

Ejemplo de curvas de pronóstico (serie base)

FIGURA N° 4

SIMULACION DE CAUDALES DE DESHIELO

Eduardo Varas C.

RESUMEN

Se describe un procedimiento para estimar los volúmenes escurridos por deshielo, el cual es parte integrante de un modelo matemático digital del ciclo hidrológico. La simulación del deshielo se basa en realizar un balance horario de los procesos de intercambio de energía entre el manto de nieve y el medio ambiente, para obtener así, un registro de los cambios que se van produciendo en el tiempo en la capa de nieve y su contribución al escurrimiento.

Se presentan, también, los resultados obtenidos al aplicar el procedimiento a la cuenca del río Polcura en Balseadero y se comparan los caudales simulados con los observados en el período 1965 - 1973.

Los resultados permiten concluir que este modelo es una herramienta valiosa de análisis para las cuencas de carácter nivnival y nivnopluvial.

Ingeniero Civil, Ph.D., Profesor Departamento Ingeniería Hidráulica, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.

1.- Introducción

Este trabajo describe un modelo de deshielo para un manto de nieve, que permite calcular un balance horario de los procesos de intercambio de energía entre la nieve, la atmósfera y el suelo. Aun cuando la concepción del modelo es general, se ha preparado un programa que forma parte de un modelo de simulación del ciclo hidrológico (Stanford Watershed Model, SWM) desarrollado en la Universidad de Stanford. (Crawford y Linsley, 1966).

El sub-programa de nieve constituye una útil adición al programa SWM, pues posibilita su aplicación en cuencas nivales y nivo-pluviales, mejorando en forma importante el ajuste entre los caudales observados y simulados en aquellos casos en que los efectos del deshielo son significativos.

El modelo que se describe en este trabajo es llamado por el programa principal en cada hora en que existe nieve acumulada en el suelo, o bien, hay precipitación (nieve o lluvia). El modelo modifica la precipitación de entrada, dando origen a un nuevo valor de precipitación efectiva que es sometido al resto de los procesos incorporados al modelo global y a la vez actualiza todas las características del manto de nieve para estar preparado para los cálculos en las horas siguientes.

El modelo de nieve inicialmente se formuló actualizando un sub-programa elaborado por Anderson (Anderson y Crawford, 1964) para el programa principal, pero posteriormente se cambió en forma importante, completando la manera de realizar el balance térmico del manto e incorporando procesos que no existían en la versión original.

2.- Descripción.

El modelo aborda el problema como un proceso de transferencia de calor, en el cual influye la radiación solar, convección y conducción de calor en el aire, transmisión de calor desde el suelo, condensación y evaporación en la inter-fase entre la nieve y el aire. El intercambio neto de calor de las fuentes anteriores representa la energía disponible para variar las condiciones térmicas del manto y para los cambios de estado. A fin de poder incluir la variación espacial de los factores anteriores se consulta la posibilidad de dividir la cuenca en zonas parciales de mayor homogeneidad.

