



ISSN 0716 - 3746

VOL - 7 - N= 2

NOVIEMBRE - '992

# REVISTA de la SOCIEDAD CHILENA de INGENIERIA HIDRAULICA





ISSN 0716-3746

**REVISTA DE LA SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA**

**DIRECTORIO**

**PRESIDENTE**

Luis Ayala Riquelme

**TESORERO**

Sergio Radrigán Vogel

**SECRETARIO**

Ximena Vargas Mesa

**DIRECTORES**

Luis Arrau del Canto

Bonifacio Fernández Larrañaga

Humberto Peña Torrealba

Alberto Sepúlveda Vera

**DIRECTORES HONORARIOS**

Horacio Mery Mery

Eduardo Varas Castellón

**COMITE EDITOR DE LA REVISTA**

Guillermo Cabrera Fajardo

Bonifacio Fernández Larrañaga

Alejandro López Alvarado

Alberto Sepúlveda Vera

**Domicilio: San Martín 352 (Sede del Instituto de Ingenieros de Chile ), Santiago.**

En la revista se han considerado, con caracter permanente, las secciones cuyos contenidos y alcances se señalan a continuación:

**ARTICULOS.** Toda contribución que a juicio del Comité Editor sea de interés ser comunicada a los miembros de la Sociedad. Se incluyen comunicaciones técnicas, históricas o informativas como también resúmenes de Tesis realizadas.

**DISCUSIONES.** Toda contribución en la cual se discuta o comente artículos publicados en Congresos Nacionales y/o en la Revista de la Sociedad.

**TESIS TERMINADAS.** Listado de las Tesis terminadas en las diferentes universidades del país durante el periodo que indique el Comité Editor.

**LIBROS Y REVISTAS PUBLICADOS.** Listado seleccionado de publicaciones recientes de cuya aparición se tiene conocimiento, indicando si ella está disponible en bibliotecas de centros universitarios y/o institucionales.

**EVENTOS.** Actividades de la Sociedad o de interés para los miembros tales como Congresos, Simposios, Conferencias y Seminarios a nivel nacional, regional e internacional.

Se permite el uso y reproducción con fines no comerciales del contenido de la Revista siempre que se cite su origen.

---

### **COLABORADORES**

La Revista de la Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica cuenta para su publicación con el valioso aporte de las empresas

**Ingeniería y Construcción Sigdo Koppers S.A.**

**Empresa Eléctrica Pehuenche S.A.**

---

## INDICE

|                                                                                                                                            | Nº página |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Experiencia sobre la Determinación de la Línea de Nieve en Cuencas de Chile Central<br>Fernando Escobar y Fernando Vidal                   | 5         |
| Estimación de la Línea de Nieve en Cuencas Andinas de Chile Central.<br>René Gerreaud                                                      | 21        |
| Hace 30 años. Seminario Internacional de Hidráulica y Mecánica de Fluidos del año 1962. Informe General.<br>Alejandro López y Horacio Mery | 33        |
| Memorias de Título y Tesis de Grado                                                                                                        | 53        |
| Normas para la presentación de colaboraciones                                                                                              | 57        |





EXPERIENCIA SOBRE LA DETERMINACION DE LA LINEA DE NIEVE  
EN CUENCAS DE CHILE CENTRAL

Fernando Escobar C. (\*)  
Ingeniero Civil

Fernando Vidal J. (\*)  
Ingeniero E. Meteorología

1.- INTRODUCCION

El conocimiento de la variable línea de nieve, es fundamental en el análisis hidrológico de cuencas Andinas, especialmente en la zona central del país, donde gran parte de los ríos tienen su origen en la Cordillera de los Andes, cuyas cumbres en la zona, se caracterizan por presentar elevaciones que sobrepasan los 4000 m.s.n.m. Es por ello, que en la mayoría de los estudios hidrológicos de estas cuencas está presente la determinación de la línea de nieve, especialmente, en la evaluación de recursos hídricos, estudios de caudales máximos de diseño, pronósticos de deshielo y sistemas de alerta de crecidas. El objetivo de este trabajo, es destacar la importancia de la determinación de esta variable, mostrando su variación temporal y espacial. En el se dan algunas definiciones para unificar criterios, y se muestran los resultados del análisis de registros históricos. Por último se discuten algunos métodos de obtención directos e indirectos.

Como consecuencia de la importancia en la determinación del área cubierta de nieve, creemos que es importante destacar la información básica existente en nuestro medio y las investigaciones realizadas en diferentes países que apuntan a la medición y estimación de ella, como es el caso de los estudios relativos al derretimiento, donde se ha puesto especial énfasis en el uso de sensores remotos. Con ellos, se buscan entre otras, relaciones de la curva de recesión del área nival en función del tiempo, del volumen de escorrentía acumulado y de la temperatura acumulada. Por otra parte, en los estudios de crecidas pluviales, el problema se enfoca en la variabilidad de los parámetros de las relaciones precipitación escorrentía, y su incidencia directa en los caudales instantáneos máximos asociados.

(\*) : Departamento de Hidrología  
Dirección General de Aguas  
Ministerio de Obras Públicas



## 2.- DEFINICIONES DE TERMINOS UTILIZADOS

### - Temperatura Crítica:

La temperatura crítica, es aquella temperatura que define el umbral del nivel de elevación a partir del cual la precipitación cae en forma de nieve. Este nivel, define la línea divisoria entre la precipitación en las formas de lluvia y nieve.

### - Línea de nieve:

Es una línea en la superficie de la tierra que queda dibujada por la divisoria de la zona cubierta de nieve y la zona libre de la misma.

### - Línea de nieve estacional:

Corresponde a la línea de nieve en una época determinada de un año cualquiera.

### - Línea de nieve actual o semi-permanente:

Es una línea en la superficie de la tierra, intersectada por una superficie hipotética, en la cual la ablación de la nieve y el hielo están balanceados con la precipitación nival.

### - Línea de nieve orográfica:

La nieve que cae en lugares protegidos del viento y de la radiación, pueden permanecer en altitudes menores a las expuestas. La línea de nieve orográfica se determina conectando los límites inferiores de la línea de nieve actual, es decir, conectando todas aquellas zonas englaciadas protegidas.

### - Línea de nieve regional:

Corresponde a una línea hipotética, que excluye las irregularidades locales causadas por la topografía propia de cada lugar. Se puede obtener del promedio de la línea de nieve actual.

- Glaciar temperado:

Son aquellos glaciares en los cuales su masa de hielo permanece a una temperatura igual a  $0^{\circ}\text{C}$  - punto de derretimiento - a excepción de la onda de frío estacional que penetra la capa superior del hielo hasta profundidades que superan generalmente los 10 m. Estos glaciares son más dinámicos, tanto en su movimiento como en los procesos de transformación internos.

- Glaciar frío:

Se denominan como fríos a los glaciares cuya masa de hielo permanece por debajo de la temperatura de fusión  $0^{\circ}\text{C}$ , aunque puedan existir en ellos alguna lengua que alcance, en alguna época del año, dicha temperatura.

La forma de determinar la línea de nieve dependerá del tipo de estudio y de los recursos disponibles. Así, en un estudio de crecidas pluviales en cuencas de montaña, se deberá determinar la temperatura crítica y la elevación asociada a la misma. Por otro lado, en estudios de pronósticos de deshielo, se requiere conocer la evolución del área de la cuenca cubierta de nieve. Por último, en estudios orientados a la cuantificación de los recursos hídricos, lo primordial será conocer la elevación media o la elevación asociada a cierta probabilidad de ocurrencia de la línea de nieve, a partir de la cual se caracterizará el régimen hidrológico de la cuenca.

En relación a la temperatura crítica, cabe mencionar que la nieve al caer, puede sobrepasar la temperatura de fusión igual a  $0^{\circ}\text{C}$  sin derretirse completamente, dependiendo del contenido de humedad del aire. Esto es posible debido al enfriamiento del aire y de la nieve provocado por la evaporación de la parte de la precipitación en forma de cristales de nieve que se derrite. En nuestro país, en general, la nieve cae con temperaturas del aire que pueden alcanzar hasta  $1^{\circ}$  a  $4^{\circ}\text{C}$ , siendo la temperatura crítica más común en la zona central de  $1^{\circ}\text{C}$ , Seguel y Stowas (1985), aunque en algunas aplicaciones realizadas en la DGA, se ha llegado a usar una temperatura de  $2^{\circ}\text{C}$ .

Para determinar la elevación de la temperatura crítica, es necesario aplicar un gradiente de temperatura a partir de una estación meteorológica base. Al respecto, y de acuerdo a la experiencia en la aplicación de modelos de simulación en las cuencas de los ríos Aconcagua y Maipo, se ha llegado a valores de este gradiente comprendidos entre  $-0.5$  y  $-0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ; siendo el valor más bajo el correspondiente al gradiente pseudo-adiabático húmedo en una atmósfera libre.



### 3.- METODOS DE OBTENCION DE LA LINEA DE NIEVE

#### - Observaciones directas en terreno:

Mediante observaciones taquimétricas, fotográficas o estimaciones visuales.

En la Dirección General de Aguas (DGA), se hacen observaciones regulares de la línea de nieve estacional mediante dos métodos:

i) Observaciones taquimétricas desde la estación Cerro El Roble: desde esta estación se obtienen valores de la elevación de la línea de nieve estacional desde los 32° 00' hasta los 33° 30' de latitud Sur. En el punto 5 se entregan algunos valores medios registrados en dicha estación.

ii) Estimaciones visuales de la elevación de la línea de nieve estacional en conjunto con las mediciones de las Rutas de Nieve de la DGA. Estas Rutas cubren desde los 30° hasta los 37° de latitud Sur. En el punto 5 se presentan algunos valores medios representativos de los registros históricos.

#### - Métodos indirectos:

De acuerdo a las aplicaciones realizadas en la DGA, la determinación indirecta de la línea de nieve se ha efectuado a partir de estudios hidrometeorológicos, como por ejemplo mediante perfiles de temperatura y del nivel de la isoterma 0° C asociado a días con y sin precipitación. También, se ha usado la calibración de curvas de recesión del área de cobertura nival mediante el uso de modelos de derretimiento de nieves.

En otros países, se recurre al uso de radares para identificar la elevación a partir de la cual la precipitación empieza a caer en forma líquida. La acentuada diferencia de la reflectividad entre ambas formas de precipitación permite identificar claramente la zona de transición entre nieve y lluvia. Esta diferencia se debe a los efectos provocados por el cambio de estado de la precipitación, como la disminución de la velocidad de caída, la mayor reflectividad de las gotas de agua con respecto a los copos de nieve, y a los efectos de coalescencia. La conjugación de estos efectos inciden en una reflectividad mucho más intensa en la zona de transición, lo que produce en la pantalla del radar la llamada "banda brillante" o "bright band". En nuestro país, este método sería bastante difícil de usar debido a la interferencia provocada por los cordones montañosos.

