

CROQUIS GLACIAR DICKSON

RELACION $Q_t = K(V_t)^b$ PARA DISTINTAS CRECIDAS

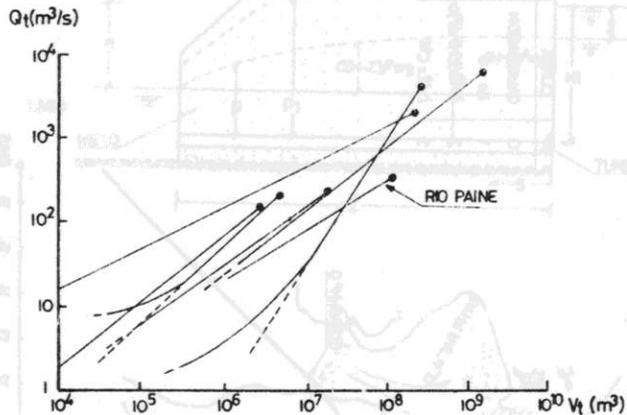


FIG. N° 7

VMax. vs. QMax PARA DISTINTAS CRECIDAS

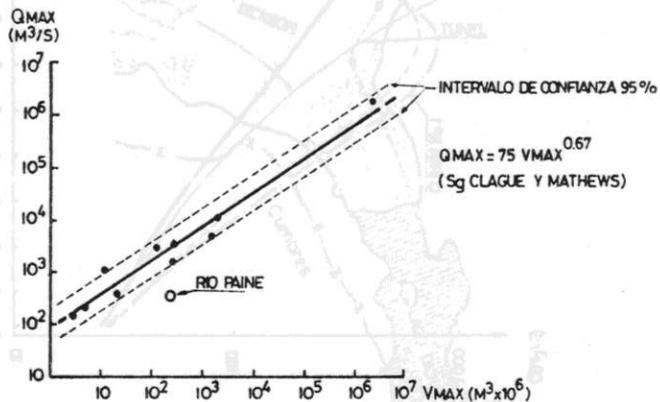


FIG. N° 8

PRONOSTICO DE CAUDALES DE DESHIELO EN EL CORTO PLAZO

Humberto Peña Torrealba

Brahim Nazaraia Grez

En el presente estudio se propone un procedimiento de pronóstico de caudales de deshielo en el corto plazo en base a un modelo de simulación muy simplificado. Los datos de entrada que utiliza son la temperatura máxima diaria, la línea de nieves y el caudal del día anterior. El derretimiento de la nieve se determina mediante el método del factor grado-día. Si se dispone de pronósticos de temperaturas máximas el modelo permite pronosticar directamente el caudal máximo diario, en caso contrario se puede utilizar para determinar el rango de variación posible de los caudales futuros. El modelo fue usado para conocer el rango de variación de los caudales con 3 días de anticipación en el río Maipo en El Manzano, durante la temporada de deshielo 1982/83.

1.- ANTECEDENTES GENERALES.

Durante el año 1982, la zona central de Chile presentó una extraordinaria acumulación de nieve en la Cordillera de Los Andes, lo cual originó una gran preocupación por la magnitud que pudieran alcanzar los caudales durante el período de deshielo. Por otra parte, los pronósticos de deshielo estacional entregaban caudales máximos superiores a los registrados en los últimos 30 años.

Considerando la situación descrita la Dirección General de Aguas decidió establecer un sistema de información y de previsión de caudales en el corto plazo en los ríos Aconcagua, Maipo y Mapocho. Los objetivos precisos del sistema eran entregar información periódica y frecuente de los caudales registrados en los ríos y los que pudieran alcanzar en los días siguientes. En este caso, considerando que el caudal depende directamente de las condiciones meteorológicas que hacen posible el derretimiento de las nieves y que no existen pronósticos cuantitativos del tiempo atmosférico en la Cordillera Central, sólo fue posible efectuar estimaciones suponiendo condiciones meteorológicas especialmente favorables para el derretimiento de las nieves. De este modo se pretendía poner un límite a las expectativas para el futuro inmediato.