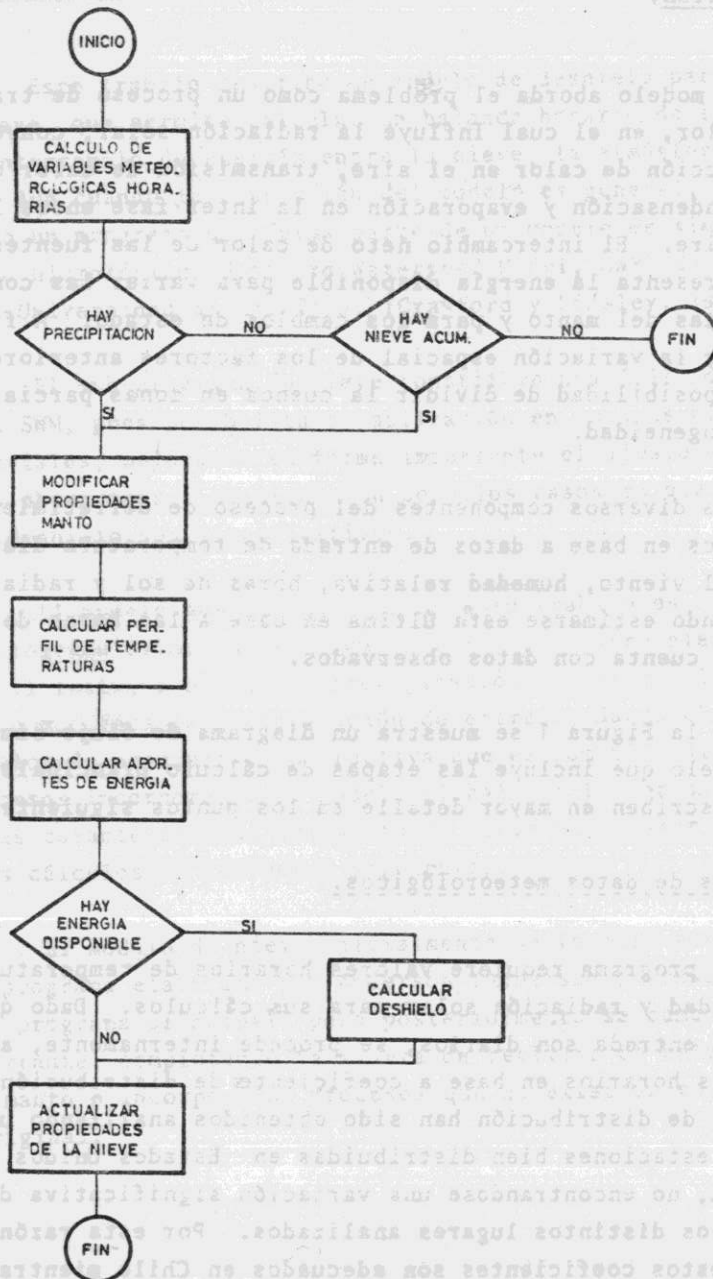
Los diversos componentes del proceso de derretimiento son calculados en base a datos de entrada de temperatura diaria, velocidad del viento, humedad relativa, horas de sol y radiación solar, pudiendo estimarse esta última en base a las horas de sol cuando no se cuenta con datos observados.

En la Figura 1 se muestra un diagrama de flujo simplificado del modelo que incluye las etapas de cálculo principales, las cuales se describen en mayor detalle en los puntos siguientes.

2.1. Cálculos de datos meteorológicos.

El programa requiere valores horarios de temperatura, viento, humedad y radiación solar para sus cálculos. Dado que los datos de entrada son diarios, se procede internamente, a calcular valores horarios en base a coeficientes de distribución. Los vectores de distribución han sido obtenidos analizando un conjunto de 58 estaciones bien distribuidas en Estados Unidos de Norteamérica, no encontrándose una variación significativa de ellos para los distintos lugares analizados. Por esta razón se estima que estos coeficientes son adecuados en Chile mientras no se realicen estudios locales que permitan su actualización.

FIGURA N°1
DIAGRAMA DE FLUJO DEL MODELO



A partir de los valores de temperatura máxima y mínima diaria se calculan las temperaturas horarias en función del rango de temperaturas y de un vector de distribución. Este vector de distribución supone que la temperatura mínima ocurre a las 6 horas y la máxima a las 16 horas. Adicionalmente, se cuenta con un parámetro que permite corregir la temperatura en cada zona en función de la altura media de ella y de un gradiente de temperaturas el cual se modifica para aquellas horas en que hay precipitación.

Mediante el procedimiento descrito se estiman valores horarios de temperatura media, velocidad del viento, humedad relativa y radiación solar en cada zona de la cuenca.

2.2.- Balance energético del manto de nieve.

El modelo lleva en cada hora un registro de las características del manto, incluyendo el perfil de temperaturas, el equivalente en agua, densidad y espesor del manto. Los valores se ven afectados en cada intervalo de tiempo por la precipitación caída, por los cambios de temperatura y por las transferencias energéticas.

2.2.1. Perfil de temperaturas.

Con el objeto de estudiar la variación del perfil de temperaturas dentro del manto y por consiguiente conocer la cantidad de calor necesaria para subir la temperatura del manto o de parte de él al punto de fusión, se resuelve horariamente, la siguiente ecuación diferencial (Hsu, 1963)

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

donde

T = temperatura en un punto del perfil vertical
 x = altura del punto en el interior del manto
 t = tiempo.

α = coeficiente de difusividad térmica (valores usuales 0,00173 - 0,0293 cm²/seg).