- Sensores remotos:

La utilización de imágenes captadas desde satélites, y otros sistemas de sensores remotos, entre los que se incluye la fotografía aérea, en combinación con Sistemas de Información Geográfica SIG, es una herramienta muy eficaz en la determinación de la cobertura nival de una cuenca y de la línea de nieve, tanto de su variación espacial como temporal. Para ello, es imprescindible diferenciar las zonas cubiertas de nieve, de las nubes, de las zonas sin nieve y de las áreas englaciadas. Al respecto, la DGA ha iniciado un programa piloto en cuencas de montaña de pequeña extensión en el río Maipo y río Maule.

#### 4.- METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DEL AREA PLUVIAL PARA ESTUDIOS DE CRECIDAS

Teniendo presente que existe una amplia gama de aplicaciones y métodos, en la materia estudiada, se presenta a continuación la aplicación en la cuenca del río Maipo de una metodología particular para estimar el área pluvial aportante de una cuenca de montaña. Esta aplicación permite visualizar el grado de sensibilidad del área aportante de la cuenca, y por ende, del caudal máximo generado, a la determinación de la elevación de la temperatura crítica.

Teniendo en cuenta que las principales cuencas hidrográficas de Chile Central presentan un régimen hidrológico de carácter nivo-pluvial o pluvio-nival, resulta fundamental en los estudios hidrológicos la determinación de la línea de nieves y particularmente en los estudios de crecidas para el diseño de obras hidráulicas. En relación a esto último, la determinación de la línea de nieve de la tormenta o divisoria entre precipitación sólida y líquida, introduce en el cálculo un grado de sensibilidad importante. Esta situación se comprobó en las crecidas extraordinarias ocurridas en los años 1982 y 1986.

En el cálculo de crecidas, y con fines de diseño, resulta adecuado resolver, en forma simplificada el problema de asociación del período de retorno del caudal resultante a través de las probabilidades combinadas de la precipitación de diseño y del área aportante de la cuenca ( o temperatura del aire de la tormenta de diseño). Para estos fines, las precipitaciones han sido bastante estudiadas disponiéndose de bastante información, en cambio, no ocurre lo mismo con la determinación del área aportante.



De acuerdo a la experiencia de aplicaciones en el país, se presenta a continuación una metodología que permite esta estimación. En ella, se destaca la importancia de la variabilidad que puede presentar el área aportante.

Para la aplicación de la metodología se usaron los datos de precipitaciones diarias y temperaturas medias diarias de la estación meteorológica Embalse El Yeso registradas en el período 1977 a 1991, Banco Nacional de Aguas (BNA) de la DGA.

En primer término, se conformó una serie de datos concurrentes de precipitación y temperatura, cuya relación entre ambas series de datos se muestra en la figura N° 1. En esta figura se observa que no hay una correlación directa entre el monto de precipitación y la temperatura. En consecuencia, se propone un análisis independiente de ambas variables. Con los mismos datos, se efectuó un análisis de frecuencia de las temperatura asociadas a los días con precipitación igual o superior a 20 mm/día. La distribución del ajuste se muestra en la figura N° 2.-

Considerando un gradiente de temperatura de  $-0,6^{\circ}\text{C}/100$  metros de altura, y la temperatura crítica de  $1^{\circ}\text{C}$ , se conformó el Cuadro N°1. De este modo, se llega a que el nivel de la línea de nieve del día de una tormenta puede fluctuar entre los 3350 y los 1800 metros, si consideramos un rango de probabilidades de excedencia entre un 10% y un 90%.

CUADRO N°1  
TEMPERATURA CRITICA Y ELEVACION SEGUN  
PROBABILIDADES DE EXCEDENCIA

| Prob. Exc<br>% | T El Yeso<br>$^{\circ}\text{C}$ | T Crítica<br>$^{\circ}\text{C}$ | Elevación<br>m.s.n.m |
|----------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| 10             | 6.2                             | 1.0                             | 3342                 |
| 20             | 4.1                             | 1.0                             | 2992                 |
| 30             | 3.0                             | 1.0                             | 2808                 |
| 40             | 1.3                             | 1.0                             | 2525                 |
| 50             | 0.9                             | 1.0                             | 2458                 |
| 60             | 0.5                             | 1.0                             | 2392                 |
| 70             | -0.5                            | 1.0                             | 2225                 |
| 80             | -1.8                            | 1.0                             | 2008                 |
| 90             | -3.1                            | 1.0                             | 1792                 |

Aplicando estas elevaciones de línea de nieve a la cuenca del río Maipo en la Obra (4670 Km<sup>2</sup>), se llega a tener que para una misma precipitación de diseño, la cuenca pudiera presentar una área pluvial aportante comprendida entre 561 Km<sup>2</sup> y 2420 Km<sup>2</sup>. Indudablemente que frente a dicha fluctuación, el cálculo de crecidas se hace muy sensible a la determinación del área aportante.

CUADRO N°2  
ELEVACION Y AREA APORTANTE SEGUN  
PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA  
RIO MAIPO EN LA OBRA

| Prob. Exc.<br>% | Elevación<br>m.s.n.m. | Area Pluvial Aportante<br>Km <sup>2</sup> |
|-----------------|-----------------------|-------------------------------------------|
| 10              | 3342                  | 2420                                      |
| 20              | 2992                  | 2273                                      |
| 30              | 2808                  | 1882                                      |
| 40              | 2525                  | 1411                                      |
| 50              | 2458                  | 1315                                      |
| 60              | 2392                  | 1231                                      |
| 70              | 2225                  | 1017                                      |
| 80              | 2208                  | 770                                       |
| 90              | 1792                  | 561                                       |

##### 5.- LINEAS DE NIEVE OBTENIDAS EN LAS MEDICIONES DIRECTAS

En este punto, se entregan diferentes gráficos que muestran en forma resumida las valores de línea de nieve obtenidas de diferentes formas en la DGA, los cuales pueden ser de gran utilidad para muchos estudios en cuencas de montaña de nuestro país.

En la figura N° 3, obtenida de Escobar y Anabalón (1991), se muestra la variación de la línea de nieve entre los 30° y los 37° de latitud Sur, entre los meses de Junio a Noviembre, de acuerdo a observaciones durante las mediciones de las Rutas de Nieve de la DGA.

En la figura N° 4, se presenta un resumen de la variación mensual de la línea de nieve de acuerdo a observaciones taquimétricas efectuadas desde la estación Cerro el Roble, perteneciente a la DGA, para los años 1982, y 1986 a 1990.



En la figura Nº 5, se compara la variación de Norte a Sur de la Isoterma 0° C. media anual en comparación con la línea de nieves semipermanente. Este gráfico nos muestra que a medida que avanzamos hacia el Sur, la línea de nieve semipermanente va alcanzando elevaciones cada vez más bajas en relación a la isoterma 0°C. Esto se debe a que las lenguas glaciares deben desplazarse a elevaciones más bajas con el fin de alcanzar el equilibrio entre la acumulación nival y el derretimiento. En este equilibrio influyen muchos factores como la precipitación, la temperatura, exposición, orientación, etc. Otra conclusión importante que podemos extraer de este gráfico, es la existencia de glaciares fríos al Norte de los 26° de latitud Sur.

Por último, en la figura Nº 6, se muestra la variación espacial de la línea de nieve entre los 28° y 35° de latitud Sur obtenida de imágenes desde el satélite NOAA, presentadas por Peña y Vidal (1989), durante la época de gran acumulación en la temporada de deshielo 1987-88. Se incluye también, la variación temporal del área nival en la cuenca del río Maipo en el Manzano, obtenida de la misma forma, para el período comprendido entre Noviembre de 1987 hasta Marzo de 1988.

## 6.- CONCLUSIONES

- El mejor método para obtener la línea de nieves depende de muchos factores, en primer lugar del objetivo del estudio, y luego otros factores como si el dato se requiere en tiempo real o no, de los recursos humanos, económicos y técnicos disponibles, etc. Sin duda, el método más confiable es el de imágenes de satélite, pero si se trata de un sistema de alerta de crecidas, el cual requiere el conocimiento de la variable línea de nieve en tiempo real, será más adecuado usar la temperatura del aire para la estimación de ella.

- La presencia de importantes masas englaciadas en el Norte del país, las cuales poseen características de glaciares fríos desde el paralelo 26° de latitud Sur hacia el Norte, según nos sugiere la figura Nº 6, y la escasez del recurso agua en la zona, hacen necesario conocer los aportes provenientes desde dichos glaciares. Lamentablemente, en nuestro país no se cuenta con estudios especiales sobre los procesos involucrados en la ablación de glaciares fríos, los cuales son muy diferente a los que ocurren en los glaciares templados. Es por ello que se recomienda la realización de programas de medición en este tipo de glaciares.

## RECONOCIMIENTO

Los autores desean reconocer la labor permanente efectuada por el grupo de Técnicos Nivomensores de la DGA, en las mediciones de terreno a lo largo de los Andes Chilenos. Estas mediciones han permitido el desarrollo de los estudios de hidrología de nieve en el país. Actualmente, este grupo está compuesto por: Jorge Quinteros, Raúl Anabalón, Gustavo Freixas, Alberto Peralta, Antonio Vergara y Paulino Aguilera.



## BIBLIOGRAFIA:

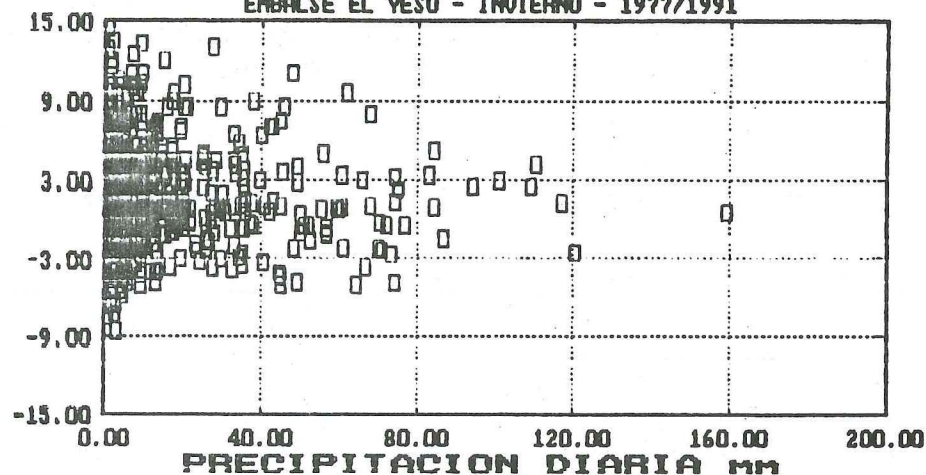
- Ahrens, D. (1991). Meteorology Today. An Introduction to Weather, Climate, and the Environment. 4ª Edition.
- Araya, M., A. Farias y H. Peña (1983). Medición de la Variable Cobertura de Nieve y su Aplicación al Estudio del Deshielo en Cuencas Andinas Chilenas. VI Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica.
- Benítez, A., B. Espíldora, E. Varas, H. Peña y E. Brown (1987). Mesa Redonda Sobre el Estudio de Crecidas. Revista de la Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. Vol. 2, Nº 1.
- Narbona, J. y H. Peña (1976). Medición de la Línea de Nieve. Estación Cerro El Roble. Dirección General de Aguas.
- Dozier, J. and D. Marks (1987). Snow Mapping and Classification from LANDSAT Thematic Mapper Data. University of California, Santa Barbara, USA.
- Elder, K., R. Davis and R. Bales (1991). Terrain Clasification of Snow-Covered Watersheds. Eastearn Snow Conference.
- Escobar, F. y R. Anabalón (1991). Análisis de las Rutas de Nieve del País. Departamento de Hidrología. Dirección General de Aguas.
- Gray, D. and D. Male (1986). Handbook of Snow. Principles, Processes, Management and Use. Division of Hydrology, University of Saskatchewan, Canada.
- Hiser, H. (1981). Radar Meteorology. Fourth Edition. University of Florida. USA.
- Nogami, M. (1970). The Snowline: its Definition and Determination. The Quaternary Research, Vol. 9, Nº 1. Tokyo, Japan.
- Nogami, M. (1976). Altitud of Modern Snowline and Pleistoceno Snowline in the Andes. Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University, Nº 11, Japan.
- Peña, H. y F. Vidal (1989). Estimación de Crecidas de Deshielo. Análisis de las Crecidas de Noviembre/Diciembre de 1987. IX Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica.

