

## 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.

## 1. INTRODUCCION

Existe un conjunto de referencias bibliográficas que se refieren al tema de los métodos de estimación y pronóstico de la escorrentía de deshielo en cuencas de régimen nival o pluvio-nival. En general, los métodos que se han planteado y que se usan con frecuencia, corresponden a la estimación y pronóstico de volúmenes totales de deshielo para un año determinado, y a la distribución de este volumen en términos de gastos medios mensuales durante el período de deshielo (González 1970, Aylwin 1973, Espinoza 1973, Isensee et al 1977, Peña y Nazarala 1979).

Muchas veces, con distintos objetivos, resulta de interés poder estimar gastos máximos de deshielo correspondientes a unidades de tiempo más pequeñas (semanal, diario, horario o instantáneo). Estas estimaciones son necesarias en conexión con las fases de diseño de obras hidráulicas, así como también, con el carácter de pronóstico para programar la operación de obras hidráulicas existentes. Al respecto, existen también referencias bibliográficas que proponen métodos de estimación de gastos correspondientes a intervalos pequeños de tiempo, principalmente con el objetivo de pronosticar en "tiempo real" los hidrogramas en un determinado punto de una cuenca (Varas y Fernández 1979). Cuando en estos casos se trata de la estimación de gastos de deshielo, se recurre normalmente a utilizar como variables explicativas, entre otras, a variables de tipo meteorológico, tales como radiación solar, temperatura, etc.

Es indudable que el instante en el tiempo en el cual se producen los gastos máximos de deshielo en una cuenca, queda condicionado entre otras cosas, por la ocurrencia de determinadas condiciones severas en cuanto a radiación solar intensa, altas temperaturas y otras. Sin embargo, en este trabajo se pretende mostrar que, las magnitudes de los máximos gastos de deshielo quedan condicionadas principalmente por la cantidad de recursos de agua acumulados en la cuenca en forma de nieve, durante el invierno precedente.

El presente trabajo no tiene otra pretensión, sino que la de dar a conocer relaciones que ligan el gasto promedio del período de deshielo (o volumen total de deshielo) en una cuenca, como variable independiente, con los gastos máximos medios diarios y máximos instantáneos de deshielo, correspondientes a una misma temporada. Las relaciones que se presentan corresponden a diversas cuencas, nivales o pluvio-nivales, a lo largo de Chile.

Aquellas relaciones establecidas entre el gasto promedio del período de deshielo y el gasto de deshielo máximo medio diario, resultan ser razonablemente buenas en todos los casos estudiados; sin embargo, ellas son especialmente adecuadas en todos aquellos casos en que el control fluviométrico se realiza en un embalse existente, a través del control de la operación del mismo. Lo anterior sugiere que existe una mayor precisión en el control fluviométrico que se logra en un embalse, frente a la precisión que puede lograrse en una estación fluviométrica convencional.

En el trabajo se presentan además, las relaciones obtenidas entre el gasto máximo medio diario y el gasto máximo instantáneo de deshielo, para aquellos lugares en que se contaba con esta última información y que resultan muy bien determinadas, como cabía esperarlo.

## 2. RELACIONES ENTRE EL GASTO MEDIO DEL PERIODO Y EL GASTO MAXIMO MEDIO DIARIO DE DESHIELO

En las figuras 1 a 5 se presentan las relaciones entre el gasto medio del período, como variable independiente, y el gasto máximo medio diario de deshielo, ajustadas para cinco cuencas diferentes a saber: Afluentes al Embalse Cogotí, Afluentes a la Laguna La Invernada, Afluentes al Embalse El Yeso, río Melado en La Lancha y río Aconcagua en Chacabuquito.