Los resultados de la previsión se daban a conocer a través de informes que eran distribuidos 3 veces a la semana a autoridades e interesados. Para mayor facilidad operacional se instalaron especialmente 2 plataformas automáticas de colección de datos, las cuales cada 3 horas, a través del satélite GOES, transmitían información horaria de niveles a las instalaciones de la División Nasa de la Universidad de Chile en Colina y desde ahí en forma directa a un teletipo ubicado en la Intendencia de la Región Metropolitana.

En el trabajo que se presenta se describe el modelo de previsión utilizado en el río Maipo, al cual se le han introducido algunas modificaciones con el fin de lograr una completa automatización de los procedimientos y evitar de ese modo decisiones que en el esquema original quedaba al criterio del operador.

2.- FORMULACION DEL MODELO.

En el diseño del modelo se impuso la condición que su calibración fuera fácil de realizar y que utilizara pocos datos de entrada. Además interesaba que tuviera escasos requerimientos computacionales. Se adoptó como dato de salida del modelo el caudal máximo diario.

Desde un punto de vista conceptual, el modelo se puede dividir en 2 fases, una relativa a la fusión del manto nival y la otra a la escorrentía resultante en el río.

2.1 MODELO DE DERRETIMIENTO.

En este aspecto el modelo está construido sobre las siguientes bases:

- i) Subdivisión de la cuenca en bandas de igual elevación, las que constituyen la unidad de cálculo en el proceso de fusión.
- ii) El derretimiento de cada banda se determina diariamente en base a una relación de tipo

$$D_i = a (T_{Xi} - T_b) \quad \text{con } T_{Xi} > T_b \quad (1)$$

siendo: D_i = Derretimiento diario de la banda i .

T_{Xi} = Temperatura máxima diaria en la banda i .

a = Factor de fusión por grado-día (parámetro).

T_b = Temperatura de referencia (parámetro).

El efecto de las precipitaciones de primavera-verano sobre el manto nival no fue considerado.

- iii) Las temperaturas máximas diarias presentan un gradiente con la elevación única y constante durante toda la temporada.

iv) La superficie de la cuenca que contribuye efectivamente al escurrimiento está limitada inferiormente por la línea de nieves, el cual es un dato de entrada al modelo. El límite superior se define mediante la siguiente condición que debe cumplirse para que exista escurrimiento:

$$SD_i > C (Ah_i - B) \tag{2}$$

con: SD = Valor acumulado del derretimiento nival obtenido de la ecuación (1) para la banda i, a partir del primer Di = 0.

C = Factor proporcional a la acumulación de nieve del año.

hi = Elevación de la banda i.

A, B = Parámetros.

La relación (2) permite considerar el almacenamiento de agua en el manto nival durante los meses de invierno y la retención de agua líquida en la nieve y en el hielo.

2.2 MODELO DE ESCORRENTIA.

En base al análisis de un hidrograma de deshielo típico, y considerando curvas de vaciamiento del tipo Qe^{-kt} , se dedujeron para el caudal máximo diario las relaciones (3), (4) y (5), de acuerdo al esquema de la figura N°1.

$$QP(n) = \frac{2k}{2+k(1-t_m)} QF(n) + e^{-k} QP(n-1) \tag{3}$$

$$QP(n) = \frac{2k}{2+k(1-t_m)} QF(n) + e^{-k(1-t_m)} Q_m(n) \tag{4}$$

$$Q_m(n) = QP(n-1) e^{-kt_m} \tag{5}$$

siendo: QP (n), QP (n-1) = Caudales máximos de los días n y n-1 (m3/s).

QF (n) = Volumen de fusión del día n (m3/s día).

Qm (n) = Caudal mínimo del día n (m3/s).

k = Parámetro de la ecuación de recesión (día⁻¹).

tm = Tiempo que transcurre entre el caudal mínimo y el máximo (día).

Como se puede apreciar, los coeficientes de estas ecuaciones quedan determinados conociendo los parámetros k y tm.

En las relaciones anteriores, el término en QP (n-1) representa el caudal que queda definido por las condiciones de los días precedentes. Esta situación se utilizó para ilustrar, en base a los antecedentes deducidos para el río Maipo, el porcentaje de determinación de los caudales futuros, (fig. N°2).

Interesa señalar además que para valores constantes de QF los caudales máximos diarios tienden asintóticamente a un valor límite dado por la expresión:

$$QP \text{ límite} = \frac{2k QF}{(2+k(1-t_m))(1-e^{-k})} \tag{6}$$

En la figura N°2 se ha graficado la curva de aproximación a este valor límite.

