (equivalente en agua), no se hace en un determinado lugar en un punto único, sino que en varios, situados a intervalos regulares, a lo largo de una o varias alineaciones. Son varias las disposiciones que suelen adoptarse. Se indican a continuación varias de las disposiciones en uso:



Los puntos marcados con círculos corresponden a la ubicación de las medidas individuales.

El promedio de los resultados de la altura para todos los puntos, es el valor de h correspondiente a la ruta. Lo que se intenta al medir y promediar los diversos valores de la ruta es eliminar el efecto irregular y aleatorio del amontonamiento y derivación de la nieve debido a los efectos de los vientos, deslizamientos y otros factores de perturbación.

Es indispensable que cada vez que se mida una ruta, cada uno de los puntos individuales sean observados, con la exactitud que sea posible en el mismo lugar, con un error no mayor de 0.50 mts., según ha indicado la experiencia. Para esto se señalizan en forma estable los puntos término, cruce y vértices de ruta, empleándose medidas a huincha a lo largo de los alineamientos para ubicar los puntos de detalle. Cada ruta debe por tanto planearse para operar siempre con el mismo grupo de puntos de observación.

Es indispensable además que alrededor de cada punto de detalle de observación, se despeje el terreno de las vegetaciones, cantos, rodados sueltos y sobresalientes, etc., que falsean la superficie natural del terreno. Esta limpieza y emparejamiento debe abarcar un radio no menor de dos metros en torno de cada punto de observación.

LA MEDIDA DE LA NIEVE

Las medidas del equivalente en agua de la altura de nieve en los puntos de observación se lleva a cabo procurándose testigos de sondaje verticales en cada uno de ellos. Esta operación se lleva a cabo mediante un tubo sonda especial (snow-samplers) que denominaremos aquí, equipo nivo-sonda.

Consiste fundamentalmente en un tubo metálico hueco que se puede ir añadiendo por acoplamiento según la profundidad del sondaje y que termina en su extremo inferior en una cuchilla corona corta nieve de acero. Este dispositivo permite que al introducirse el tubo nivo-sonda en el manto de nieve, quede dentro del tubo un testigo cilíndrico de nieve que se extrae después que el tubo ha llegado a contacto con el suelo natural.

La medida del testigo se hace mediante diferencia de pesadas del tubo antes y después del sondaje. Para facilitar la transformación a altura del contenido de agua del sondaje, basta con dar a la cuchilla corta-nieve un diámetro interior conveniente. Así, con un diámetro interior de 35,6 mms., la equivalencia es de 1 gramo de peso por cada milímetro de altura de agua.

UBICACION Y CARACTERISTICAS DE LAS RUTAS DE NIEVE

Las rutas de nieve deben ubicarse a suficiente altura en forma que no haya prácticamente fusión durante el invierno. Deben elegirse sitios que tengan una cubierta de nieve uniforme y bien protegidos de vientos irregulares. Plazoletas en hoyas cerradas y claros en bosques son buenas ubicaciones. Deben evitarse los faldeos de pendientes fuertes, tanto en el sentido longitudinal como transversal. La longitud de las rutas debe oscilar entre 150 y 1.500 mts. Las rutas de menos de unos 300 mts., deben observarse cada 10 mts. Entre 300 y 3.600 mts. cada 15 mts. Para longitudes mayores permiten distancia de 20 y aún 30 mts.

LA CORRELACION GLACIAL

La correlación interpretatriz de la función

$$V_e = f(h)$$

se establece empíricamente, relacionando los valores de h obtenidos, con los volúmenes realmente excurridos en una sección limnimétrica de control ubicada a la salida de la hoya hidrográfica considerada.

Esta correlación se materializa en un gráfico en que se llevan en ordenadas los valores de h y en abscisas los correspondientes valores subsecuentes de V_e .

El gráfico y procedimiento de cálculo es similar al de las curvas limnimétricas de descarga, que interpretan la relación

$$Q = f(h)$$

$$Q = \text{Gasto en m}^3/\text{seg.}$$

h = lectura de la regla limnimétrica.