FIG. 1

AFLUENTES AL EMBALSE COGOTI

Relación entre caudales de deshielo

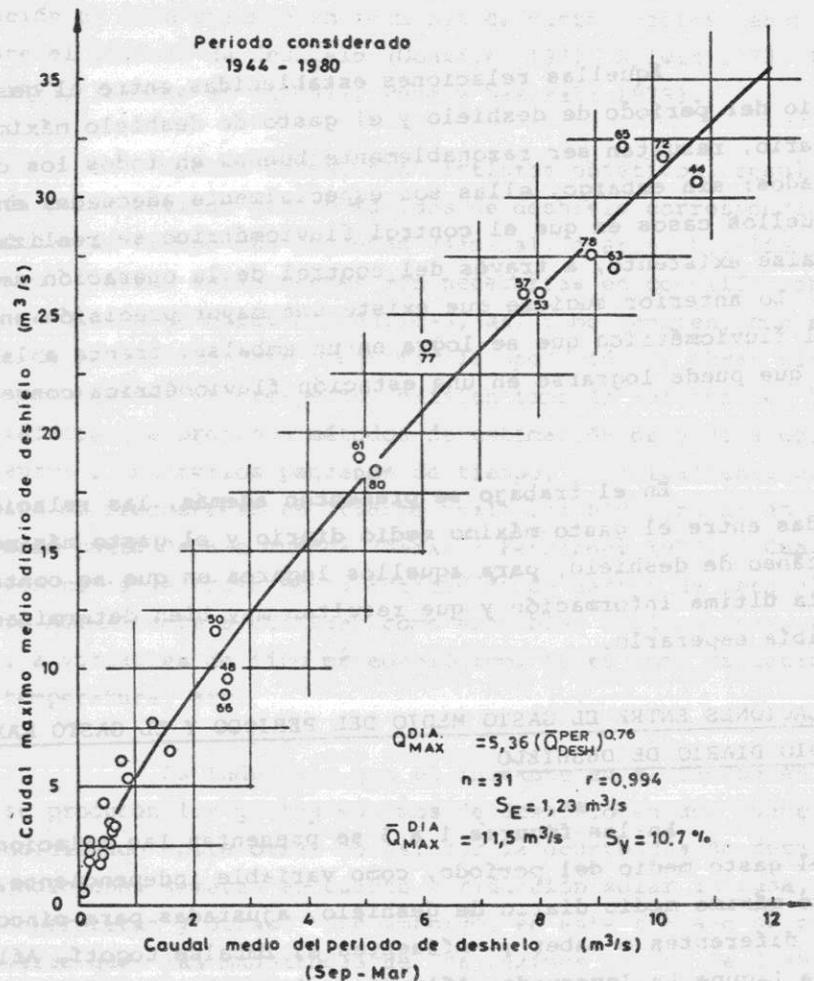


FIG. 3  
AFLUENTES AL EMBALSE EL YESO  
Relación entre caudales de deshielo

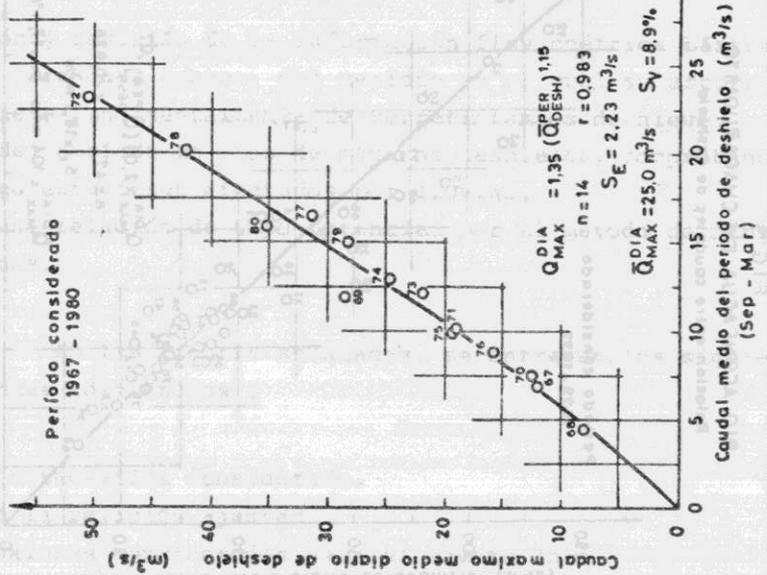


FIG. 2  
AFLUENTES A LA LAGUNA LA INVERNADA  
Relación entre caudales de deshielo