2.3 FACTOR DE AJUSTE.

Como el modelo va a ser utilizado durante el desarrollo de la temporada de deshielo, es posible aprovechar la información de los días anteriores al pronóstico para mejorar la calibración de las ecuaciones. Con este propósito se introdujo un algoritmo que mediante la comparación de los promedios móviles de los valores de QF medidos y simulados en los últimos días, ajusta el valor del factor grado-día obtenido en la calibración original.

3. APLICACION AL RIO MAIPO.

3.1 INFORMACION UTILIZADA.

El modelo se usó con los registros de caudales de la estación del río Maipo en El Manzano. La información termométrica se obtuvo de la estación meteorológica del Embalse El Yeso (2.500 m.s.n.m.) y el nivel de la línea de nieves se debió estimar en base a las observaciones hechas al controlar las rutas de nieve de la zona. En este último aspecto se dispuso además de un conjunto de imágenes LANDSAT de la temporada de deshielo 1977-78, las que se usaron como referencia.

3.2 CALIBRACION.

Considerando el objetivo del modelo, se eligieron para la calibración años que presentaban una importante acumulación de nieve. De acuerdo a lo anterior se trabajó con los años 1978/79, 1980/81 y parcialmente con el año 1972/73.

El análisis de los hidrogramas demostró que, para el parámetro t_m del modelo de escorrentía, se podía adoptar un valor de 8 horas.

Para calcular el parámetro k se efectuó un análisis de regresión lineal entre los caudales máximos y mínimos diarios, el cual a través de la ecuación (5) entregó un valor de $k=0.214 \text{ día}^{-1}$. El gráfico con la correlación lineal y el análisis de los residuos, que se entregan en las figuras N°3 y 4, permiten apreciar la validez del modelo lineal en todo el rango de caudales y la buena definición de los coeficientes.

Los parámetros de la ecuación de derretimiento se definieron por tanteos, alcanzándose el mejor ajuste con una temperatura base $T_b = 0^\circ\text{C}$ y con los valores del factor grado-día graficados en la figura N°5. Se usó un gradiente de temperatura de $0,7 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$, valor compatible con diversas mediciones efectuadas en la zona durante los meses de verano.

La ecuación (2) se ajustó de acuerdo al conocimiento que se dispone del inicio del escurrimiento en la zona, obteniéndose parámetros concordantes con los posibles valores de almacenamiento de frío y de retención de agua líquida en la nieve, a distintas alturas.

En la figura N°6 se entregan valores simulados y medidos para el año 1980/81, pasando el modelo en forma continua.

3.3 USO DEL MODELO.

El modelo fue usado con los datos de la temporada 1982/83. Durante dicha temporada se llevó un control aproximadamente quincenal de la línea de nieves. En los gráficos de las figuras N°s. 7, 8 y 9 se comparan los caudales máximos diarios medidos y simulados pasando el modelo en 3 casos distintos:

- a) En forma continua, con las temperaturas reales observadas.
- b) Efectuando una previsión con 3 días de anticipación, suponiendo conocidas las temperaturas de los días siguientes y el caudal en el día de la previsión.
- c) Efectuando una previsión con 3 días de anticipación como en el caso b), pero considerando la envolvente de las temperaturas máximas registradas. En los 3 casos se incluyó en los datos de entrada la línea de nieves. El algoritmo de ajuste se usó con los promedios móviles de los 5 días anteriores. El factor grado-día corregido para el año 1982/83 aparece en la figura N°5. Se puede observar que es muy similar al definido previamente.

En la figura N°10 se entrega el histograma de los errores porcentuales obtenidos en el caso de la previsión con temperaturas reales a 3 días plazo.