- Rango, A. and V. van Katwijk (1990). Development and Testing of Snowmelt-Runoff Forecasting Technique. Water Resources Boulletin.
- Rao, P., S. Holmes, R. Anderson, J. Winston and P. Lehr (1990). Weather Satellites: Systems, Data, and Environmental Aplications. American Meteorologycal Society, Boston, USA.
- Shi, J., J. Dozier, H. Rott and R. Davis (1991). Snow and Glacier Mapping with Polarimetric SAR. University of California, Santa Barbara, and U.S. Army Corps of Engineers, USA; and University of Innsbruck, Austria.
- Seguel, R. y L. Stowas (1985). Estimación de crecidas de diseño en cuencas mixtas pluvio-nivales. VII Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica.
- Vargas, X. y A. Gomez (1991). El Hidrograma Unitario Sintético en la Modelación de Hidrogramas de Crecidas Pluviales. X Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica.
- Verni, F. y C. Bobenrieth (1987). Influencia de la Temperatura en Cuencas Nivopluviales. VIII Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica.



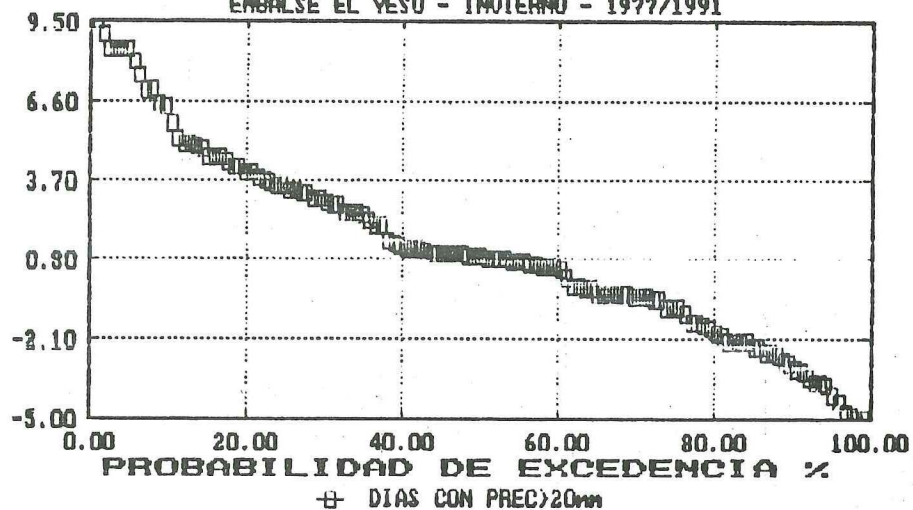
TEMPERATURA MED. DIARIA °C

**FIG No 1: TEMPERATURA U/S PRECIPITACION**  
**EMBALSE EL YESO - INVIERNO - 1977/1991**



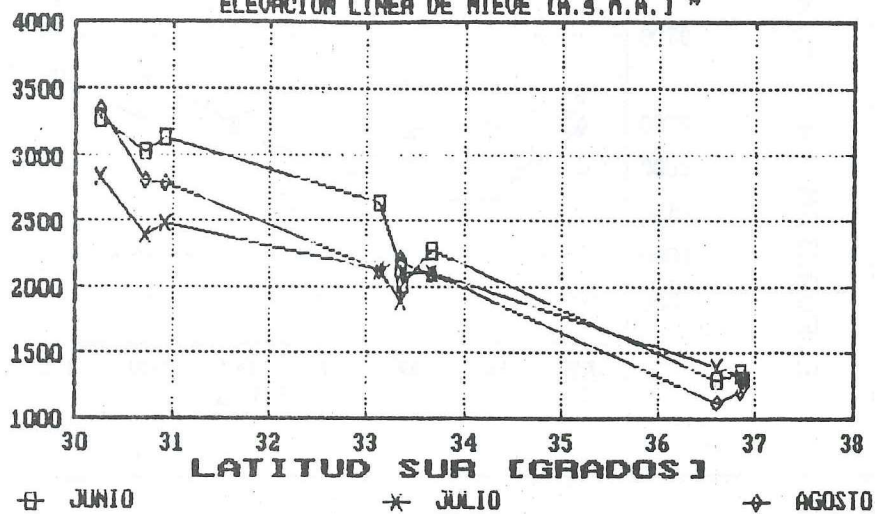
TEMPERATURA MED. DIARIA °C

**FIG No 2: FRECUENCIA DE LAS TEMPERATURAS**  
**EMBALSE EL YESO - INVIERNO - 1977/1991**



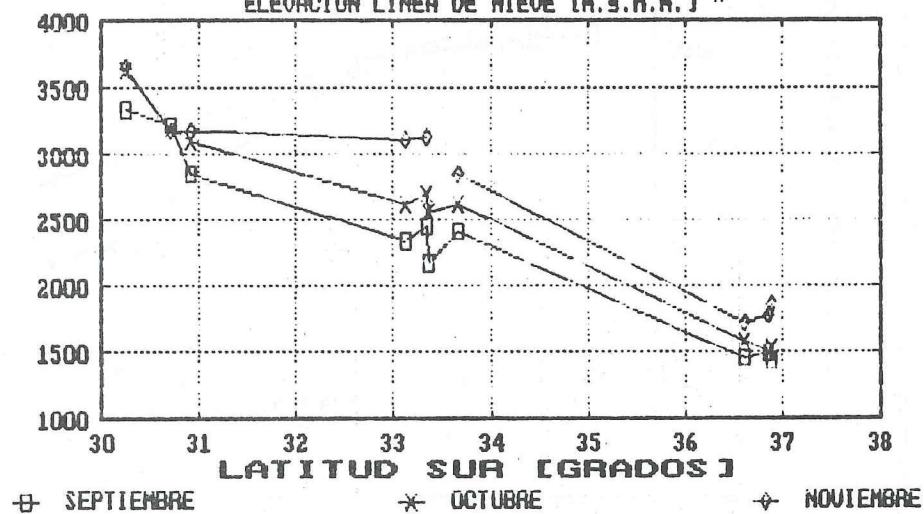
ELEVACION

**FIGURA N° 3.a.-**  
ELEVACION LINEA DE NIEVE (m.s.n.m.) °



ELEVACION

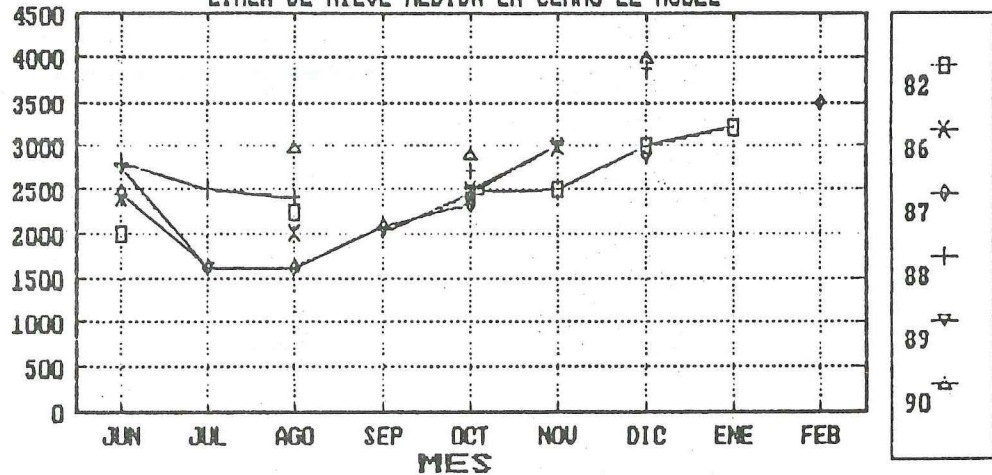
**FIGURA N° 3.b.-**  
ELEVACION LINEA DE NIEVE (m.s.n.m.) °





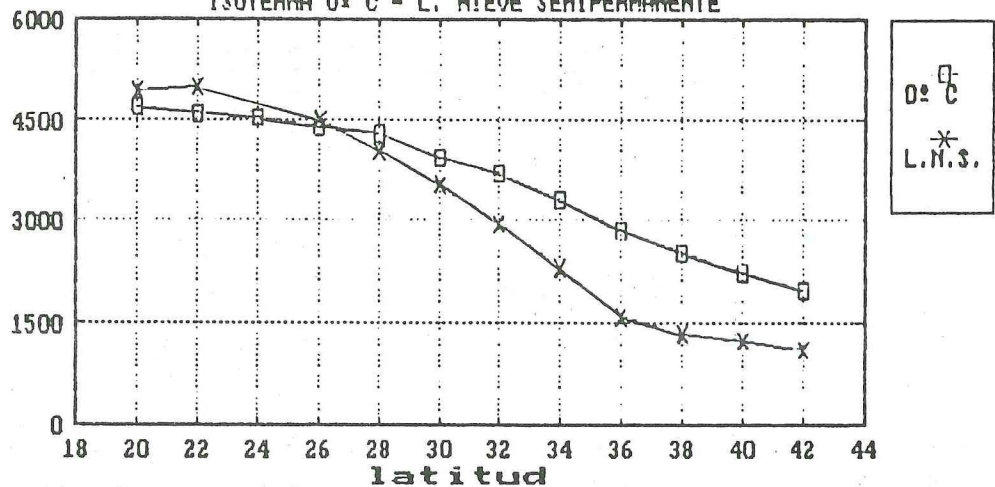
ELEVACION (M.S.N.M.)

**FIGURA Nº 4**  
LINEA DE NIEVE MEDIDA EN CERRO EL ROBLE



Elevacion (M.S.N.M.)

