

SEGUNDO COLOQUIO NACIONAL
SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

CENTRAL DE CRECIDAS EN CENTRAL RAPEL
DURANTE EL AÑO 1972

Por : Andrés Benítez Girón *
Ingeniero Civil (U.Ch.)

RESUMEN

En este trabajo se expone la forma como se controlaron las crecidas que se produjeron durante el año 1972 en Central Rapel. Se incluye un breve resumen sobre las limitaciones que se presentan, al operar el embalse, los problemas que se presentaron, la forma de efectuar la previsión de caudales y los resultados obtenidos.

Complementando el trabajo se incluye las principales características hidrológicas del año 1972/73 y los caudales peak que se produjeron durante las mayores crecidas.

* Jefe de la División Estudios Hidrológicos de ENDESA.

Profesor de Hidrología en la Escuela de Ingeniería de la Univ. de Chile.

INTRODUCCION.

Desde que entró en servicio la Central Rapel en Abril de 1968, no había sido necesario operar el sistema de evacuación de crecidas debido a la sequedad de los años hidrológicos 68/69 a 71/72.

Durante el año 1972, debido a las fuertes precipitaciones que se produjeron desde comienzos del mes de Mayo, debieron evacuarse grandes caudales, por lo que fue necesario operar las compuertas de superficie y medio fondo.

En este trabajo se expone en forma sucinta la forma como se controlaron las crecidas y los problemas que se tuvieron para ello.

CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS GENERALES DEL AÑO 1972/73.

El año hidrológico 1972/73 fue un año húmedo para Chile, correspondiéndole al río Rapel en Central Rapel una probabilidad anual de excedencia del 6 %, siendo su caudal medio anual de 355 m³/s.

Durante este año se produjeron numerosas crecidas cuyo caudal peak (Q_p) fue superior a 1200 m³/s. A continuación se incluye el día y valor del Q_p así como el período de retorno (T_R) anual.

Fecha	Q _p (m ³ /s.)	T _R anual (años)
9 de Mayo	2500	3,0
8 " Junio	1850	2,0
10 " Junio	4650	13,0
15 " Junio	2500	3,0
6 " Julio	1250	1,5
16 " Agosto	3800	7,0
25 " Agosto	1400	1,7
19 " Septiembre	2050	2,2

Entre estas crecidas llama la atención las que se produjeron en los meses de Mayo y Septiembre, durante los cuales es poco frecuente que se produzcan crecidas de esta magnitud. Considerando separadamente los meses, el período de retorno de la crecida de Mayo es aproximadamente de 50 años y la Septiembre de 20 años. El que la crecida de Mayo se produjera en la 1^a. quincena es aún menos frecuente. Este análisis nos está indicando que además de haber sido un año lluvioso el período de lluvias intensas fue muy largo, prácticamente de 4,5 meses.

El volumen total afluente al embalse de Central Rapel durante el año 1972/73 fue de 11.200 10⁶m³ de los cuales se evacuaron 3.530 10⁶m³, o sea un 31.5% que equivale a 5 veces el volumen total del embalse y a 9 veces el volumen útil, o sea el volumen embalsado sobre la cota 98.0, siendo la cota máxima la 105.0

LIMITACIONES EN LA OPERACION DEL EMBALSE.

La regulación del embalse está sujeta a ciertas limitaciones de orden físico y operacional.

Los más importantes son :