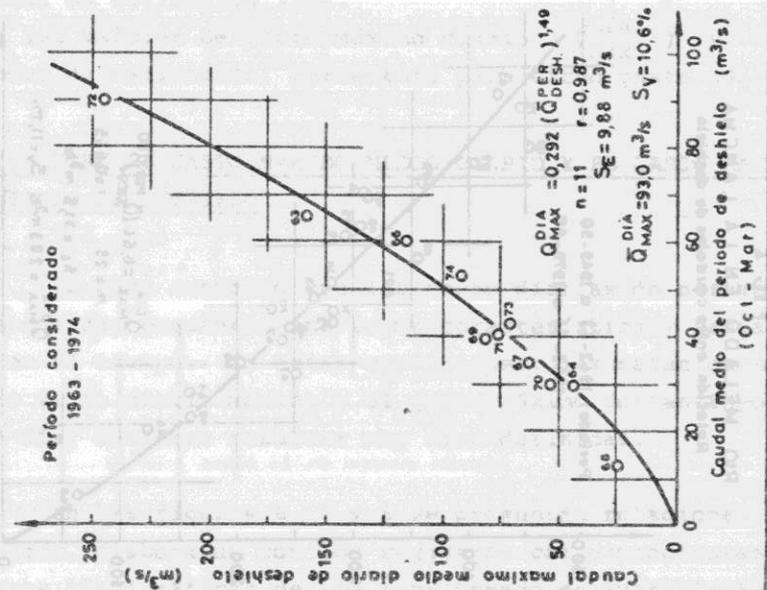


FIG. 4  
RIO MELADO EN LA LANCHA  
Relación entre caudales de deshielo

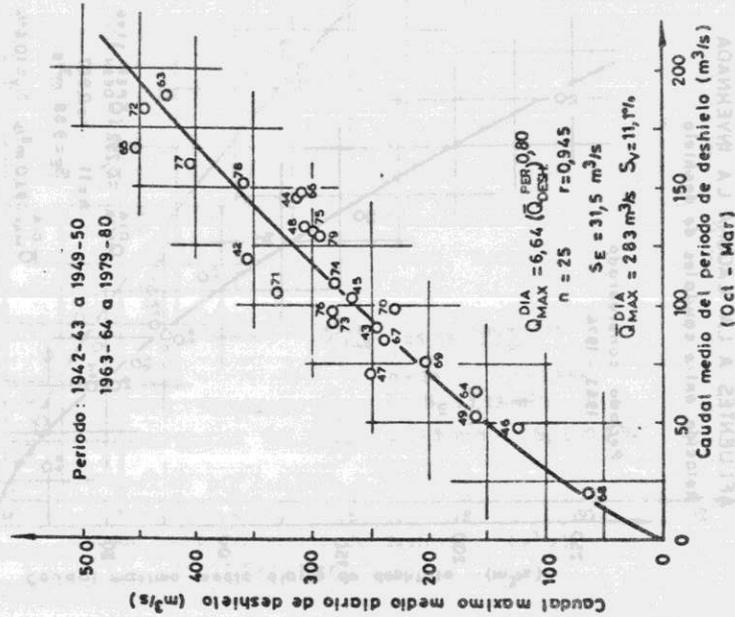
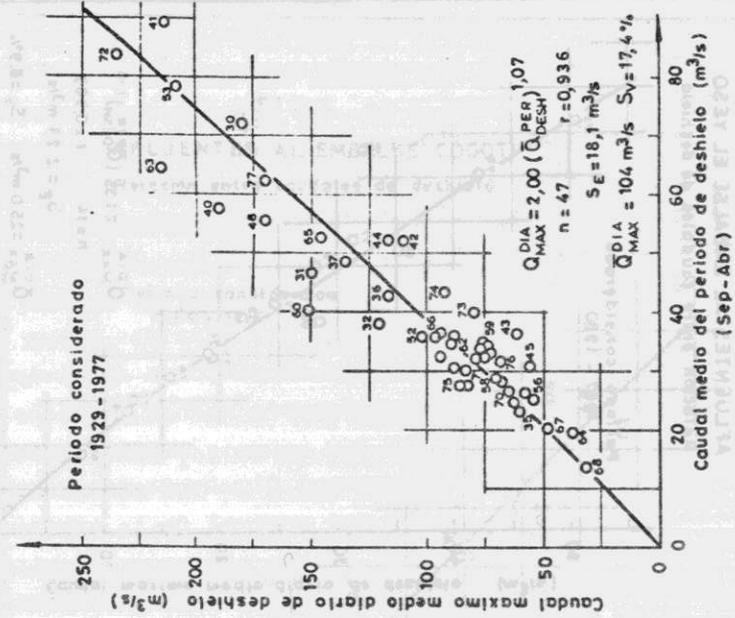