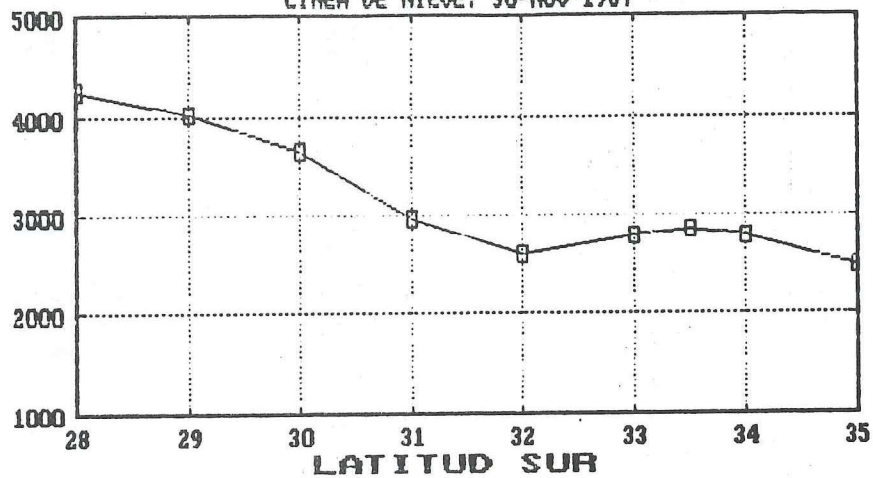
**FIGURA Nº 5.-**  
ISOTERMA 0° C - L. NIEVE SEMIPERMANENTE



elevación de isoterma 0°C obtenida del promedio anual de temperaturas (incluyendo días con y sin precipitación)

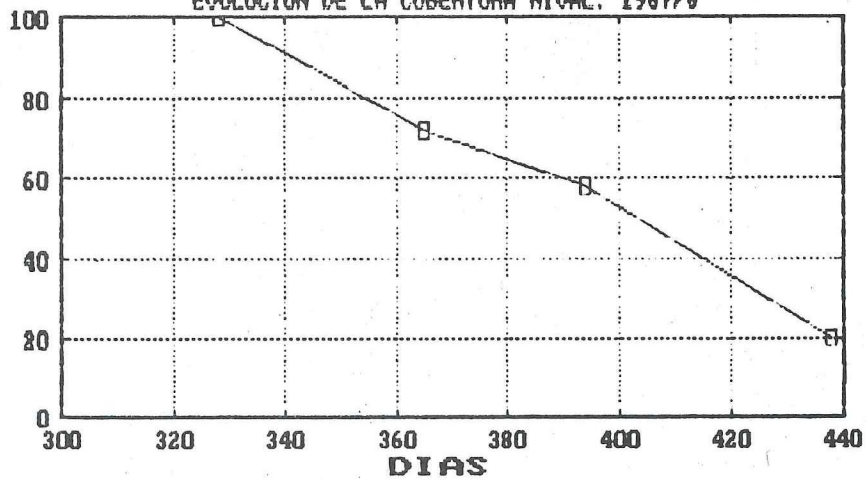
ELEVACION (M.S.N.M.)

FIGURA Nº 6 a.-  
LINEA DE NIEVE: 30-NOV-1987



AREA NIVAL (%)

FIGURA Nº 6 b.-  
EVOLUCION DE LA COBERTURA NIVAL: 1987/8







## Estimación de la Línea de Nieve en Cuencas Andinas de Chile Central.

René Garreaud Salazar.

Departamento de Geofísica. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.

### Resumen :

La estimación de crecidas mediante métodos indirectos requiere el conocimiento del área pluvial aportante, la cual en cuencas pluvio-nivales (como es el caso de la mayoría de las cuencas andinas) corresponde a una fracción del área total, variable durante las tormentas y el período pluvial. En el presente trabajo se desarrolla un modelo conceptual que permite establecer una metodología para determinar la altura de la línea de nieve (indicativa del área pluvial aportante) durante tormentas en cuencas de Chile central, en base al perfil térmico medido por el radiosonda de Quintero, aventajando a otros métodos propuestos en validez física y requerimientos de información. El modelo es verificado observacionalmente y utilizado para estudiar algunos aspectos estadísticos de la línea de nieve.

### 1.Introducción.

El área pluvial aportante ( $A_p$ ), definida como el área de la cuenca sobre la cual precipita en forma líquida, es una variable de especial importancia en la evaluación de crecidas mediante métodos indirectos (basados en relaciones precipitación escurrimiento), dada su relación proporcional con el caudal máximo instantáneo y el volumen de escurrimiento directo.

En cuencas pluvio-nivales o nivo-pluviales, como es el caso de la mayoría de las cuencas andinas, la presencia de precipitación sólida en parte de la cuenca (área nival  $A_n$ ), implica que el área pluvial corresponde sólo a una fracción del área total, cumpliéndose  $A_n + A_p = A_t$ . La variabilidad del área pluvial durante las tormentas y durante el período invernal agrega una complejidad adicional al uso de los métodos indirectos.

La estimación del área pluvial se realiza en base a la línea de nieve (LN), la cual separa los sectores con precipitación líquida y sólida. No obstante, el carácter dinámico de los eventos de precipitación, un supuesto razonable es considerar durante un intervalo de tiempo (por ejemplo 1 día) una altura uniforme de la línea de nieve dentro de la cuenca. Adicionalmente, algunos estudios han demostrado que la temperatura del aire en superficie es un buen índice para definir la forma de precipitación. Seguel y Stowhas (1985) proponen una temperatura umbral del orden de  $1^{\circ}\text{C}$ , en tanto el U.S. Corp of Engineers (1956) entrega la probabilidad de ocurrencia del tipo de precipitación según la temperatura en superficie.

En base a lo anterior, el problema de la evaluación del área pluvial durante una tormenta es abordado empleando alguno de los métodos siguientes (ordenados según creciente validez física) :



- i) Suponiendo un área  $A_p$  constante durante las tormentas y el período pluvial.
- ii) Estimando la LN mediante un gradiente térmico fijo para todas las tormentas y utilizando una estación termométrica y una temperatura umbral prefijada.
- iii) Estimando la LN mediante un perfil térmico superficial (en cada tormenta) y una temperatura umbral.

No obstante la mayor validez del último método, su uso requiere de, al menos, dos observaciones de temperatura a distintas cotas dentro de la cuenca, las cuales pueden estar influenciadas por factores locales, restando representatividad al gradiente calculado.

En el presente trabajo se propone una metodología para estimar la línea de nieve en cuencas andinas de Chile Central (aunque la metodología puede extenderse a otras regiones), en base al perfil térmico medido por el radiosondeo meteorológico de Quintero, interpolando la altura de la isoterma  $0^{\circ}\text{C}$ . El modelo conceptual se desarrolla en el punto 2 y su verificación en el punto 3. Finalmente, utilizando esta metodología se exploran algunos aspectos estadísticos de la línea de nieve : dependencia con el monto de precipitación, variabilidad estacional y distribución de frecuencias.

## 2. Aspectos Conceptuales.

Los eventos de precipitación en Chile central se desarrollan principalmente en el período invernal, mayoritariamente asociada a la actividad frontal. La nubosidad más frecuente durante el paso de un sistema frontal activo es de tipo nimbus, en forma estratificada o cumuliforme o una mezcla de ambas. Además, los movimientos verticales reforzados por el efecto orográfico favorecen el desarrollo de elementos convectivos en los sectores cordilleranos, en los cuales el tope de la nubosidad supera comúnmente los 5000 metros de altura. En esas condiciones, gran parte de la nube se encuentra a temperaturas inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$  (nube fría) produciendo precipitación sólida hasta ese nivel, bajo el cual ocurre un proceso de derretimiento de los cristales en el ambiente más cálido. Denominando  $H_d$  la distancia que recorren los elementos de precipitación sólida desde el nivel a  $0^{\circ}\text{C}$  hasta que se funden completamente y  $H_0$  la altura de la isoterma  $0^{\circ}\text{C}$ , la altura de la línea de nieve,  $H_{LN}$ , será :

$$H_{LN} = H_0 - H_d$$

Las expresiones teóricas para el cálculo de  $H_d$  (Mason, 1965) son complejas y requieren información específica (tamaño y densidad de los elementos sólidos) . Alternativamente, considerando una temperatura umbral en superficie  $T_u \sim 1.5^{\circ}\text{C}$  y un gradiente adiabático saturado  $\gamma_s \sim 6.5^{\circ}\text{C} / 1\text{ Km}$  podemos estimar  $H_d$  como  $T_u/\gamma_s$ , de donde  $H_d \sim 250\text{ m}$ .

Por otro lado,  $H_0$  puede ser interpolado directamente del perfil térmico medido por el radiosonda de Quintero. En rigor  $H_0 = H_0(x, y, t)$ , de manera que es necesario hacer algunas aproximaciones que se justifican a continuación. Considerando un intervalo de tiempo de un día, coincidente con los períodos de precipitación se produce un enfriamiento de la tropósfera baja, por lo cual es razonable considerar  $H_0$  en el período de mínima temperatura. Sin embargo, dado que los radiosondeos son realizados a horas fijas (08.00 y 20.00 HL) es necesario adoptar :

$$H_0 \sim H_{0,\min} = \text{Min} ( H_0^{08} , H_0^{20} )$$

En especial, cuando la precipitación no es continua durante el día la diferencia entre los ~~dos valores diarios puede ser importante~~, pues un enfriamiento  $\delta q \sim 6^\circ\text{C}/12 \text{ hr}$  produce una variación de nivel  $\delta H_0 \sim 1000 \text{ m}/12 \text{ horas}$  (en un ambiente saturado).

En relación a la representatividad espacial de  $H_0$ , considerando un instante dado en que un frente activo cruza el país dejando la zona central (digamos V, VI, y Región Metropolitana) en el sector cálido (o frío), donde el gradiente térmico latitudinal no es muy pronunciado ( $\delta\theta/\delta x \sim 1^\circ\text{C}/100 \text{ Km}$ ). En altura, la circulación de prevaguada deriva el radiosonda hacia el sur (encontrándose sobre la precordillera de la zona central cuando alcanza unos 3000 metros de altura). En consecuencia, excluyendo el período en que la superficie frontal cruza la zona central, la estimación puntual de  $H_0$  es razonablemente representativa de la altura de la isoterma  $0^\circ\text{C}$  entre una región limitada aproximadamente por las cuencas del río Aconcagua por el norte y río Tinguiririca por el sur.

En resumen, el modelo lineal propuesto para estimar la línea de nieve en la zona central del país, a nivel diario, durante eventos de precipitación  $H_{LN} = 1.0 * H_{0,\min} - H_d$ , con  $H_{0,\min}$  interpolada del perfil térmico del radiosondeo de Quintero y  $H_d$  constante, resulta aceptable en forma conceptual y con un buen grado de respaldo físico en las aproximaciones introducidas.

### 3. Verificación Observacional.

Con el fin de verificar empíricamente el modelo propuesto, se correlacionaron valores diarios de la línea de nieve, inferida de un perfil pluviométrico, con la altura de la isoterma  $0^\circ\text{C}$  durante días con precipitación significativa en los inviernos (mayo - agosto) de los años 1980 a 1983.