- 1° El nivel del embalse no debe ser superior a la cota 105, ya que se ha apropiado únicamente el terreno que se encuentra bajo esta cota y por otra parte, se debe impedir que el agua pase sobre el muro, cuya cota es 107.50 ya que aguas abajo se encuentran el patio de los transformadores.
- 2° El caudal máximo evacuado (generación más evacuación) debe ser inferior al Q_p de la crecida, ya que aguas abajo del muro se encuentra el pueblo de Rapel y no se deben inundar zonas que no lo habrían sido en condiciones normales.
- 3° Al terminar la crecida, y hacerse igual el caudal afluente y el de generación, el embalse debe quedar a la cota 105, pues en caso contrario se habría desperdiciado energía.
- 4° Las compuertas de medio fondo solo pueden trabajar totalmente abiertas lo que equivale a un caudal de 350 m³/s. c/u.
- 5° Las compuertas de superficie no deben quedar abiertas con aperturas comprendidas entre 8,0 y 12,0 metros para evitar que los elementos semiflotantes golpeen el sello de las compuertas y lo destruyan. La apertura mínima debe ser de 2.50 m. para evitar vibraciones. Esto quiere decir que, aproximadamente, por cada vertedero se pueden evacuar caudales comprendidos entre 350 y 1000 m³/s., o bien 1500 m³/s. en cuyo caso las compuertas quedan totalmente abiertas.

Como dato adicional se incluye a continuación la capacidad de evacuación, existiendo :

- 2 compuertas de semifondo de 350 m³/s. c/u
- 6 vertederos de superficie de 1500 m³/s. c/u
- caudal máximo de generación 500 m³/s

lo que da un total de poder de evacuación de 10.200 m³/s con una cota de embalse igual a 105 m., de los cuales 9700 m³/s son disponibles con plena seguridad.

CALCULO DE LA ONDA DE CRECIDA.

Para efectuar la regulación de la onda de crecida es necesario determinar en forma inmediata los caudales afluentes al embalse.

Este cálculo se efectúa cada 2 horas, para lo cual se transmiten a Santiago y Central Rapel los datos necesarios para ello.

El caudal afluente viene dado por la ecuación :

$$Q_{AFL} = Q_{GEN} + Q_{REG} + Q_{VER}$$

siendo :

Q_{AFL} = caudal afluente

Q_{GEN} = caudal de generación

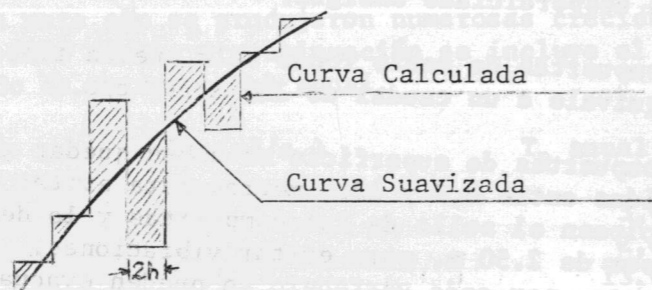
Q_{REG} = caudal de regulación

Q_{VER} = caudal rebalsado o vertido.

PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN EN EL CALCULO DE LA ONDA.

Para calcular la onda de crecida se presentaron varios problemas, siendo los más importantes los siguientes :

- 1° Debido a la magnitud del embalse, un error de 1 cm en la medida del nivel del lago produce un error de 110 m³/s. en el Q_{REG} , de forma que un error de + 110 m³/s. en dos horas puede producir un error de - 220 m³/s en el caso que al efectuar la lectura siguiente se comete un error de - 1cm. Por tal motivo la onda de crecida debe ser suavizada como se indica en la siguiente figura.



- 2° Cuando el caudal total evacuado es grande, el nivel del embalse en la cola es superior al nivel existente en el muro, debido a que la zona comprendida entre la antigua desembocadura del Estero Alhué y el muro se comporta como un gran canal, produciéndose una fuerte pérdida de carga. Este problema fue analizado previamente por la División de Estudios Hidráulicos y los resultados obtenidos son análogos a los que se han producido durante las crecidas de este año 1972.