FIG. 5  
RIO ACONCAGUA EN CHACABUQUITO  
Relación entre caudales de deshielo



El procedimiento seguido para la confección de estas relaciones contempló los siguientes pasos :

- recopilación y revisión de la información fluviométrica básica.
- selección, para cada cuenca, del período en el cual su escorrentía proviniese fundamentalmente de derretimientos de nieve.
- selección del período de días de máximos deshielos, comprobando que estos no estuviesen afectados por lluvias.
- ajuste de una relación de tipo potencial por el método de mínimos cuadrados.

En las figuras señaladas, se entregan los siguientes antecedentes adicionales :

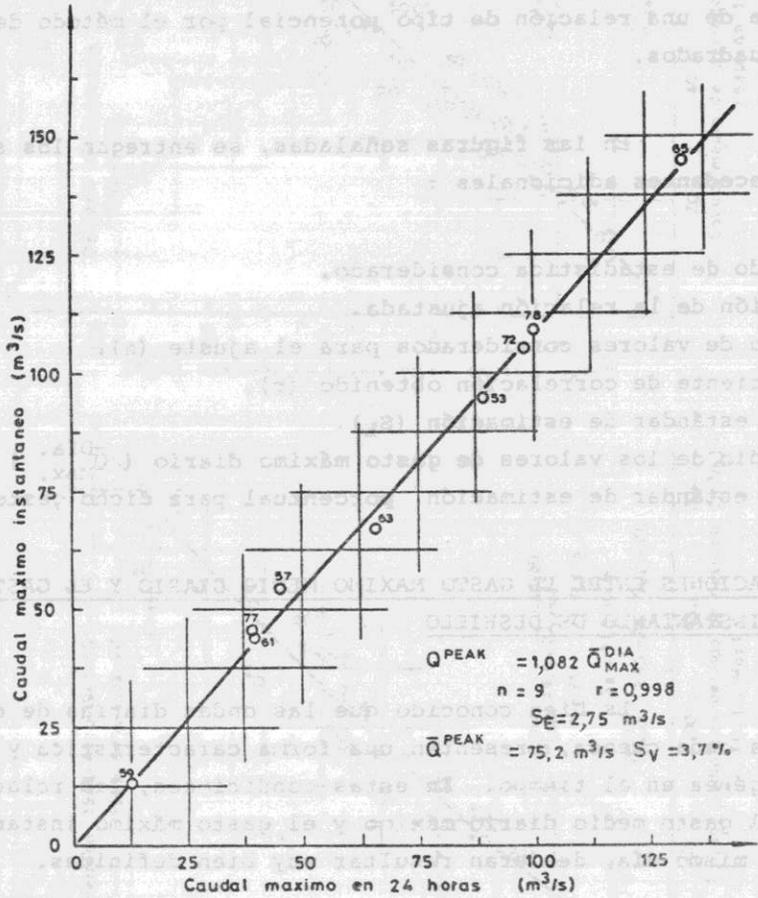
- período de estadística considerado.
- ecuación de la relación ajustada.
- número de valores considerados para el ajuste (n).
- coeficiente de correlación obtenido (r).
- error estándar de estimación ( $S_E$ ).
- promedio de los valores de gasto máximo diario ( $\bar{Q}_{Día.}$ ) y error estándar de estimación porcentual para dicho gasto ( $S_V$ ).