El perfil pluviométrico está compuesto por 10 estaciones ubicadas en los sectores precordilleranos y cordilleranos de las cuencas de los ríos Aconcagua, Maipo y Cachapoal. Sus características se presentan en la Tabla 1 y su ubicación en las Figura 1.



Tabla 1. Ubicación de las Estaciones Pluviométricas.

| ESTACION           | LATITUD<br>°S | LONGITUD<br>°W | ALTURA<br>msnm | CONTROL |
|--------------------|---------------|----------------|----------------|---------|
| Saladillo          | 32.92         | 70.32          | 1850           | DMC     |
| Quintero (*)       | 32.78         | 71.53          | 8              | DMC     |
| Lagunitas          | 35.08         | 70.27          | 2765           | CMD     |
| San José de Maipo  | 33.63         | 70.37          | 992            | DMC     |
| Queltehues         | 33.82         | 70.20          | 1365           | DMC     |
| San Gabriel        | 33.77         | 70.23          | 1200           | DMC     |
| San Alfonso        | 33.73         | 70.30          | 1100           | DMC     |
| Maitenes, Bocatoma | 33.55         | 70.16          | 1319           | DMC     |
| Barahona           | 34.12         | 70.52          | 1672           | DMC     |
| Pangal, Bocatoma   | 34.27         | 70.36          | 1428           | DMC     |
| Sewell             | 34.00         | 70.37          | 2155           | DMC     |

Observaciones: DMC: Dirección Meteorológica de Chile. CMD: Compañía Minera Disputada de Las Condes. (\*): Estación de Radiosondeos.

De cada una de ellas se obtuvo los registros originales de precipitación, en los cuales se discrimina su forma (nieve o lluvia). Ordenando esta información según la altura de la estación correspondiente (entre 900 y 2700 metros), fue posible inferir la altura de la línea de nieve para un total de 29 días, los que contaban con información en al menos 5 estaciones, de modo que la estimación era confiable. Se asumió que la línea de nieve se ubica a una altura media entre la estación más baja que registró nieve y la más alta que registró precipitación. En algunos casos, la presencia de precipitación mixta dificultó la estimación, lo que redujo el número de días considerados en el análisis.

La altura de la isoterma 0° C fue interpolada linealmente del perfil de temperatura medido por el radiosonda de Quintero (Tabla 1, Figura 1), considerando como valor diario el mínimo entre las 08:00 y las 20:00 Hora Local. Esta información fue obtenida de las cintas magnéticas confeccionadas por el National Climatic Data Center (dependiente del NOAA) de los Estados Unidos.

El análisis de regresión entre la altura de la isoterma 0° C (variable independiente) y la línea de nieve (variable dependiente) se muestra en forma gráfica en la Figura 2 y los resultados en la tabla siguiente:



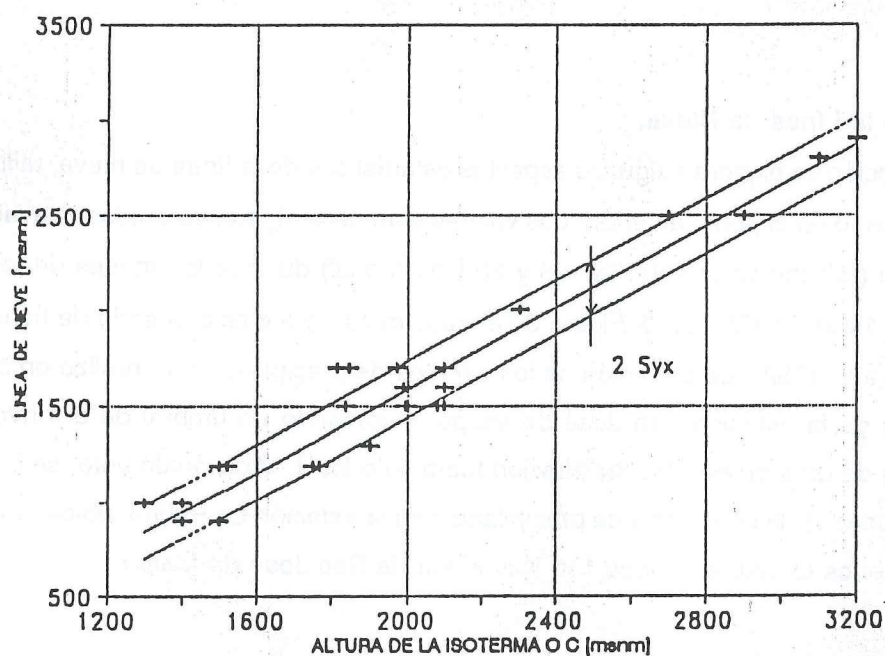
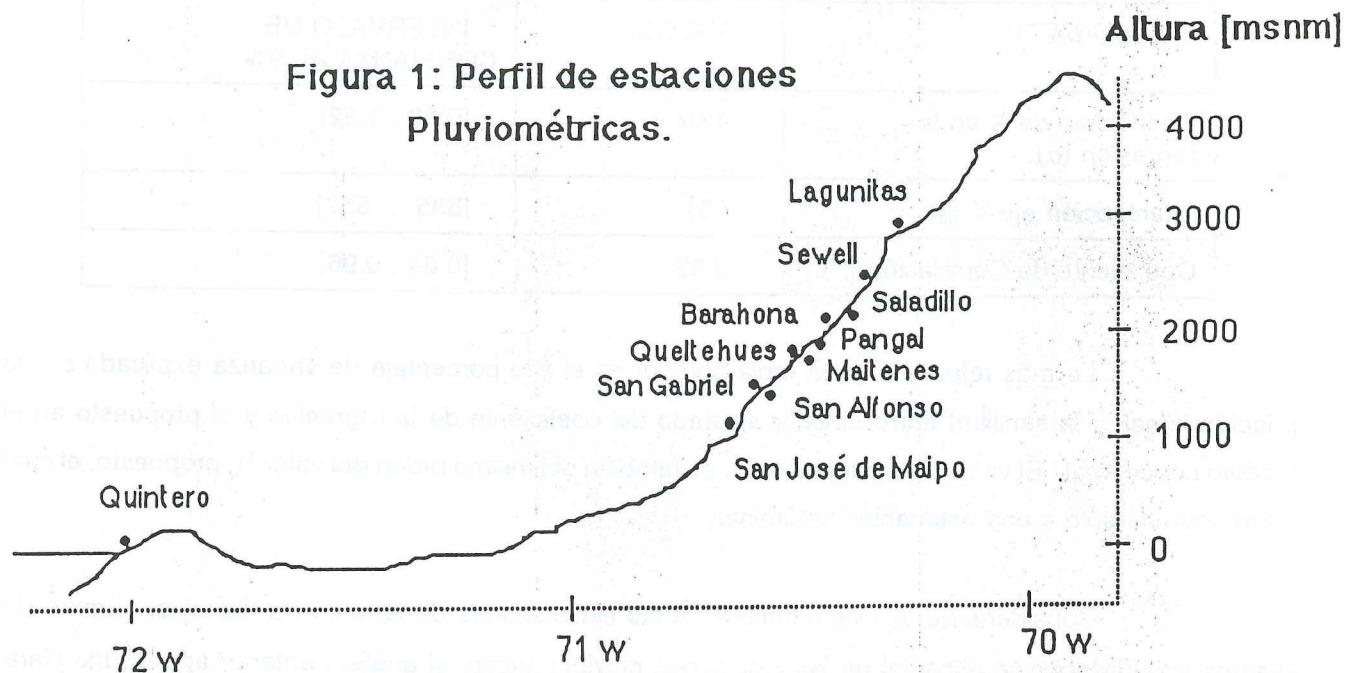


Figura 2: Diagrama de dispersión entre la altura de línea de nieve y la altura de la isoterma 0 C. La línea central corresponde a la recta ajustada y las dos líneas paralelas corresponden a una banda de ancho  $2 \cdot Syx$  (error estándar de estimación de Y)

Tabla 2: Parámetros de la regresión  $y=\alpha \cdot x+\beta$

| PARAMETRO                                       | VALOR | INTERVALO DE CONFIANZA AL 5% |
|-------------------------------------------------|-------|------------------------------|
| Coefficiente de X en la regresión ( $\alpha$ ). | 1.07  | [0.92 , 1.22]                |
| Intercepción eje Y ( $\beta$ ).                 | 551   | [535 , 567]                  |
| Coefficiente de Correlación ( $r^2$ ).          | 0.93  | [0.84 , 0.96]                |

Lo más relevante de la tabla anterior es el alto porcentaje de varianza explicada por la relación lineal, y la similitud entre el valor ajustado del coeficiente de la regresión y el propuesto en el modelo conceptual. El valor de la intercepción, es también del mismo orden del valor  $H_o$  propuesto, el cual correspondía sólo a una estimación preliminar.

Considerando la incertidumbre en las estimaciones de la línea de nieve, el número de eventos y la distribución espacial de las estaciones pluviométricas, el análisis anterior aporta una clara evidencia estadística de la validez del modelo propuesto, adoptándose finalmente :

$$H_{LN}^i = H_{o,min}^i - 550 \text{ [m]}$$

#### 4. Análisis Estadístico de la Línea de Nieve.

En esta sección se exploran algunos aspectos estadísticos de la línea de nieve, utilizando el modelo conceptual verificado en el punto anterior. Los valores diarios de  $H_o$  son obtenidos nuevamente del radiosonda de Quintero (mínimo valor entre las 08 y 20 Hora Local) durante los meses de invierno (Abril - Agosto) de 6 años : 1980 a 1985. En la Figura 3 se muestra como ejemplo la serie de tiempo de la isoterma  $0^\circ \text{ C}$  durante el año 1982. La selección de los eventos de precipitación se realizó en base a los registros pluviométricos de la estación San José de Maipo, empleando un umbral de 5 mm/día de modo de evitar la selección de días en que la precipitación fuera sólo local. Adicionalmente, se verificó, para los eventos ya seleccionados, la ocurrencia de precipitación en la estación La Rufina, ubicada al este de San Fernando, a 900 metros de altura, y unos 150 Km. al sur de San José de Maipo.

Los años considerados en el análisis, presentan diferentes características climáticas entre sí, por lo que los valores medios que resultan de éste son razonablemente confiables, en tanto, dada la longitud del registro, los resultados de tipo extremo deben considerarse como preliminares.



#### 4.1 Distribución de Frecuencias

En la Figura 4 se muestran los histogramas de frecuencia y en la Tabla 3 se presentan los principales estadísticos de la línea de nieve y la línea de nieve media. Esta última variable corresponde al valor medio de la línea de nieve durante cada tormenta (coincidiendo con LN en tormentas de 1 día).