4. CONCLUSIONES.

Las principales conclusiones que se deducen del estudio son:

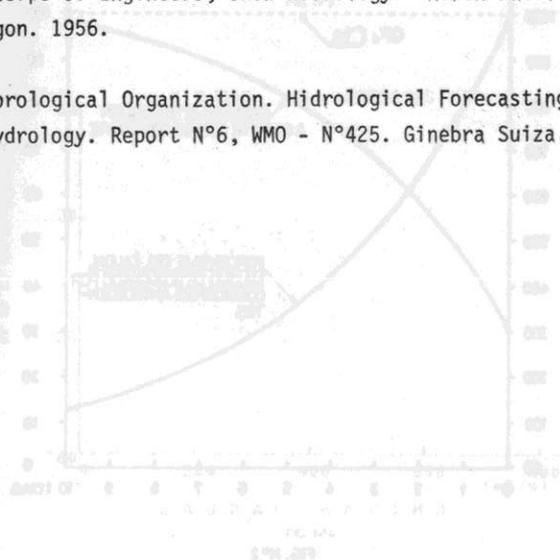
- Disponiendo de pronósticos de corto plazo de las temperaturas máximas en la Cordillera de la zona Central, es posible mediante modelos muy sencillos prever

con buena aproximación los caudales máximos de deshielo. Si no se tiene un pronóstico de temperaturas, el modelo puede utilizarse para conocer el rango de variación posible de los caudales futuros.

- La calibración y el uso del modelo permitió definir curvas estacionales para el factor grado-día. Dichas curvas entregan valores que van desde 0,4 mm/°C a principios de Octubre hasta 3,0mm/°C a fines de enero, trabajando con temperaturas máximas diarias y con una temperatura base de 0°C. Estos valores son compatibles con los obtenidos en investigaciones realizadas en otros países.
- Para la calibración y uso de modelos como el propuesto, una gran limitación es no disponer de registros estadísticos de la cobertura de nieves.
- La distribución en pequeños manchones de la cobertura de nieve al fin del período de verano, o en años con poca nieve, hace que el modelo propuesto sea difícilmente utilizable en esas condiciones.

BIBLIOGRAFIA

- Arvola W. A y A.L. Raimundo. Operational Forecasting of the day-to-day runoff in the Feather Basin. Proceedings 31 st. Annual Meeting. Western Snow Conference. 1963.
- Barsch R. E. y R.Y.C. Burnash. Forecasting Short - term Discharge from snowmelt. Proceedings 36 th. Annual Meeting. Western Snow Conference. 1968.
- Pipes A. M.C. Quick y S.O. Russell. Simulating Snowmelt Hydrographs for the Frasen River System. Proceedings 38 th. Annual Meeting. Western Snow Conference. 1970.
- Rasmussen W.O. y P.F. Ffolliott. Prediction of water Yield Using Satellite Imagery and a Snowmelt Simulation Model. Proceedings of the 5 th. Annual W. Pecora Symposium. American Water Ressources Association. 1979.
- U.S. Army Corps of Engineers, Snow Hidrology. North Pacific Division. Portland, Oregon. 1956.
- World Meteorological Organization. Hidrological Forecasting Practices. Operational Hydrology. Report N°6, WMO - N°425. Ginebra Suiza, 1975.