### 3. RELACIONES ENTRE EL GASTO MAXIMO MEDIO DIARIO Y EL GASTO MAXIMO INSTANTANEO DE DESHIELO

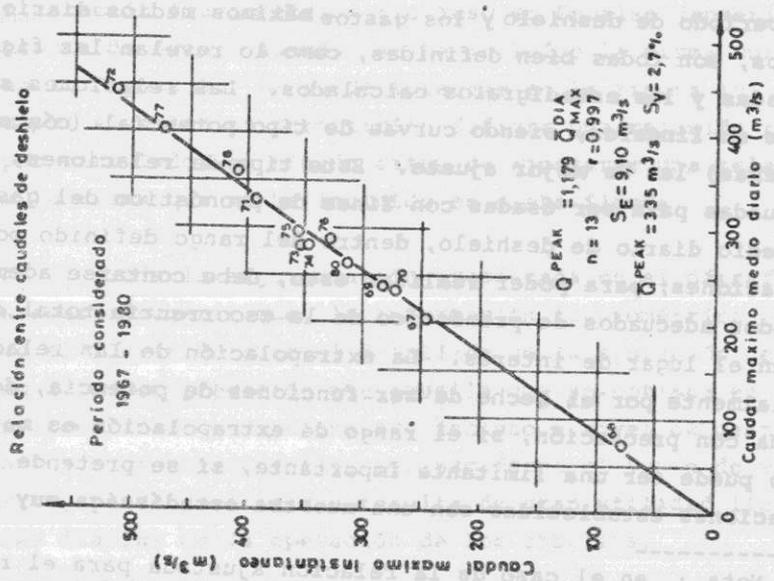
Es bien conocido que las ondas diarias de deshielo, para cada cuenca, presentan una forma característica y bastante homogénea en el tiempo. En estas condiciones, las relaciones entre el gasto medio diario máximo y el gasto máximo instantáneo para el mismo día, debieran resultar muy bien definidas.

En las figuras 6, 7 y 8 se presentan relaciones del tipo señalado, elaboradas con los registros correspondientes a las estaciones limnigráficas de los rios Grande en Puntilla San

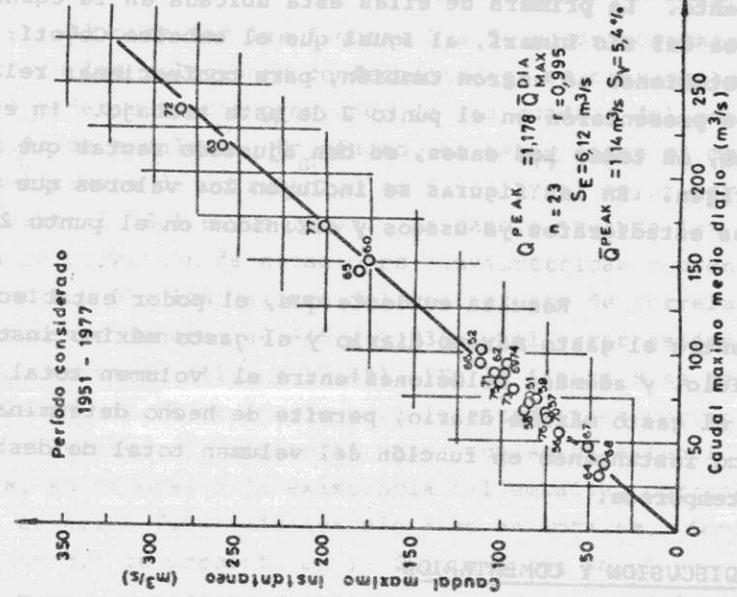
**FIG. 6**  
**RIO GRANDE EN PUNTILLA SAN JUAN**  
 Relación entre caudales de deshielo