Tabla 3: Estadígrafos de Línea de Nieve y Línea de Nieve Media.

| PARAMETRO           | LINEA DE NIEVE | LINEA DE NIEVE MEDIA |
|---------------------|----------------|----------------------|
| Num. Observaciones  | 151            | 83                   |
| Promedio [m]        | 2170 [m]       | 2223 [m]             |
| Desviación Estándar | 727 [m]        | 623 [m]              |
| Valor Máximo        | 4150 [m]       | 3650 [m]             |
| Valor Mínimo        | 650 [m]        | 1050 [m]             |

Puede apreciarse que no existe una diferencia importante entre ambos histogramas, y la hipótesis :  $\mu_{LN} - \mu_{LNm} = 0$  tiene un nivel de significancia superior al 10%. La menor variabilidad de la serie de valores medios (reflejada en la desviación estándar y valores extremos) es explicada por el efecto suavizador del promedio, en particular sobre los días de término de las tormentas, en los cuales se produce un descenso de la isoterma 0° C asociado a la irrupción post-frontal fría. Consecuente con lo anterior, se restringe el análisis a los valores diarios de la línea de nieve.

La altura de la línea de nieve se distribuye en forma uniforme (sobre un 10% de significancia en el test de Chi - Cuadrado) entre los 1200 a 3000 metros, rango que concentra el 80% de las ocurrencias. El 20% restante se distribuye mayoritariamente entre los 3000 y 4000 metros y en una pequeña proporción bajo los 1200 metros. Los ajustes a distribuciones teóricas son bastantes deficientes, siendo el más significativo el ajuste a la distribución de Weibull de 2 parámetros (significancia del 2%) seguida por la Normal (significancia del 1%), de modo que se continua trabajando directamente con la distribución empírica. En base a ella y a una linealización de las curvas hipsométricas (de la forma  $A = A_0 - (\beta z)$ ) se determinaron las curvas de frecuencia acumulada para el área aportante en las cuencas de los ríos Aconcagua, Maipo, Cachapoal y Tinguiririca, las cuales se presentan en la Figura 5. El cálculo de períodos de retorno en años (valores referenciales) debe considerar que el número promedio de días con precipitación significativa en la zona es de 25 días/período invernal (estimado de Peña y Vidal, 1991).

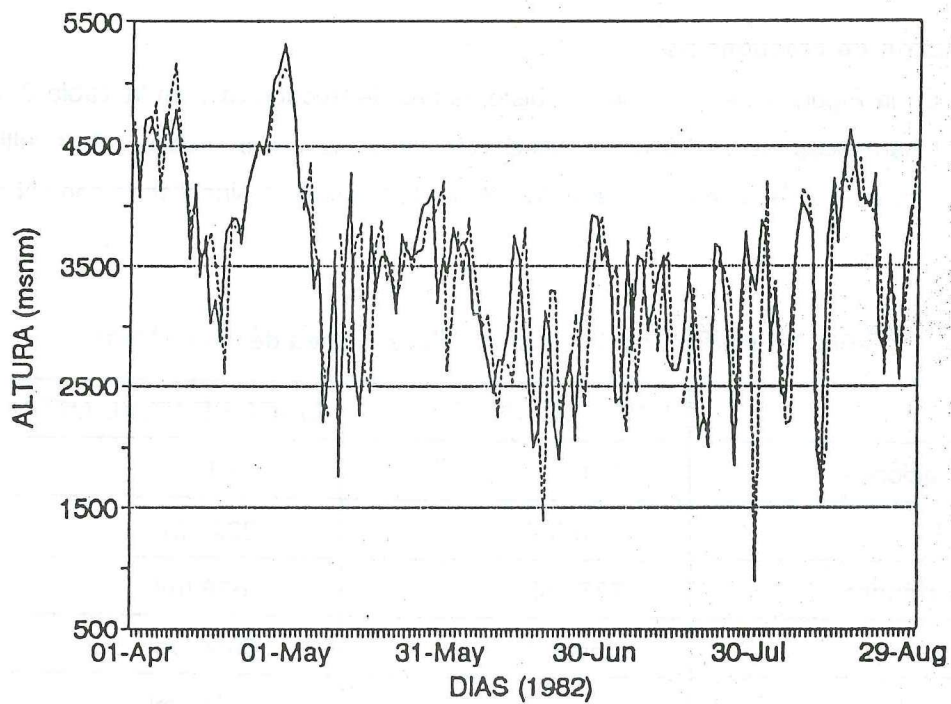


Figura 3: Serie de tiempo de la altura de la isoterma 0 °C durante los meses de invierno de 1982. Línea continua: Ho a las 12 UTC y línea segmentada: Ho a las 00 UTC.

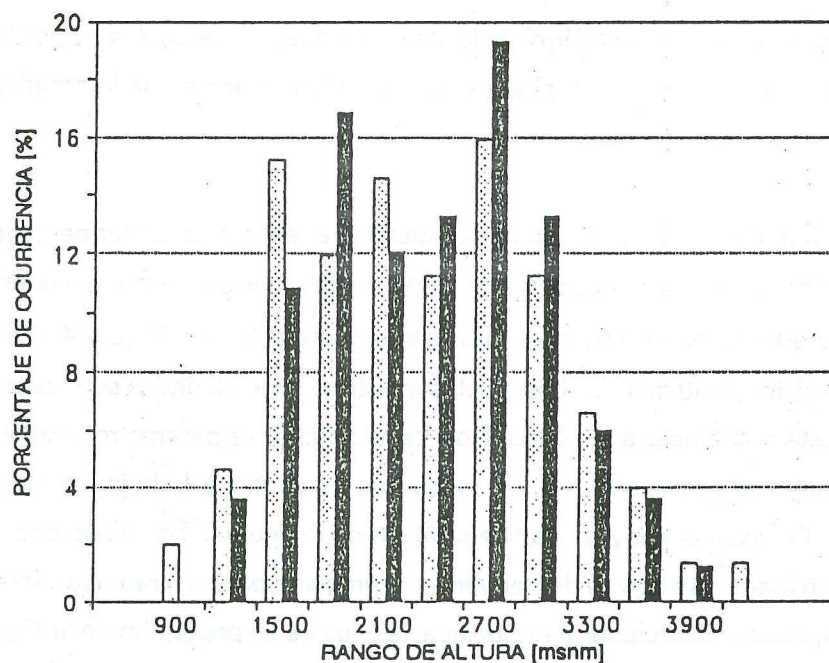


Figura 4: Histogramas de frecuencias de la línea de nieve (barras punteadas) y la línea de nieve media (barras llenas).



## 4.2 Variabilidad Intraestacional de la Línea de Nieve

Teóricamente, la altura de la línea de nieve debería presentar valores mínimos en los meses de julio - agosto, dado que las condiciones individuales de cada tormenta se superponen a un ambiente, en promedio, más frío durante estos meses. Para verificar este comportamiento, se agruparon mensualmente los valores de  $H_{LN}$ , resumiendo su estadística básica en la Tabla 4 :

Tabla 4: Estadígrafos Mensuales de la Línea de Nieve [msnm].

| PARAMETRO          | ABRIL-MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO |
|--------------------|------------|-------|-------|--------|
| Num. Observaciones | 49         | 37    | 45    | 25     |
| Promedio           | 2527       | 2113  | 1827  | 2020   |
| Desv. Estandar     | 607        | 713   | 673   | 685    |
| Val. Máximo        | 4150       | 3950  | 3450  | 3250   |
| Val. Mínimo        | 1450       | 750   | 650   | 1150   |

Dado el tamaño de cada muestra ( $n > 30$ ), para determinar si la diferencia entre los promedios es significativa, o se debe sólo a la aleatoriedad de las muestras, se utiliza un test de diferencia de medias con hipótesis nula  $H_0 : \mu_1 - \mu_j = 0$  e hipótesis alterna  $H_1 : \mu_1 - \mu_j > 0$ . Para un nivel de confianza del 95% las hipótesis aceptada se consignan en la Tabla 5 :

Tabla 5: Hipótesis Aceptadas con  $\alpha = 95\%$ .

$H_0 : \mu_1 - \mu_j = 0$  ;  $H_1 : \mu_1 - \mu_j > 0$

| Mes i/Mes j | ABRIL-MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO |
|-------------|------------|-------|-------|--------|
| ABRIL-MAYO  | $H_0$      | $H_1$ | $H_1$ | $H_1$  |
| JUNIO       |            | $H_0$ | $H_1$ | $H_0$  |
| JULIO       |            |       | $H_0$ | $H_0$  |
| AGOSTO      |            |       |       | $H_0$  |

Estos resultados empíricos están en acuerdo con la variación teórica. Julio corresponde al mes en que la línea de nieve se encuentra a menor altura, con un valor medio significativamente menor que los observados en Junio, Abril y Mayo; en tanto en Abril - Mayo en promedio la línea de nieve se sitúa a una altura significativamente mayor que los restantes meses invernales.

## 4.3 Dependencia Línea de Nieve - Precipitación

El caudal de crecida  $Q$  en cuencas pluvio - nivales es una variable aleatoria, función al menos de un índice (i) de precipitación, el área aportante efectiva de la cuenca ( $A_p$ ), y las condiciones

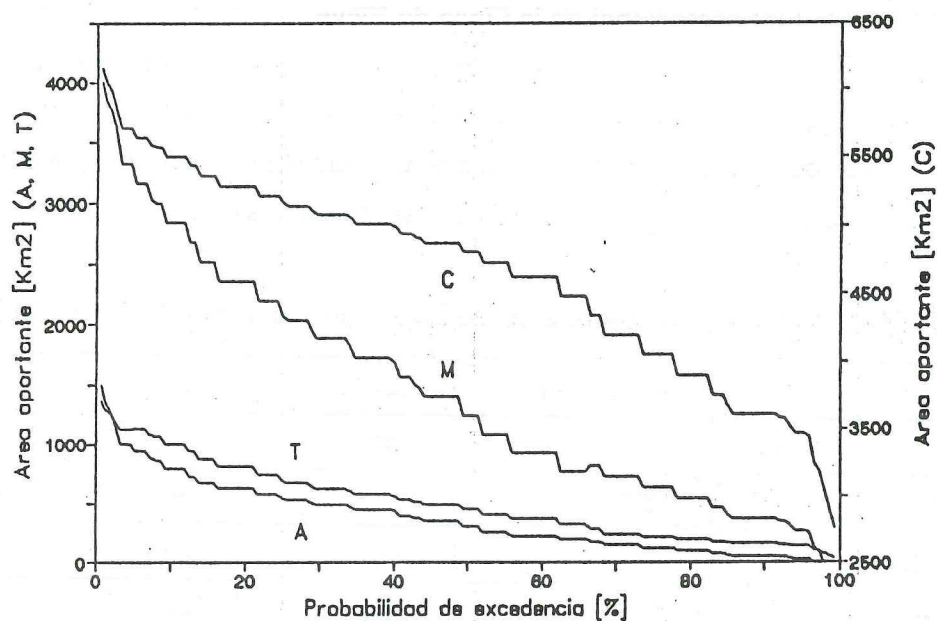


Figura 5: Curvas de probabilidad de excedencia para el área pluvial aportante en las cuencas de los ríos Acoñcagua en Chacabúquito (A), Maipo en el Manzano (M), Cachapoal en Puente Arqueado (C) y Tinguiririca en Bajo los Briones (T).