La diferencia de niveles está dada por la ecuación aproximada:

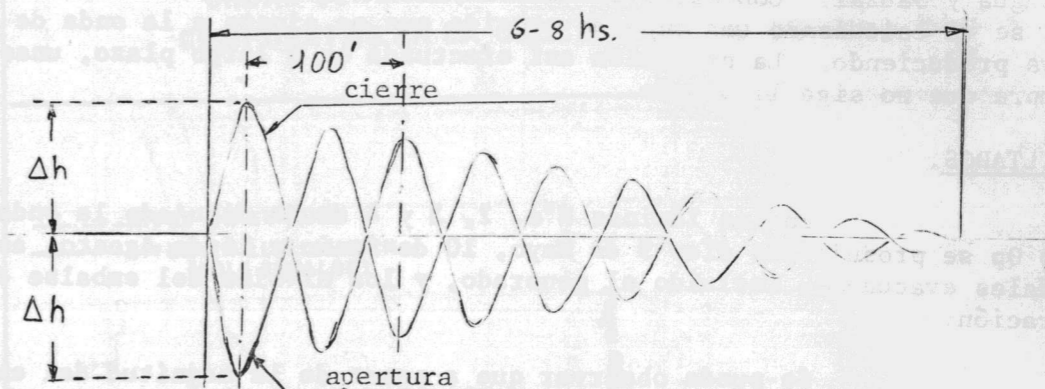
$$\Delta h = 2 Q^2 \text{ (cms)} \quad (Q \text{ en niveles de m}^3/\text{s})$$

o sea que si el caudal total evacuado (incluida la generación) es de 4.600 m³/s., el nivel en la cola del embalse es 42 cms superior al que se tiene en el muro.

Esto indica que para calcular el caudal afluente se debe trabajar con niveles en la cola del embalse (Llallauquen) y no con el muro.

- 3° Durante la operación de las compuertas se produjo un fenómeno que no estaba previsto, por haberse considerado poco significativo. Al abrir o cerrar las compuertas se producen ondas gravitacionales cuya amplitud depende de la magnitud del caudal que se evacue o deje de evacuar. Estas ondas son análogas a las que se producen al abrir o cerrar bruscamente una compuerta de un canal, pero algo distorsionada por las irregularidades del cauce.

Las características de las ondas se incluyen en la siguiente figura.



$$h = Q \Delta h \text{ (cms)} \quad (Q \text{ en miles m}^3/\text{s.})$$

$$\Delta h = 15 \text{ cms}/1000 \text{ m}^3/\text{s.}$$

o sea cuando una compuerta se abre totalmente (1500 m³/s) se tiene un $\Delta h = 22,5 \text{ cms.}$

En la lámina N° 1 se incluye la fluctuación que se produjeron los día 9,10 y 11 de Mayo al abrir las compuertas.

En Llallauquén, cerca de la cota del embalse se tienen fluctuaciones muy pequeñas, del orden de 1/6 de las que se producen en el muro.

Por este motivo el caudal de regulación debe calcularse durante este período con los niveles de Llallauquén. Por otra parte, nos obliga a dejar una revancha entre el nivel del embalse y la cota 105.

El estudio de este complejo fenómeno está a cargo de la División de Estudios Hidráulicos que ha realizado un primer estudio.

PREVISION DE LA ONDA DE CRECIDA.

Para efectuar una buena operación del embalse, especialmente cuando el caudal es muy alto, superior a 3000 m³/s., es necesario prever con algunas horas de anticipación el caudal afluente al embalse.

Por este motivo se han efectuado estudios que permiten ir estimando los caudales.

Un método consiste en determinar la forma de la onda de crecida basándose en la suma de los caudales que llegan al embalse por los ríos Chapoal y Tinguiririca, los cuales se controlan en Puente Arqueado y Los Olmos. Debido al defase existente se puede extrapolar gráficamente la curva del caudal afluente al embalse dándole la misma forma que dicha suma. Esta previsión es válida para un plazo de 8 a 10 horas.

Un segundo sistema consiste en utilizar el método del Hidrograma Unitario (H.U.) para lo cual se ha determinado un H.U. de un tiempo unitario de 6 horas. La precipitación media en la cuenca se determina a partir de las que

que se registran cada 6 horas en San Fernando, Central Rapel, Puente Arqueado, Rancagua y Sauzal. Con estos elementos y unas curvas de infiltración aproximadas, se va calculando una onda de crecida que se ajuste a la onda de crecida que se va produciendo. La previsión así efectuada es a largo plazo, unas 24 horas, siempre que no siga lloviendo.