**FIG. 7**  
**RIO MELADO EN LA LANCHAS**  
 Relación entre caudales de deshielo



**FIG. 8**  
**RIO ACONCAGUA EN CHACABUQUITO**  
 Relación entre caudales de deshielo



Juan (\*), Melado en La Lancha y Aconcagua en Chacabuquito, respectivamente. La primera de ellas está ubicada en la cuenca hidrográfica del río Limarí, al igual que el embalse Cogotí; las otras dos estaciones se usaron también, para confeccionar relaciones que se presentaron en el punto 2 de este trabajo. En estas relaciones, en todos los casos, se han ajustado rectas que pasan por el origen. En las figuras se incluyen los valores que toman los mismos estadígrafos ya usados y definidos en el punto 2.

Resulta evidente que, el poder establecer relaciones entre el gasto máximo diario y el gasto máximo instantáneo de deshielo, y además, relaciones entre el volumen total de deshielo y el gasto máximo diario, permite de hecho determinar el gasto máximo instantáneo en función del volumen total de deshielo de una temporada.

#### 4. DISCUSION Y COMENTARIOS

Las relaciones obtenidas entre el gasto promedio del período de deshielo y los gastos máximos medios diarios de deshielos, son todas bien definidas, como lo revelan las figuras presentadas y los estadígrafos calculados. Las relaciones son claramente no lineales, siendo curvas de tipo potencial (cóncavas o convexas) las de mejor ajuste. Este tipo de relaciones, parecen adecuadas para ser usadas con fines de pronóstico del gasto máximo medio diario de deshielo, dentro del rango definido por las observaciones; para poder realizar esto, debe contarse además, con métodos adecuados de pronóstico de la escorrentía total de deshielo en el lugar de interés. La extrapolación de las relaciones, especialmente por el hecho de ser funciones de potencia, debe ser hecha con precaución, si el rango de extrapolación es muy amplio; esto puede ser una limitante importante, si se pretende usar las relaciones establecidas con una muestra estadística muy pequeña,

(\*) Nota : en el caso de la relación ajustada para el río Grande en Puntilla San Juan, se ha usado el gasto máximo medio en 24 horas, en lugar del máximo diario, que se usó en el resto de las relaciones.

para inferir valores de gastos máximos con fines de diseño.