En general el tipo de curva que resulta en la correlación glacial es del tipo siguiente:

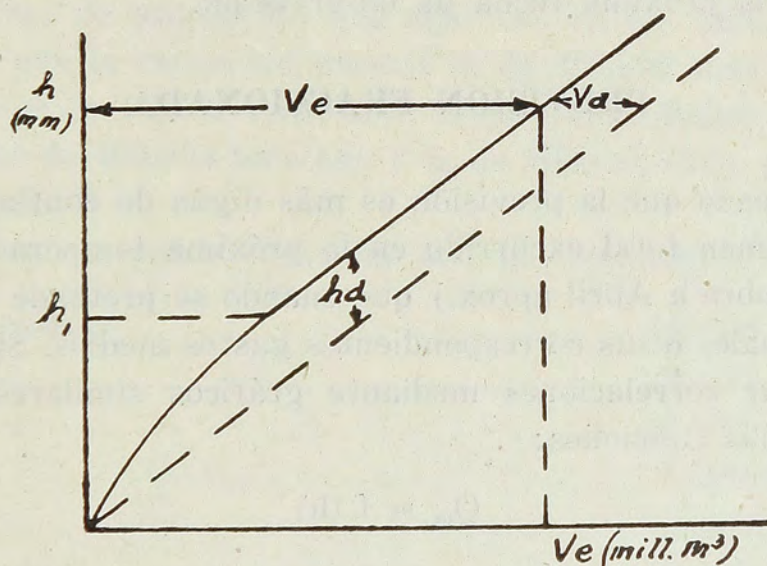


fig N° 3

La curva es mixta. Para valores de h menores que un valor límite h_1 , resulta una curva semejante a una parábola de eje horizontal. Para valores superiores una recta, que corresponde aproximadamente a un déficit de excurrimiento constante. Por lo tanto es paralela a la recta que indica el valor del volumen acumulado V_a .

Esta forma de la curva es válida principalmente cuando toda la hoya hidrográfica controlada en la sección limnimétrica, se encuentra bajo nieve a la fecha de la observación.

Para llegar a una buena correlación conviene establecer varias rutas de nieve dentro de la hoya, y determinar después de algunos años de observación, cuál sección o cuál combinación lineal entre ellas asegura mayor fidelidad en el pronóstico.

Después de unos seis a ocho años ya se puede elegir las rutas de nieve o una sola que puede mantenerse en definitiva.

EPOCA DE LA MEDIDA

La época apropiada para hacer las medidas es aquella en que normalmente se puede dar por terminado el período de tormentas de invierno y en que aún no ha comenzado el deshielo, pudiendo por tanto aceptarse que el manto de nieve ha llegado a su máximo espesor.

En Chile, Cordillera Central, alrededor del 1.º de Septiembre es en esta forma una época conveniente. Sin embargo, mientras se tenga mayor experiencia sobre el particular, convendría seguir las siguientes normas:

- a) Deberán hacerse medidas alrededor del 1.º de Septiembre, 1.º de Octubre y 1.º de Noviembre, en forma de tener dentro de algunos años idea cabal de qué fecha asegura mejor previsión.
- b) En caso que en el mes de Septiembre u Octubre ocurran tormentas de cordillera, la previsión debe basarse en las curvas de correlación de la próxima fecha de observación.

PREVISION FRACCIONADA

Se ha indicado que la previsión es más digna de confianza cuando se refiere al volumen total excurrido en la próxima temporada de deshielo y estiaje (Octubre a Abril aprox.) que cuando se pretende prever los volúmenes mensuales o sus correspondientes gastos medios. Sin embargo, es posible intentar correlaciones mediante gráficos similares al expuesto, para traducir las funciones:

$$Q_m = f(h)$$

para cada uno de los meses de la temporada de fusión y estiaje.

Un ulterior estudio llevado a cabo sobre valores estadísticos reales podría ilustrar mejor sobre la forma de plantear esta correlación y sobre las variables nuevas que probablemente conviniera introducir.

A. Q. A.