RESULTADOS.

En las láminas N°s. 2, 3 y 4 se ha dibujado la onda de crecida cuyo Qp se produjo los días 9 de Mayo, 10 de Junio y 16 de Agosto, así como los caudales evacuados, incluido el generado, y los niveles del embalse durante la operación.

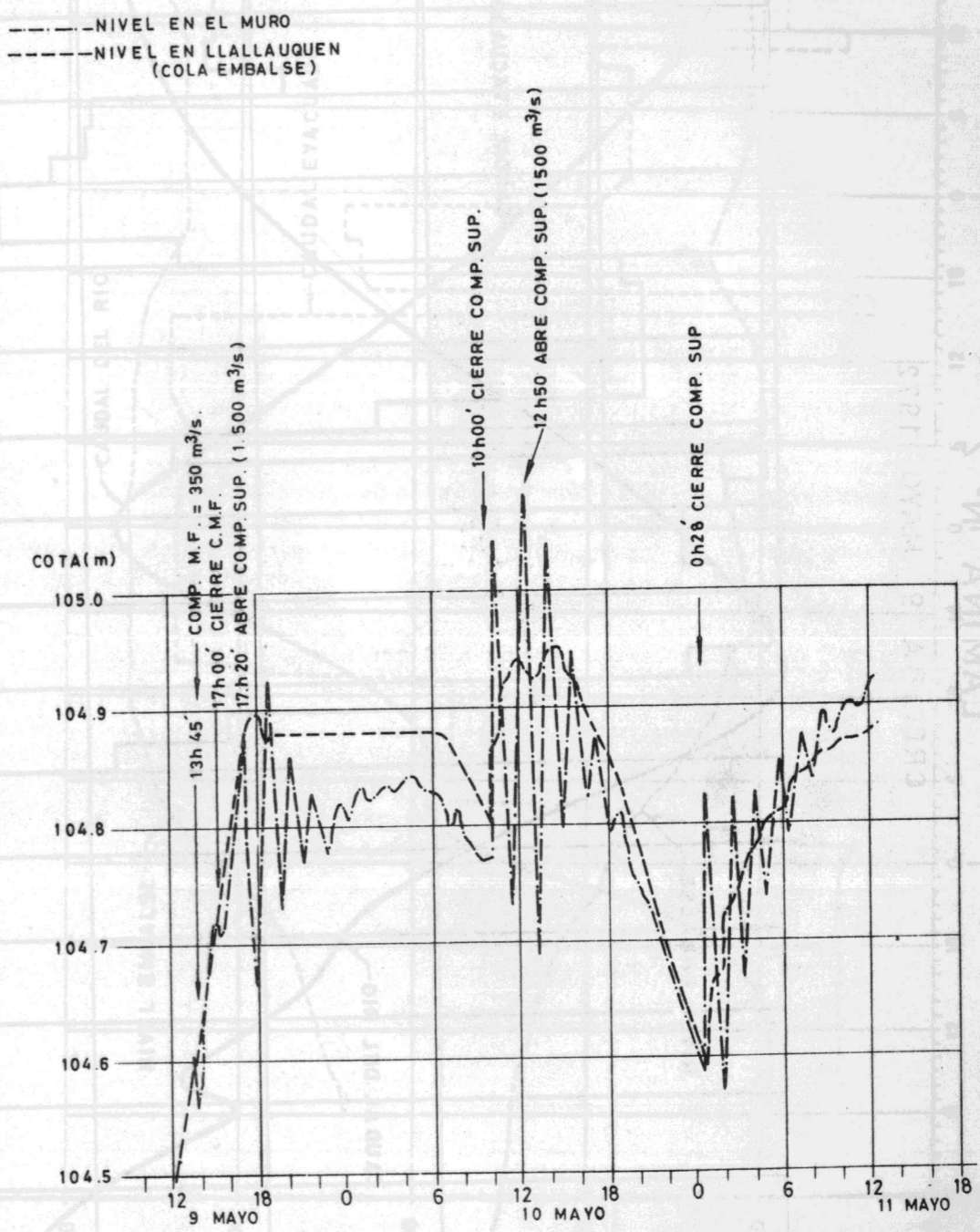
Se puede observar que a pesar de la magnitud del embalse, es muy difícil obtener que el Qp evacuado sea mucho menor que el Qp afluente, o sea el embalse como regulador de crecidas no presta gran utilidad.