La expresión anterior se resuelve mediante el método de diferencias finitas suponiendo el manto de nieve dividido en 5 franjas de igual espesor. Las condiciones de borde impuestas son suponer una temperatura cero en el suelo y una temperatura igual a la temperatura media del aire en la superficie de la nieve. Así, es posible obtener el perfil de temperatura del manto en cada hora y por consiguiente calcular el calor almacenado en el manto, empleando la temperatura media de él.

2.2.2. Aportes de energía.

Los términos que aportan energía al proceso de derretimiento son la radiación solar de onda corta y larga, convección, condensación, evaporación, transferencia de calor desde el suelo y calor proveniente de la lluvia.

La radiación solar de onda corta es un dato de entrada, o estimado, en base al total de horas de sol, que luego se distribuye horariamente. Parte de la radiación incidente es absorbida por el manto, dependiendo del coeficiente de albedo o reflectividad, que se calcula en función de la edad de la nieve depositada.

El cambio neto de radiación solar de onda larga se estima en función de la temperatura del aire y de la nieve y de la nubosidad (u horas de sol) siguiendo expresiones propuestas anteriormente (Amorocho y Espíldora, 1966).

El aporte de calor por convección se estima en función de la temperatura del aire y de la nieve, de la velocidad del viento y de la presión, no siendo éste último factor muy significativo (U.S. Corps of Engineers, 1956).

El aporte energético de la lluvia es normalmente peque-

ño y puede estimarse al conocer la cantidad de lluvia caída y la temperatura media del aire.

La transferencia de calor por condensación y evaporación es variable y difícil de estimar. Si el punto de rocío es mayor que cero existe condensación de la humedad del aire con el consiguiente desprendimiento del calor latente de condensación. Si el punto de rocío es menor que la temperatura superficial del manto y además la presión de vapor de la nieve es mayor que la del aire existe evaporación. En consecuencia, el calor transmitido se calcula en función de la temperatura, presión de vapor y velocidad del viento.

Finalmente, las temperaturas bajo la superficie del suelo no varían tan rápidamente como las superficiales, existiendo en general un aumento de temperatura hacia el interior. Como consecuencia se produce una transferencia de calor desde el suelo hacia el manto de nieve. Si bien, este intercambio es pequeño, diariamente, puede equivaler a varios milímetros durante la época de deshielo y puede ser suficiente para mantener saturado el suelo y permitir un escurrimiento mayor al existir un derretimiento causado por los otros factores. El modelo utiliza para el cálculo del derretimiento por este concepto, un parámetro de entrada que representa el valor diario en cada zona.

2.3. Balance general.

Calculada la energía neta disponible en cada hora, se realiza un balance, cuya consecuencia es modificar las características del manto en cuanto a temperatura, espesor, densidad equivalente en agua y contenido de agua líquida. Este balance es bastante complicado pues son muchos los casos a considerar dependiendo de las magnitudes relativas entre la energía disponible y la necesaria para cambiar las características del manto en forma parcial o total.

3.- Utilización del modelo

El comportamiento del modelo de deshielo se ha analizado indirectamente, comparando los caudales simulados y observados, debido a la carencia de información detallada que permita estudiar las variaciones del manto de nieve. Es preciso hacer notar que en los caudales intervienen también otros procesos que no son parte del modelo de deshielo y que influyen en los caudales simulados. Sin embargo, desde el punto de vista de la hidrología práctica la variable de mayor interés es precisamente el caudal escurrido.

El modelo de derretimiento, formando parte del SWM fue utilizado para simular los caudales de la cuenca del río Polcura en Balseadero en el marco de un estudio realizado por el Departamento de Ingeniería Hidráulica de la Universidad Católica para la Empresa Nacional de Electricidad (ENDESA) (Varas, Fernández, 1980). En este caso, se dividió la cuenca en dos zonas y se simularon los caudales del período 1965 a 1973. La información meteorológica y pluviométrica utilizada fue la registrada en Balseadero a la salida de la cuenca.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, tomando en cuenta que se contaba con una sola estación meteorológica, ubicada en la parte baja de la cuenca lo que obligaba a suponer variaciones de temperatura y precipitación para la parte alta de la cuenca.

En la Tabla 1 se presenta una comparación entre los volúmenes anuales observados y simulados para el período de estudio. Se aprecia que el error promedio es 11%, sin considerar el año 1969 cuyo valor simulado es muy alto en comparación al observado debido a la sequía poco usual ocurrida en ese año.