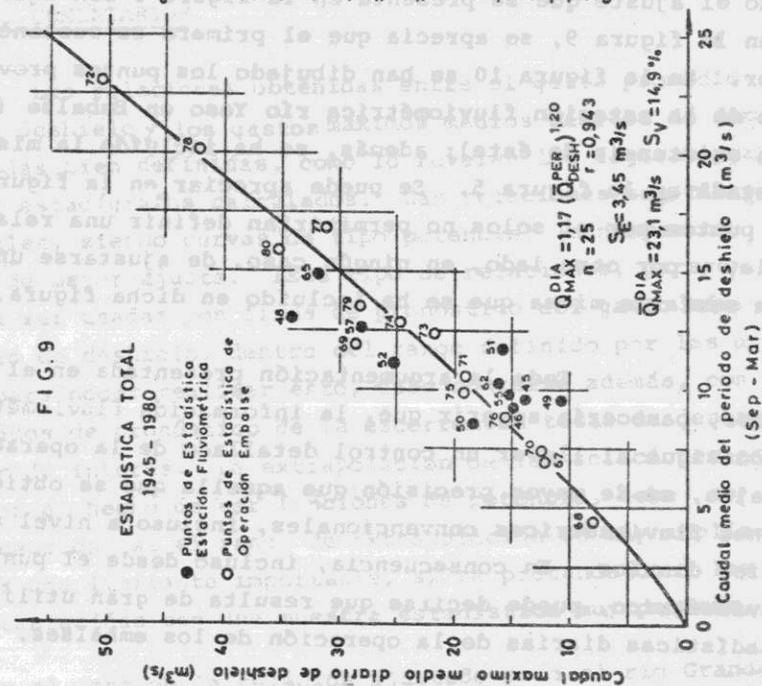
Al observar las figuras 1 a 5, puede constatarse que el ajuste de las relaciones confeccionadas, es claramente mejor, cuando los datos usados provienen de los cuadros del control de la operación de embalses. En efecto, en estos casos el menor valor del coeficiente de correlación es 0,983 y el mayor error estándar porcentual ( $S_y$ ) es de 10,7%. En cambio, cuando las estadísticas usadas provienen de estaciones fluviométricas convencionales (figuras 4 y 5), los valores del coeficiente de correlación son sustancialmente menores (0,945 y 0,936) y el error estándar porcentual  $S_y$ , es mayor (11,1 y 17,4%). En la figura 9 se ha dibujado la relación de mejor ajuste para la estadística correspondiente a los afluentes al Embalse El Yeso, que se ha extendido con los datos, anteriores a la existencia del embalse, correspondientes a la estación fluviométrica río Yeso en Embalse. Comparando el ajuste que se presenta en la figura 5 con aquel presentado en la figura 9, se aprecia que el primero es sustancialmente mejor. En la figura 10 se han dibujado los puntos provenientes sólo de la estación fluviométrica río Yeso en Embalse (anteriores a la existencia de éste); además, se ha incluido la misma curva ajustada en la figura 5. Se puede apreciar en la figura 10, que los puntos por si solos no permitirían definir una relación razonable, y por otro lado, en ningún caso, de ajustarse una relación, esta sería la misma que se ha incluido en dicha figura.

Toda la argumentación presentada en el párrafo anterior, parecería sugerir que, la información fluviométrica que se consigue al llevar un control detallado de la operación de un embalse, es de mayor precisión que aquella que se obtiene en estaciones fluviométricas convencionales, incluso a nivel de gastos medios diarios. En consecuencia, incluso desde el punto de vista fluviométrico, puede decirse que resulta de gran utilidad llevar estadísticas diarias de la operación de los embalses.

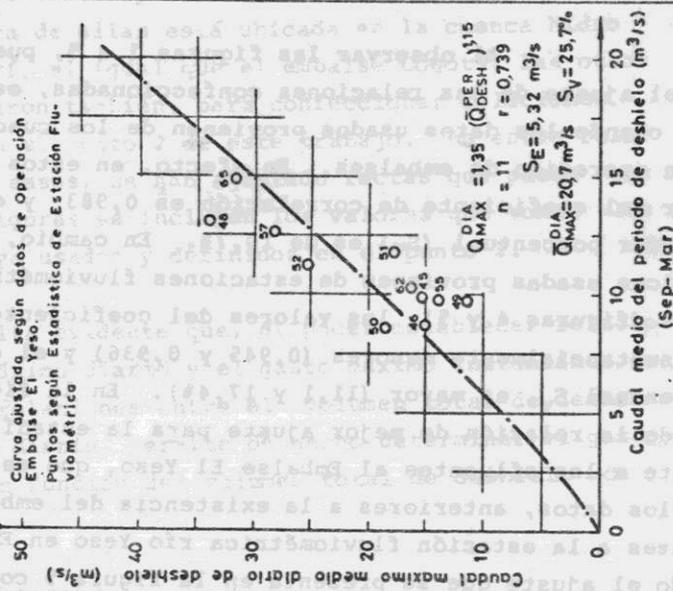
En cuanto a las relaciones determinadas entre los gastos máximos medios diarios y los gastos máximos instantáneos,

**AFLUENTES AL EMBALSE EL YESO**  
Relaciones entre caudales de deshielo

**FIG. 9**  
ESTADÍSTICA TOTAL  
1945 - 1980



**FIG. 10**



todas ellas resultan muy bien definidas. En consecuencia, puede decirse que el gasto máximo instantáneo de deshielo para una temporada, en una cuenca, queda fundamentalmente definido en cuanto a magnitud (aún cuando no en cuanto a tiempo de ocurrencia) por el volumen total de deshielo de dicha temporada.