Por otra parte, no es conveniente mantener el nivel del embalse muy bajo ya que este caso disminuye la generación. Hay que tener en cuenta que al evacuar un gran caudal, el nivel de aguas abajo aumenta considerablemente. Al evacuar 4200 m³/s el nivel de aguas abajo subió hasta la cota 36.50, o sea, se peraltó 6.00 m., aproximadamente, por lo tanto si se baja además la cota del embalse la altura neta disminuye excesivamente influyendo mucho en la generación por pérdida de dicha altura y disminución del rendimiento. La altura neta máxima es de 78,7 m.

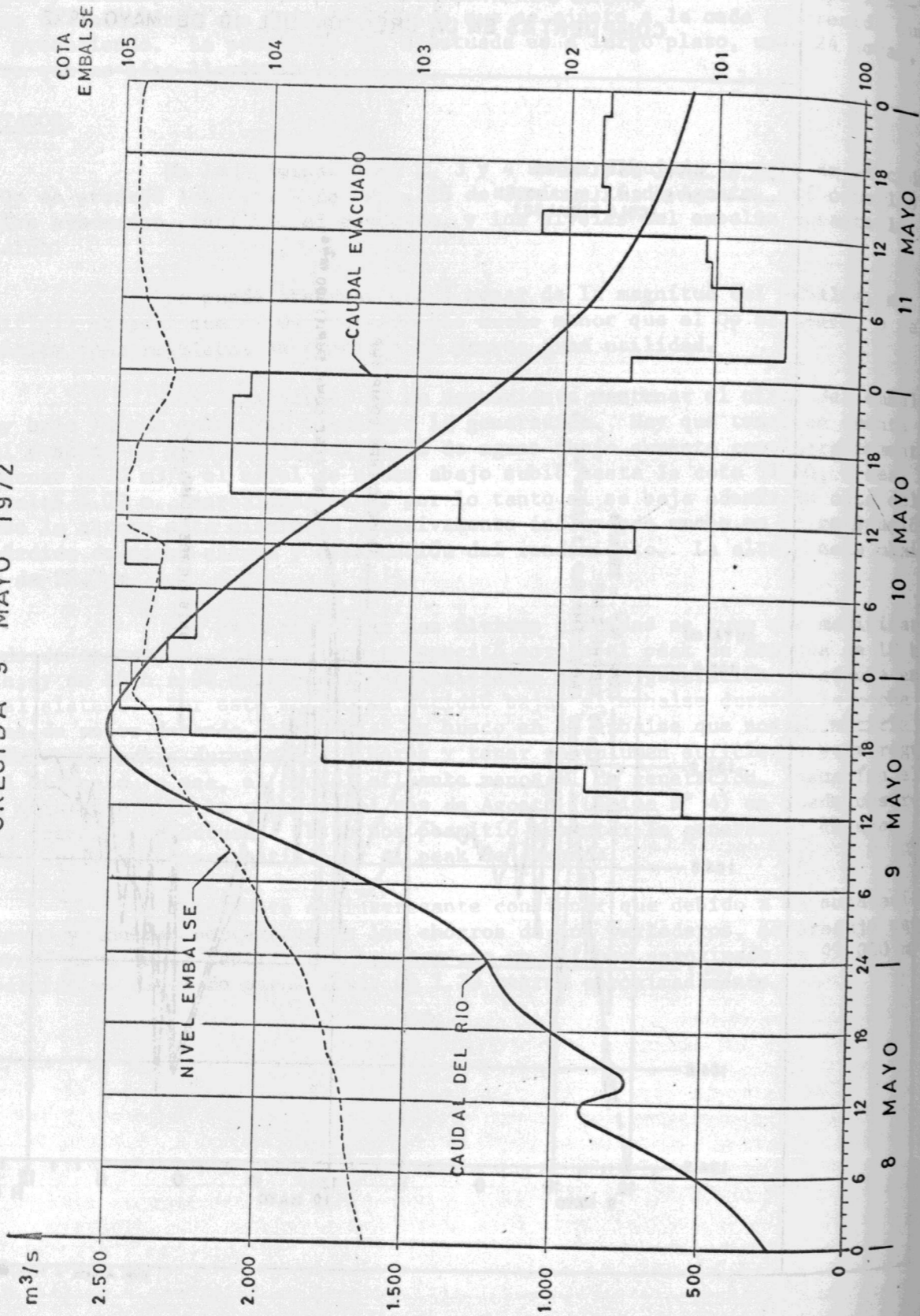
Por esta razón, en las últimas crecidas se tuvo que modificar el modo de operación. El problema se suscitó porque el peak de demanda de 10 h a 12 h, y de 18 h a 22 h no podía ser satisfecho con la generación existente en todo el sistema. Por este motivo se decidió bajar el embalse durante la noche y horas de menor demanda, para dejar un hueco en el embalse que nos permitiría cerrar las compuertas durante 4 a 6 horas y tener un volumen suficiente para regular el afluente, o sea, el caudal afluente menos el de generación, llenarían el hueco existente. En la crecida del mes de Agosto (Lámina N° 4) se puede observar la operación efectuada. Esto nos permitió aumentar la generación en unos 40 MW., suficiente para satisfacer el peak de demanda.