HIDROGRAMA DE DESHIELO

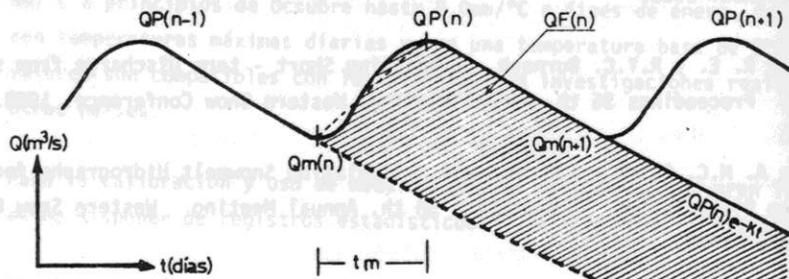


FIG. Nº1

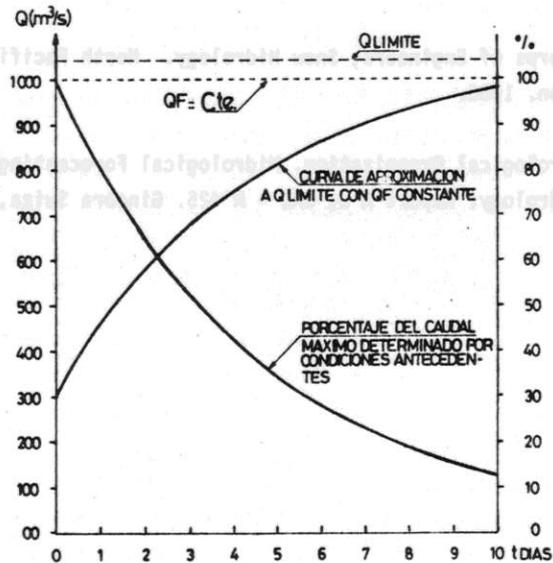
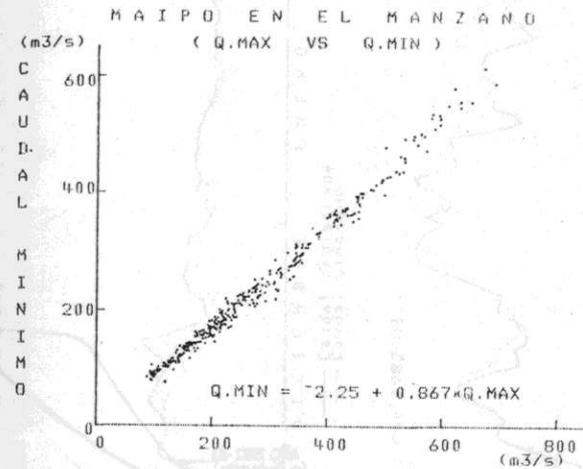
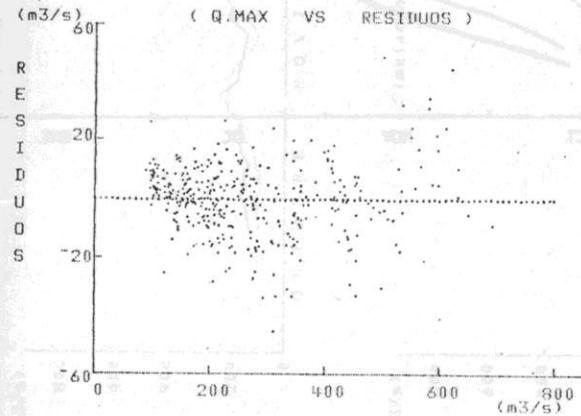


FIG. Nº2

FACTOR GRADO-DIA (d)



CAUDAL MAXIMO
FIG. Nº3



CAUDAL MAXIMO
FIG. Nº4

HIDROGRAMA DE DESHELO

FACTOR GRADO-DIA (a)