**5. OBSERVACIONES**

Se desea en este punto hacer dos observaciones de carácter general, que surgen de los análisis y discusión presentados en los puntos precedentes.

La primera observación se refiere a la imperiosa necesidad que existe, de contar con información estadística hidrológica de calidad adecuada, para poder llevar a buen término la aplicación de técnicas de análisis hidrológico. En efecto, esto queda de manifiesto al analizar la figura 10, que no habría permitido realizar ajuste alguno con los datos de la estación fluviométrica río Yeso en Embalse, o que en todo caso, habría entregado una relación de ajuste sustancialmente diferente de la que posibilitaron datos estadísticos de mejor calidad.

La segunda observación se refiere a la comparación relativa entre los ajustes estadísticos obtenidos para relaciones establecidas en base a registros de estaciones fluviométricas convencionales, versus aquellas establecidas en base a datos deducidos del control de la operación de embalses. Es preciso señalar que dichas comparaciones son de hecho indirectas. En efecto, una comparación directa deseable de realizar, consistiría en poder comparar las estadísticas de una estación fluviométrica ubicada a la entrada de un embalse, con la estadística resultante de la operación del mismo.

**6. CONCLUSIONES**

- Reconociendo que, la fecha de ocurrencia de los máximos deshielos queda determinada fundamentalmente por la ocurrencia de de-

terminadas condiciones meteorológicas en conjunto con determinadas condiciones de la nieve acumulada en la cuenca, con lo obtenido en este trabajo, parece posible establecer relaciones suficientemente definidas, para las magnitudes de los gastos máximos, usando como variable independiente, sólo el volumen total de deshielo de una temporada.

- Según las comparaciones realizadas en este trabajo, las estadísticas fluviométricas que se obtienen de los cuadros de operación de embalses, incluso a nivel diario, parecen entregar una mayor precisión que las estadísticas de estaciones fluviométricas convencionales.

- Los análisis realizados en este trabajo, deben considerarse de carácter preliminar. Conclusiones más definitivas respecto a lo aquí tratado, podrían conseguirse con una investigación más exhaustiva, que tomara en cuenta un mayor número de estaciones fluviométricas correspondientes a cuencas nivales o pluvio-nivales.

#### 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.- Aylwin, L. "Estudio de Previsión de Deshielo". II Coloquio Nacional de Ingeniería Hidráulica. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, 1973.
- 2.- Espinoza, A. "Caracterización Estadística del Régimen de Escoorrentía de Deshielo en la Hoya del río Aconcagua y Métodos para su Predicción". Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile, 1973.
- 3.- González, P. "Caracterización Estadística del Régimen de Escoorrentía de Deshielo del río Maipo y Métodos para su Predicción". Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile, 1970.
- 4.- Isensee, P., B. Espíldora y G. Ahumada. "Modelo de Pronósti-

cos de Caudales de Deshielo en la Cuenca del río Elqui". Publicación CRH 77-5-I Centro de Recursos Hidráulicos, Departamento de Obras Civiles, Universidad de Chile, 1977.

- 5.- Peña, H. y B. Nazarala. "Aplicación del Análisis de Componentes Principales en el Dominio Temporal al Pronóstico de Caudales". IV Coloquio Nacional de Ingeniería Hidráulica. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, 1979.
- 6.- Varas E. y B. Fernández. "Predicción de Escurrimientos en el río Polcura". IV Coloquio Nacional de Ingeniería Hidráulica. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, 1979.

#### Reconocimientos

Los autores desean agradecer a la Dirección de Riego y Dirección General de Aguas del M.O.P., y a la ENDESA, instituciones que proporcionaron la información estadística utilizada para desarrollar el presente trabajo.