TABLA 1

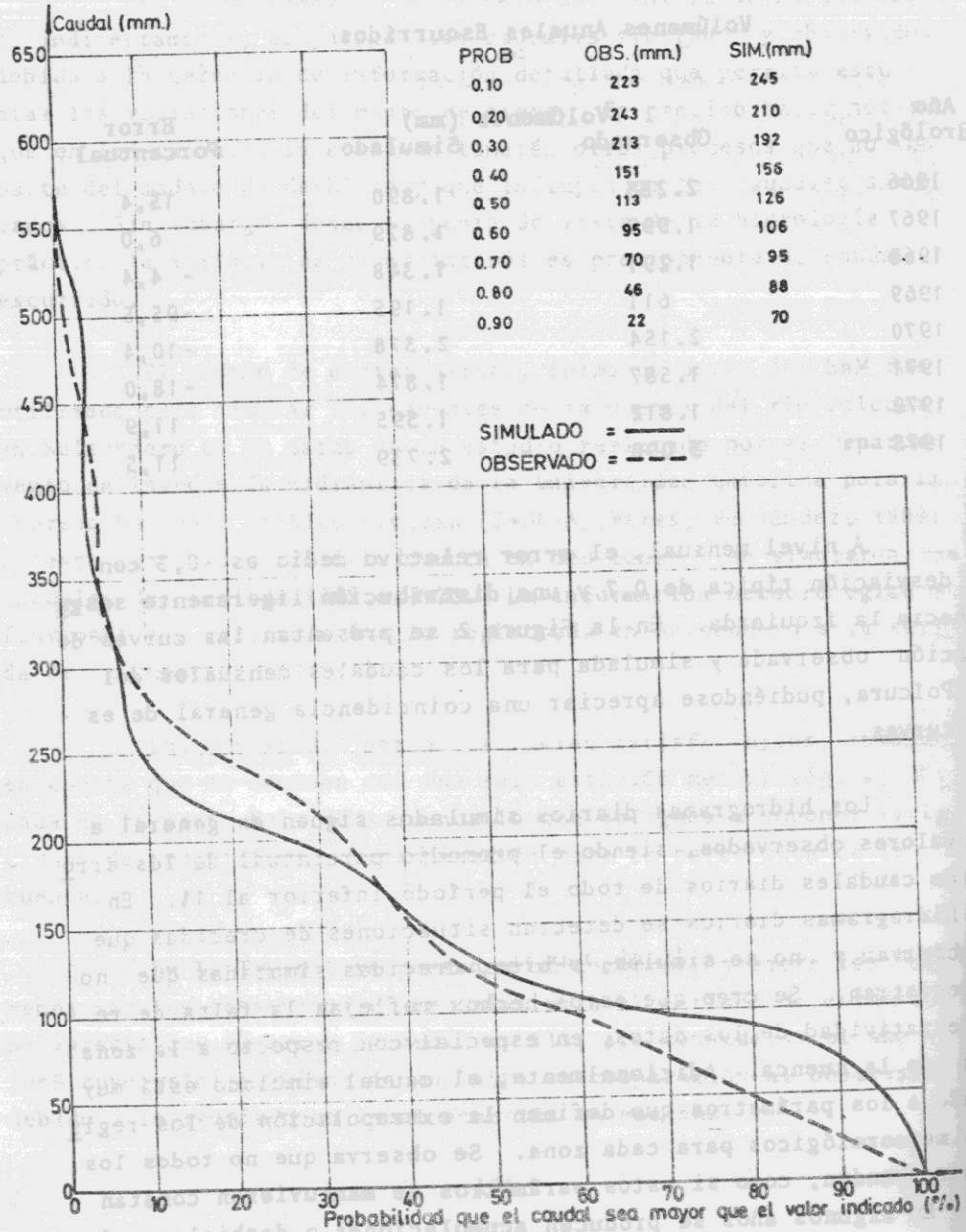
Volúmenes Anuales Escurridos

Año Hidrológico	Volúmenes (mm)		Error Porcentual
	Observado	Simulado	
1966	2.233	1.890	15,4
1967	1.999	1.879	6,0
1968	1.291	1.348	- 4,4
1969	611	1.195	-95,5
1970	2.154	2.378	-10,4
1971	1.587	1.874	-18,0
1972	1.812	1.595	11,9
1973	3.098	2.739	11,5

A nivel mensual, el error relativo medio es -0,3 con una desviación típica de 0,7 y una distribución ligeramente sesgada hacia la izquierda. En la Figura 2 se presentan las curvas de duración observada y simulada para los caudales mensuales del río Polcura, pudiéndose apreciar una coincidencia general de estas curvas.