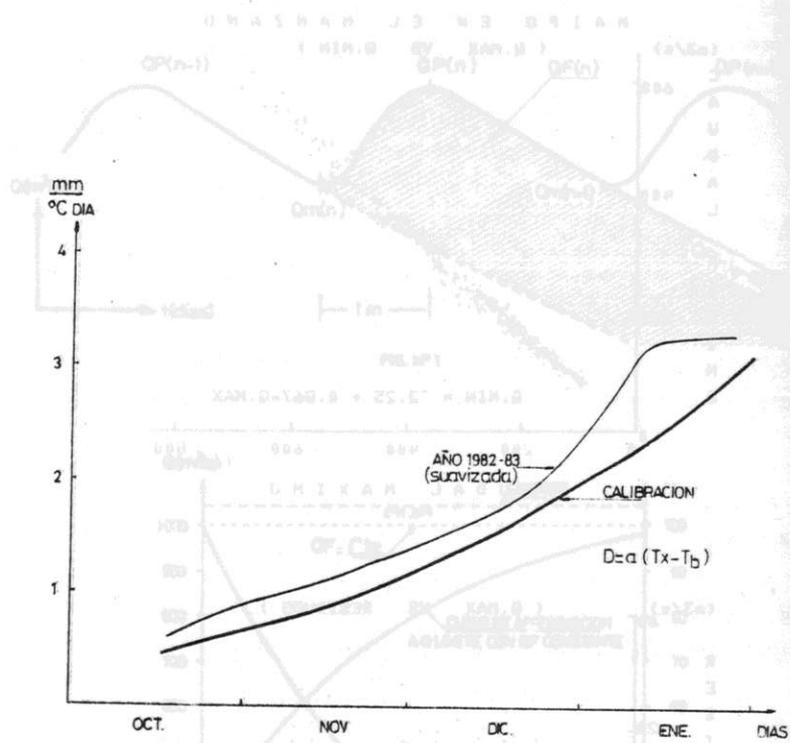


FIG. Nº 5

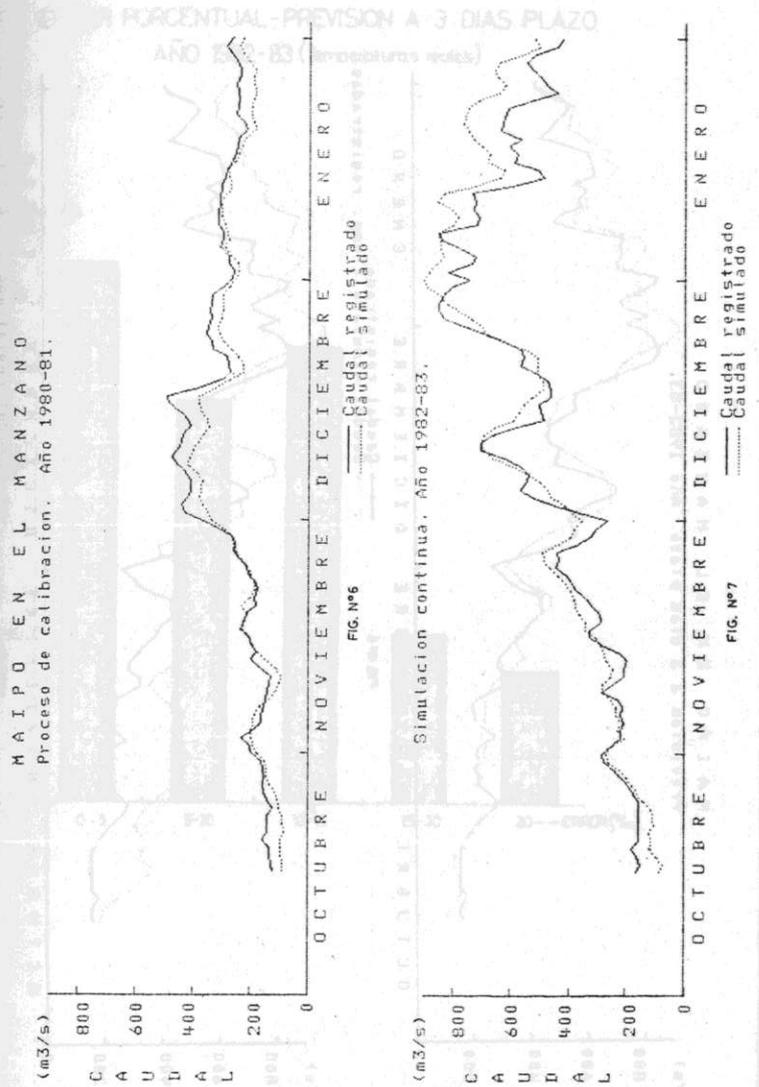
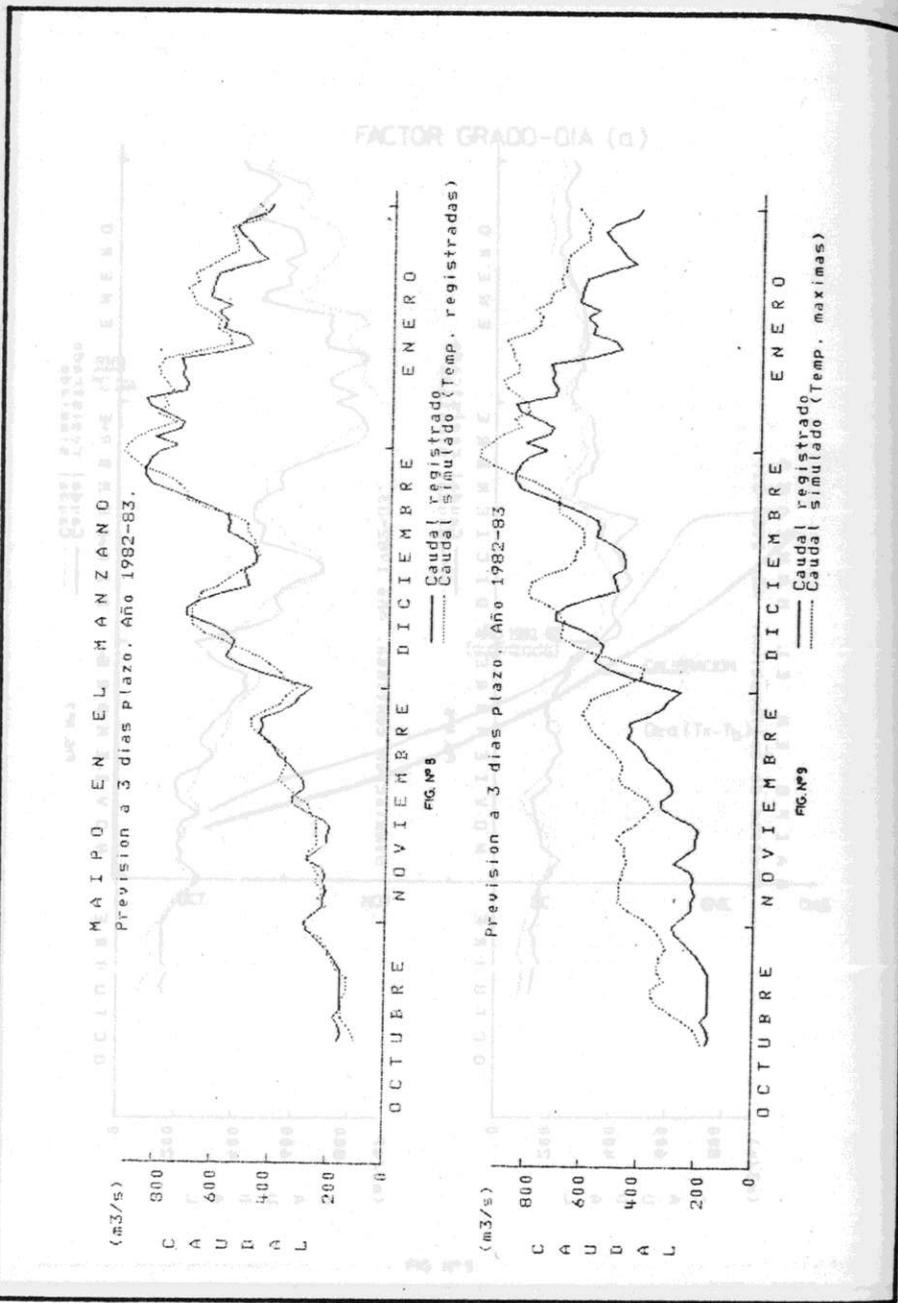