Finalmente es interesante consignar que debido a la socavación del lecho y laderas por efecto de los chorros de los vertederos, se produjo aguas abajo del muro de la central una barrera con un volumen aproximado de 99.000 m³ que peraltó el nivel de aguas abajo en 2.20 metros aproximadamente.

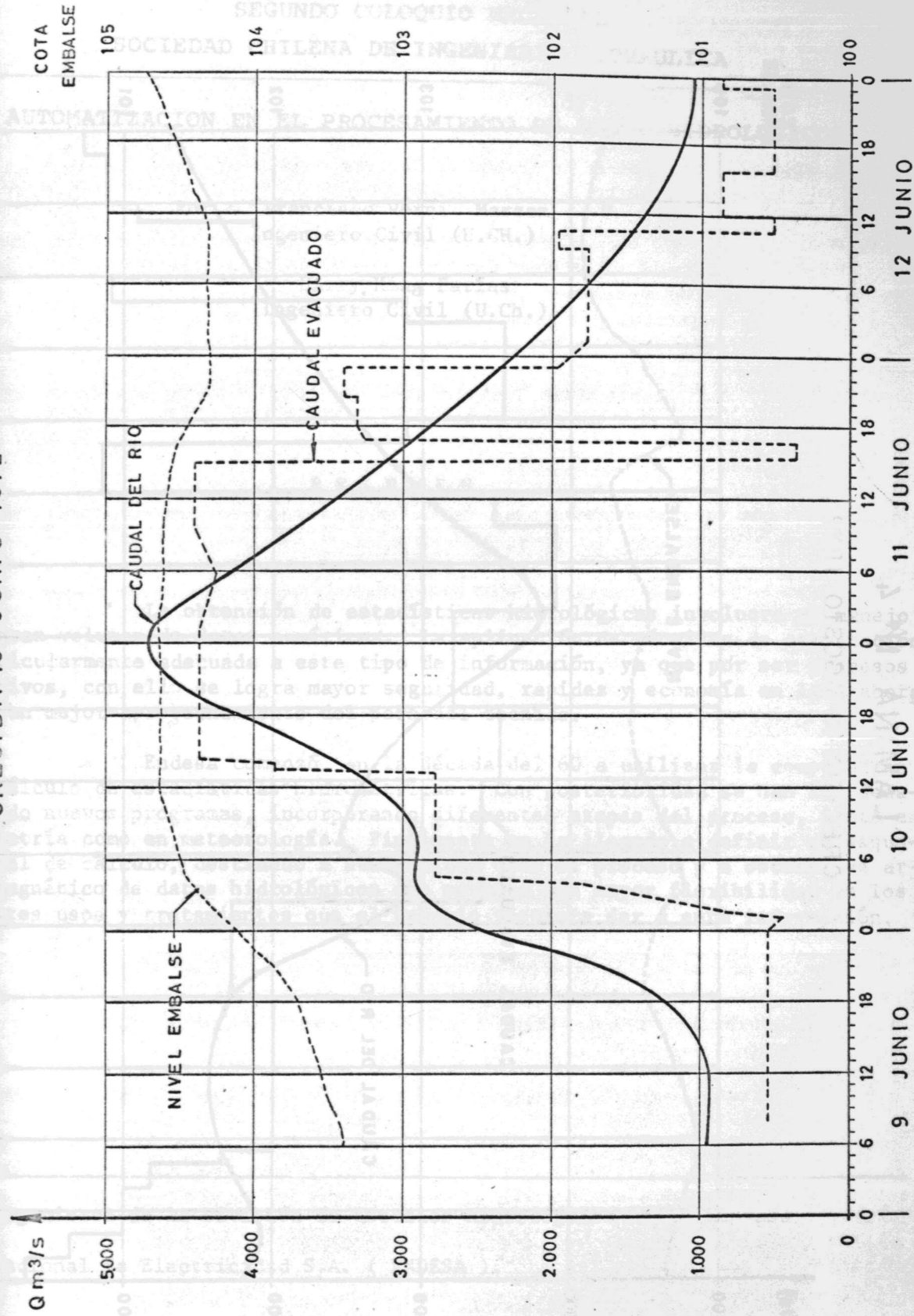
LAMINA N° 1
ONDAS GENERADAS DURANTE EL MOVIMIENTO DE
COMPUERTAS EN LA CRECIDA DEL 10 DE MAYO 1972