Los hidrogramas diarios simulados siguen en general a los valores observados, siendo el promedio porcentual de los errores de caudales diarios de todo el período inferior al 1%. En los hidrogramas diarios se detectan situaciones de crecidas que se observan y no se simulan, o bien, crecidas simuladas que no se registran. Se cree que estos hechos reflejan la falta de representatividad de los datos, en especial con respecto a la zona alta de la cuenca. Adicionalmente, el caudal simulado está muy ligado a los parámetros que definen la extrapolación de los registros meteorológicos para cada zona. Se observa que no todos los años responden, como si estos parámetros se mantuviesen constantes. En algunos años se producen acumulaciones o deshielos más temprano en la estación que en otros.

FIGURA Nº2
CURVAS DE DURACION DE CAUDALES MENSUALES
RIO POLCURA EN BALSEADERO



4.- Conclusiones.

Aun cuando las aplicaciones de este modelo son por el momento escasas, los resultados obtenidos permiten concluir que es una herramienta valiosa de análisis, que amplía la aplicabilidad de los modelos de simulación hidrológica, similares al SWM, a aquellas cuencas nivales o nivo-pluviales.

El hecho de realizar un balance horario de la energía disponible para el deshielo y para las características del manto de nieve, mejora significativamente las estimaciones de caudal que se obtienen al no considerar estos factores y también aquellas que utilizan procedimientos más simplificados. El costo de la simulación es razonable, ya que cada año de proceso demora aproximadamente 35 segundos en el computador Digital DEC-10, con una cuenca dividida en dos zonas parciales.

El incluir el sub-programa implica definir varios parámetros adicionales para representar la cuenca y también contar con mayor información meteorológica diaria, sin embargo, la mejora que se obtiene, en la representación del caudal recompensa ampliamente la complejidad agregada.

Referencias

1. Amorocho y B. Espíldora, "Mathematical Simulation of the Snow Melting Processes", Water Science and Engineering Papers, N° 3001, University of California, Davis, 1966.
2. Anderson E.A. y N.H. Crawford, "The Synthesis of Continuous Snowmelt Runoff Hydrographs on a Digital Computer", Technical Report N°36, Dept. of Civil Engineering, Stanford University, 1964
3. Crawford N.H. y R.K. Linsley, "Digital Simulation in Hydrology Stanford Watershed Model IV", Technical Report N°39, Dept. of Civil Engineering, Stanford University, 1966.
4. Hsu, T., "Engineering Heat Transfer", Van Nostrand Publishing Co., Princeton, N. Jersey, 1963.
5. Varas E. y B. Fernández, "Simulación de Caudales en el río Polcura", Informe Técnico, Depto. Obras Hidráulicas, Universidad Católica de Chile, 1980.
6. U.S. Army Corps of Engineers, "Snow Hydrology", North Pacific Division, Potland, 1956.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

V CONGRESO NACIONAL

REGIMEN DE GASTOS MAXIMOS DE DESHIELO EN ALGUNAS

CUENCAS DE CHILE

Ernesto Brown F. (1)

Ricardo Seguel G. (2)

RESUMEN

Para algunas cuencas de Chile, se presentan relaciones que permiten estimar los gastos máximos medios diarios y gastos instantáneos de deshielo, usando como variable independiente solamente el gasto promedio del período de deshielo. Se sugiere en consecuencia, que las magnitudes de los gastos máximos medios diarios y máximos instantáneos de deshielo, quedan suficientemente determinadas por los volúmenes totales de deshielo en una temporada, aún cuando la fecha de ocurrencia de los valores máximos resultará como producto de la combinación de otros factores, principalmente de origen meteorológico.

Se entregan comentarios con respecto a los ajustes que se observan, información utilizada y con respecto a la utilización del tipo de relaciones presentadas.

Los ajustes observados permiten sugerir que, la información fluviométrica que puede deducirse de los controles de operación de embalses existentes, incluso a nivel de estadística diaria, entre ga una mayor precisión que aquella estadística que proviene de estaciones fluviométricas convencionales.

(1) Ingeniero Civil, Profesor e Investigador, Centro de Recursos Hidráulicos, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

(2) Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María.