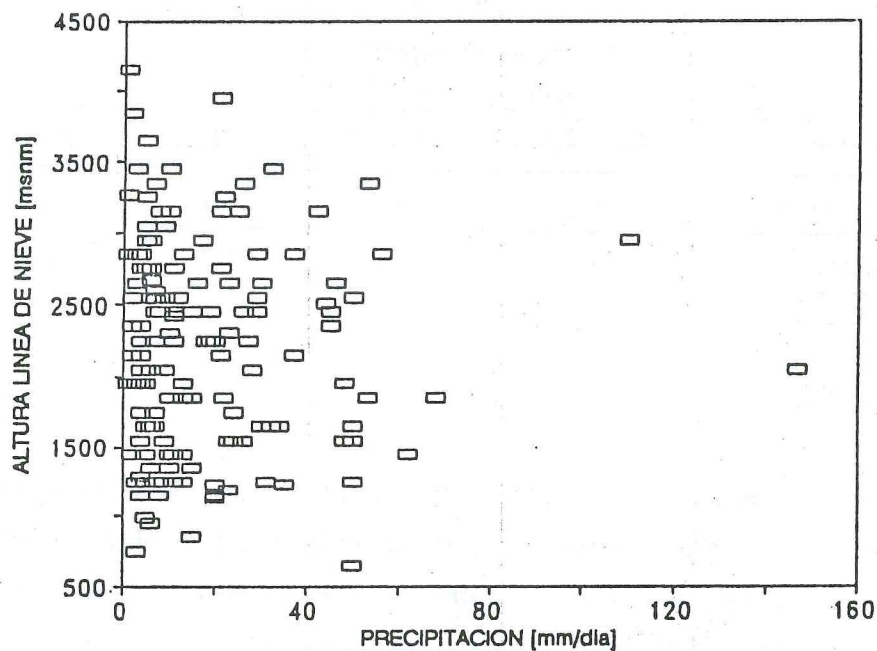


Figura 6: Diagrama de dispersión entre la altura de la línea de nieve y la precipitación en San José de Maipo.



iniciales de la cuenca ( $\Phi$ ) (Espildora, 1987), de modo que en forma genérica :

$$P(Q \geq Q_0) = 1 - F(i, A_p, \Phi)$$

en que  $F$  es la función de distribución conjunta de las variables indicadas. Teniendo en cuenta la relación funcional entre el área aportante  $A_p$  y la altura de la línea de nieve, y suponiendo independencia entre  $i$ ,  $A_p$  y  $\Phi$  se tiene :

$$P(Q \geq Q_0) = P(i \geq i^*) * P(H_{LN} \geq H_{LN}^*) * P(\Phi \geq \Phi^*)$$

donde  $i^*$ ,  $H_{LN}^*$  y  $\Phi^*$  son los valores que producen un  $Q \geq Q_0$ .

El supuesto de independencia entre las condiciones iniciales de la cuenca y las restantes variables es físicamente aceptable, en tanto para analizar la dependencia entre la precipitación y el área aportante se correlacionaron los valores diarios de la altura de la línea de nieve y la precipitación en San José de Maipo (períodos invernales de 1980 a 1985), obteniendo un coeficiente de correlación  $r^2 = 3.1 * 10^{-5}$ . Este valor, que para efectos prácticos puede considerarse cero, sólo indica que no existe una relación lineal entre ambas variables. Sólo en el caso en que ambas variables fueran normales  $r^2 = 0$  implica independencia. Sin embargo, el diagrama de dispersión (Figura 6) no sugiere ningún tipo de asociación, de manera que el supuesto de independencia es razonable, y la evaluación de la distribución conjunta se reduce al producto de las distribuciones individuales de la precipitación y el área aportante pluvial.

## 5. Conclusiones.

Se ha propuesto una metodología simple para la estimación de la línea de nieve en cuencas andinas de la zona central, en base al perfil de temperatura medido por el radiosondeo de Quintero. La estimación del área aportante de cada cuenca (variable fundamental en el uso de métodos indirectos de evaluación de crecidas) se obtiene empleando la altura de la línea de nieve y la curva hipsométrica de la cuenca. La metodología presenta dos ventajas sobre otros métodos : 1. está elaborada en base a un modelo conceptual de alta validez física, lo que permitiría ampliar el método en otras regiones, y 2. requiere un tipo de información que es un producto rutinario realizado por la Dirección Meteorológica de Chile y del cual se poseen los valores diarios desde aproximadamente 30 años atrás.

El modelo propuesto ha sido verificado con valores estimados de la altura de la línea de nieve en base a un perfil pluviométrico compuesto por 9 estaciones en las cuencas de los ríos Aconcagua, Maipo y Cachapoal, ubicadas entre los 900 y 2.700 metros de altura. Los resultados fueron altamente concordantes con el modelo conceptual y el ajuste altamente satisfactorio.

Utilizando esta metodología, se determinaron las funciones de distribución de frecuencias para la altura de la línea de nieve y áreas aportantes en cuatro cuencas andinas de Chile central. Adicionalmente, se verificó la independencia entre el área aportante y el monto de precipitación, y la variación intraestacional de la altura de la línea de nieve.

**AGRADECIMIENTOS:** El autor desea agradecer a los profesores X. Vargas y P. Aceituno por la motivación para desarrollar este trabajo, y a A. Montecinos por su colaboración en la recopilación de la información.

#### REFERENCIAS :

- Corp of Engineers, US Army, 1956 : "Summary Report of the Snow Investigation, Snow Hidrology". North Pacific Division, Portland, Oregon, USA.
- Espildora, B., 1987 : "Planteamiento General de los Métodos de Cálculo de Crecidas de Diseño". Revista Chilena de Ingeniería Hidráulica. Vol. 2, Num. 1.
- Mason, B., 1957 : "The Physics of Clouds". Oxford University Press. Londres, Inglaterra.
- Peña, H. y F. Vidal, 1991 : "Función Intrínseca de Frecuencias de la Precipitación Diaria en Chile entre los 28 y 41 grados de Latitud". X Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica, Universidad Técnica Federico Santa María.
- Seguel, R. y L. Stowhas, 1985 : "Estimaciones de Crecidas de Diseño en Cuencas Mixtas Pluvio - Nivales". VII Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.



## HACE 30 AÑOS

Alejandro López A.  
Horacio Mery M.  
Centro de Recursos Hidráulicos  
Departamento de Ingeniería Civil

### 1.- Introducción.

En Agosto de 1962 se celebró en Santiago de Chile un encuentro de hidraulicistas latinoamericanos, al que se le denominó Seminario Internacional de Hidráulica y Mecánica de Fluidos y hoy se le conoce como Congreso Cero.

Durante su desarrollo se dio forma al Comité Regional Latinoamericano de la Asociación Internacional de Investigaciones Hidráulicas.

Los autores del presente artículo, quienes participaron en el Seminario, formando parte además uno de ellos del Comité Organizador, estiman de interés difundir algunos antecedentes de dicho evento, no sólo para hacer un poco de historia sino también para fijar un marco de referencia que permita medir el avance y evolución que ha tenido en estos 30 años los intereses de la Hidráulica y Mecánica de Fluidos del continente. Para ello se dan a conocer los trabajos presentados al evento, el informe sobre el desarrollo del Seminario y las conclusiones aprobadas en las diferentes comisiones, todo lo cual ha sido extractado del Informe General que se publicó al término del Seminario.

Cabe hacer presente que la modalidad de trabajo fue diferente a la que hoy estamos acostumbrados. Se expusieron todos los trabajos presentados en asambleas plenarias, para posteriormente ser discutidos en comisiones por temas los que decidieron los trabajos que se incorporaron en el Informe General ya mencionado.

Se ha querido incluir en este artículo la lista de participantes y la foto oficial del Seminario. Muchos de los jóvenes de entonces, hoy peinan canas y son distinguidos académicos y profesionales. Algunos de los mayores y en esa época ya brillantes maestros, siguen participando con entusiasmo, otros nos han dejado y nos acompañan con su recuerdo y legado. Para todos el reconocimiento merecido, porque a su visión se debe el que los Congresos Latinoamericanos y el Comité Regional ocupen un lugar destacado en la Hidráulica mundial.



# SEMINARIO INTERNACIONAL DE HIDRAULICA Y MECANICA DE FLUIDOS

*Santiago de Chile. Agosto 1962*

## INFORME GENERAL

LABORATORIO DE HIDRAULICA - UNIVERSIDAD DE CHILE



## **2.- Creación del Comité Regional Latinoamericano de la AIIH.**

En 1961, el profesor Francisco Javier Domínguez, a la sazón profesor jefe del Laboratorio de Hidráulica de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile, inició contactos para la realización de una reunión latinoamericana de investigadores hidráulicos, la primera de este carácter en la región. Ese mismo año, el señor Roberto Muñoz, ingeniero jefe del Laboratorio, realizó un viaje breve a USA por motivos privados y fue comisionado por el profesor Domínguez para visitar centros hidráulicos en Ciudad de México y en Lima e invitarlos a enviar representantes al evento, que fue llamado Seminario Internacional de Hidráulica y Mecánica de Fluidos.

Roberto Muñoz, viajó a Boston y se entrevistó con el doctor Arthur T. Ippen, profesor del MIT, en esa época presidente de la AIIH (Asociación Internacional de Investigadores Hidráulicos), oportunidad en que le transmitió la invitación del profesor Domínguez para asistir al seminario en cuyo seno además de analizar los temas propios de la especialidad, se debatiría la iniciativa de don Pancho de crear un Comité Regional Latinoamericano de la AIIH. El doctor Ippen se mostró inicialmente cauteloso respecto a la idea de este Comité Regional, pero comprometió su asistencia al seminario.

El seminario se realizó exitosamente en agosto de 1962, con participantes de 9 países y la asistencia del Dr. Ippen y de los profesores Vito A. Vanoni, Enzo O. Macagno y Matilde Macagno, que dictaron cursos de su especialidad, con antelación a la realización de este evento.

Específicamente, para abordar el tema de la creación del Comité, se realizaron dos reuniones entre los representantes de cada país y en ellas se tomaron los acuerdos de proponer a la AIIH la creación de dicho Comité Regional Latinoamericano, y nominar al profesor Domínguez como su primer presidente. Además se acordó la realización del primer Congreso Oficial Latinoamericano en Porto Alegre, Brasil, en 1964.

Todos estos acuerdos fueron ratificados posteriormente por la AIIH.

## **3.- Informe sobre el Desarrollo del Seminario Internacional de Hidráulica y Mecánica de Fluidos.**

### **3.1 Ideas Generales.**

Entre el 20 y 25 de Agosto, se realizó en Santiago el Primer Seminario Internacional de Hidráulica y Mecánica de Fluidos destinado a los países latinoamericanos y que fue organizado por el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Chile.