FIG. Nº 6

FIG. Nº 7



ERROR PORCENTUAL- PREVISION A 3 DIAS PLAZO

AÑO 1982-83 (Temperaturas reales)

DETERMINACION DE LA TASA DE DERRITIMIENTO MAXIMA PROBABLE EN UN MANTO DE NIEVE.

Ricardo Luna A. (1)

Ludwig Stowhas B. (2)

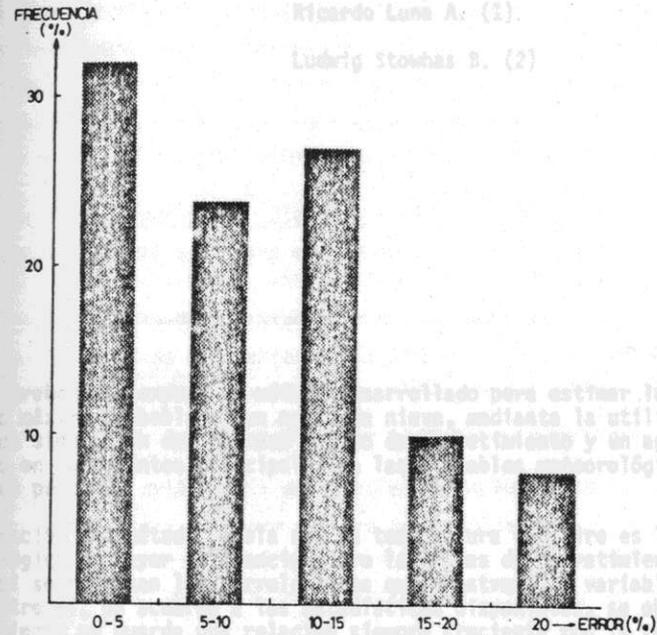


FIG. Nº 10