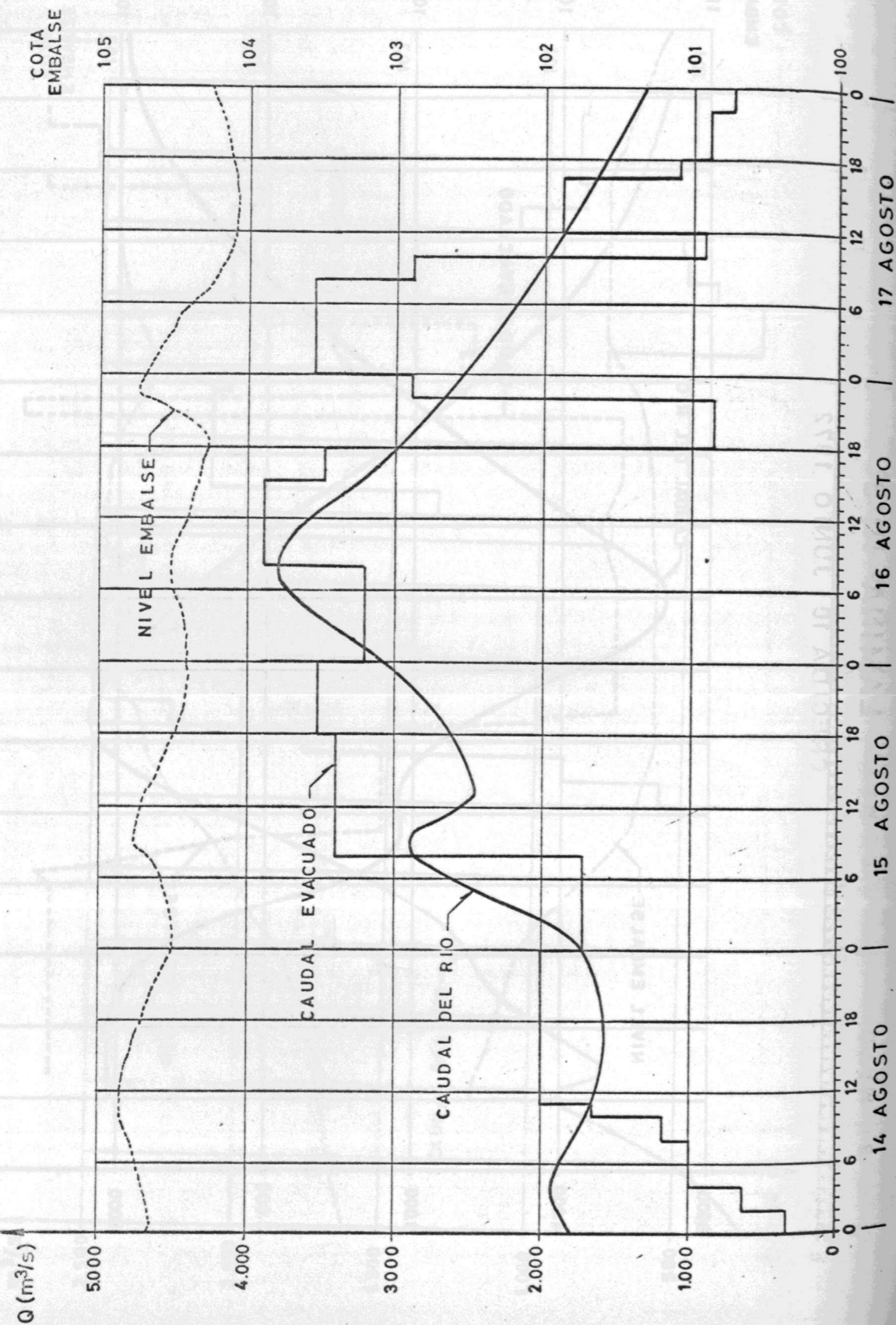
LAMINA N° 2
CRECIDA 9 MAYO 1972



LAMINA N° 3
CRECIDA 10 JUNIO 1972



LAMINA N° 4
CRECIDA 16 AGOSTO 1972



SEGUNDO COLOQUIO NACIONAL
SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

AUTOMATIZACION EN EL PROCESAMIENTO DE DATOS HIDROLOGICOS

Por : Francisco Verni Marzan *
Ingeniero Civil (U.CH.)

Harry King Farías
Ingeniero Civil (U.Ch.)

RESUMEN

La obtención de estadísticas hidrológicas involucra el manejo de un gran volumen de datos numéricos. La aplicación de técnicas de computación es particularmente adecuada a este tipo de información, ya que por ser procesos repetitivos, con ello se logra mayor seguridad, rapidez y economía en la elaboración y un mejor aprovechamiento del personal técnico.

Endesa comenzó en la década del 60 a utilizar la computación en el cálculo de estadísticas hidrométricas. Con posterioridad se han ido desarrollando nuevos programas, incorporando diferentes etapas del proceso, tanto en fluviometría como en meteorología. Finalmente se ha llegado a definir un esquema global de cálculo, destinado a automatizar todo el proceso y a obtener un archivo magnético de datos hidrológicos que permita una mayor flexibilidad en los diferentes usos y tratamientos que el usuario requiere dar a esta información.

* Ingenieros de la División de Estudios Hidrológicos de la Empresa Nacional de Electricidad S.A. (ENDESA).