Asistieron a este Seminario, delegados de Argentina, Brasil, Colombia, Guatemala, Estados Unidos, México, Paraguay, Perú, República Dominicana, Venezuela y Chile, contándose entre ellos la mayoría de las personalidades hidráulicas de nuestro continente.

En líneas generales, el Comité Organizador puede mostrar su satisfacción por el resultado de este Seminario, pues en él se cumplieron todas las metas que nos habíamos propuesto al momento de formular la invitación y que eran fundamentalmente las de conocimiento mutuo y cooperación latinoamericana.

Paralelamente al desarrollo del Seminario sesionó el Comité Regional de la Asociación Internacional de Investigaciones Hidráulicas (AIRH) recientemente nombrado en la última reunión del Consejo de esta Asociación en Londres.

Este Comité, que preside el Profesor Francisco Javier Domínguez, estuvo formado por las siguientes personas:

Prof. José S. Gandolfo de Argentina.  
Prof. José Leit de Souza de Brasil.  
Prof. Leoncio Roda de Perú. (Q.E.P.D.).\*  
Prof. Daniel Gersie de Venezuela.  
Prof. Enzo Levi de México.  
Prof. Oscar Maggiolo de Uruguay (miembro del Consejo de la AIRH).

\*El Prof. Leoncio Roda, no pudo asistir al Seminario por motivos de salud, fue reemplazado en las sesiones por el Prof. Ernesto Maisch de Perú.

Para sesionar en esta oportunidad, este Comité contó, en forma extraordinaria, con la presencia del Profesor Arthur T. Ippen, Presidente en ejercicio de la AIRH quien asistió como delegado a este Seminario.

Este Comité tomó una serie de acuerdos que aparecen en la parte final de este informe.

### 3.2 Desarrollo del Seminario.

La sesión de apertura comenzó con un corto discurso de bienvenida dirigido por el Presidente del Comité Organizador, Prof. Fco. Javier Domínguez a los delegados extranjeros y chilenos y, enseguida tuvo lugar una breve disertación del Prof. Oscar Maggiolo de la Universidad de la República Oriental del Uruguay y miembro del Consejo de la AIRH quien explicó los fines y alcances de la Asociación y de la reciente formación del Comité Regional de la misma.

Acto seguido y luego de la fotografía que se tomó al grupo de delegados asistentes, se dio curso a la clase inaugural del Seminario, que estuvo a cargo del Prof. del Instituto



Tecnológico de Massachusetts, EE.UU., y Presidente de la AIRH, Profesor Arthur T. Ippen, quien abordó el tema "Certain Problem of Flow resistance in Open Channels".

Terminada esta clase, se invitó a los delegados a una visita a las instalaciones del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad que se prolongó hasta las 13 horas dado el interés que se hizo notar por conocer en detalle, cada una de las instalaciones de este Laboratorio.

El mismo día Lunes entre las 15 horas y las 18 horas, se realizó la 1ra. Sesión de Trabajo. El primer punto tratado fue la elección de la Mesa del Seminario, cuyos miembros fueron elegidos por unanimidad y que quedó compuesto de la siguiente forma:

|                               |                                  |
|-------------------------------|----------------------------------|
| Presidente Honorario:         | Prof. Arthur T. Ippen            |
| Presidente:                   | Prof. Francisco Javier Domínguez |
| Vice-Presidente del Tema I:   | Prof. José Leite de Souza        |
| Vice-Presidente del Tema II:  | Prof. Oscar Maggiolo             |
| Vice-Presidente del Tema III: | Prof. José S. Gandolfo           |
| Relator Temas I y III:        | Ingeniero Fernán Ibáñez          |
| Relator Tema II:              | Ing. Roberto Muñoz               |

Luego de la elección, comenzó el desarrollo regular de la Sesión en la cual se fueron presentando los detalles de la organización, disponibilidades y realizaciones de los Laboratorios de Hidráulica existentes en cada uno de los países representados en este Seminario.

El total de estas exposiciones comprendió tres sesiones consecutivas de 3 horas de discusión cada una. La Asamblea de delegados consideró este material de un alto interés informativo para cada país y, por ello, decidió encargar al Comité Regional de la AIRH publicar un volumen especial conteniendo estos informes y los de aquellos países que puedan agregarlos en la actualidad. (Ver Conclusiones).

En la Sesión matutina del día Miércoles se empezó a tratar el tema II que constituía una de las bases de invitación de este Seminario. Se comenzó allí por exponer la posición de cada país, respecto a la necesidad y posibilidad de creación de un Centro Latinoamericano de Mecánica de Fluidos y de las posibilidades actuales de estudio y trabajo que se están creando en algunos países del Continente.

Acto seguido, al final de la Primera Sesión de este tema, se nombró una Comisión encargada de emitir un informe respecto a las diferentes ponencias para ser presentado en la Sesión del Jueves en la mañana. Esta Comisión quedó formada por los señores Gandolfo, Gersie, Guzmán (Andías), Leite de Souza, Levi, Maggiolo, Maisch y Domínguez, además del señor Macagno, en calidad de invitado.



Esta Comisión sesionó durante la tarde del día Miércoles y emitió el informe que aparece en las conclusiones adjuntas.

Luego de leído este informe, hicieron uso de la palabra algunos representantes de Organizaciones Internacionales que asistían al Congreso en calidad de observadores y quienes se refirieron a las posibilidades de asistencia técnica y financiera de estos organismos a un proyecto como el abordado.

Fue precisamente frente a la declaración del representante de la Junta de Asistencia Técnica de las Naciones Unidas, señor Inocencio Font Tullot, que los delegados de Chile y Uruguay tomaron un acuerdo de trabajo en conjunto que luego comunicaron a la Asamblea. A la vista de este acuerdo, el delegado de Guatemala adhirió a esta iniciativa.

Durante la misma Sesión, se aprobaron varias mociones relativas al trabajo y actividad que realizan tanto los diferentes países del Continente, como los Organismos Internacionales.

El punto III del temario (presentación de temas científicos) se comenzó a tratar en la Sesión N° 7 el Jueves 23 en la tarde.

Dada la cantidad de trabajos que se presentaron y el tiempo disponible, se fijó un tiempo para exponer cada trabajo que fue de 10 o 15 minutos según si éste hubiese sido publicado o no en los "pre-impresos" del Seminario que se entregaron a cada delegado al principiar las sesiones (hubo muchos trabajos que, por llegar a último momento, no se alcanzaron a publicar.

Se nombró una Comisión que decidió sobre los trabajos que debían ser publicados en el Informe General del Congreso y se le indicó a esta Comisión que, desde luego, el Comité Organizador no publicaría en el Informe General ningún trabajo que hubiese aparecido previamente en publicaciones ajenas al Seminario.

Sin embargo, dada la restringida circulación de algunas de estas publicaciones se autorizó la presentación de los trabajos haciendo luego cita de las publicaciones en que se puede obtener el texto.

En total se presentaron 27 trabajos que fueron expuestos por sus autores y luego discutidos en una Sesión especial fijada para este objeto que se realizó el Viernes en la tarde antes de la Sesión de clausura.

En la Sesión de clausura se discutieron y aprobaron las conclusiones generales de los 3 temas tratados y se comunicaron a la Asamblea los acuerdos tomados por el Comité Regional de la AIRH en sus sesiones.



De todas estas conclusiones y comunicaciones que aparecen en el material adjunto, queremos destacar el hecho de que a partir de esta primera reunión, ya se han echado firmes bases para una continuidad en el encuentro de los hidraulicistas latinoamericanos y se han fortalecido sus vínculos a través de organismos permanentes que los mantendrán en contacto.

En efecto, la puesta en marcha del Comité Regional de la AIRH y la designación de la sede del próximo Congreso Latinoamericano de Hidráulica, que se celebrará en 1964 en Porto Alegre, Brasil, para luego seguir cada dos años en los diferentes países del continente, son muestras palpables de este acerto.

Ya hemos dicho, al comenzar, que consideramos los objetivos de este Seminario plenamente cumplidos, pero hemos creído necesario destacar algunos de ellos y, en especial, salvados todos los inconvenientes que siempre presentan las actividades que comienzan, no cabe duda que el mayor mérito de este Seminario es precisamente de haber sido la primera reunión de este tipo en Latinoamérica.

#### **4.- Conclusiones Aprobadas en el Seminario Internacional de Hidráulica y Mecánica de Fluidos.**

##### **Tema 1**

A la vista de los diversos trabajos presentados y del interés informativo que ellos mostraron, se entregó la siguiente declaración:

"Este Seminario considera del más alto interés, el intercambio de informaciones que se ha hecho en esta ocasión acerca de las disponibilidades de los Laboratorios de Hidráulica en Latinoamérica y de sus realizaciones y programas y sugiere al Comité Regional de AIRH que se busquen los medios de hacer una publicación que agrupe estas informaciones, con el objeto de ser distribuida entre los miembros corporativos de la Asociación y todas aquellas personas e instituciones que el Comité estime conveniente".

##### **Tema 2**

##### **Cooperación Latino Americana.**

La conclusión principal de este tema la constituye, el acuerdo de la Comisión nombrada por la Asamblea, para emitir un informe sobre las diferentes ponencias presentadas.

Este acuerdo fue el siguiente:

"Respecto a las ponencias propuestas para intensificar los estudios de Mecánica de Fluidos en los países latinoamericanos, se recomienda:

- 1°.- Estimular las acciones nacionales de los países que ya están encaminados a la formación de Centros de éste tipo, o ya los tienen funcionando, y recomienda que propendan a su engrandecimiento y desarrollo, abriéndolos a todos los países latinoamericanos.
- 2°.- Propender a que los alumnos egresados de nuestras Escuelas universitarias vayan a centros ya establecidos para especializarse en Mecánica de Fluidos.
- 3°.- Exhortar a los países latinoamericanos, que aún no hayan iniciado actividades de investigación en la Mecánica de Fluidos, a que cumplan con la aspiración indicada en el punto segundo.
- 4°.- Con ocasión de la reunión del Congreso latinoamericano de la Asociación Internacional de Investigaciones Hidráulicas que se celebrará en Porto Alegre en el año 1964, solicitar a los concurrentes a este Seminario que informen de las actividades que hayan desarrollado en su país en este sentido".

Frente al mismo tema, los delegados de Chile y Uruguay declararon:

"Los delegados de Chile y Uruguay, de acuerdo con las manifestaciones del Sr. representante de la Junta de Asistencia Técnica de Naciones Unidas, y con el fin de llevar una experiencia concreta al Congreso de Porto Alegre, en consecuencia con el Art. 4° de la resolución anterior, informar a la Asamblea que han acordado propiciar de inmediato ante sus Gobiernos, la colaboración de ambas naciones para la formación del Centro Latinoamericano de Mecánica de Fluidos, de lo cual piden se deje constancia en las resoluciones de este Seminario".

El delegado de Guatemala adhiere a la declaración anterior.

Se tomaron también las siguientes resoluciones:

"Este Seminario ve con verdadero interés, la posibilidad de que se cree el Instituto Interamericano de Recursos Hidráulicos así como la ayuda que para este objeto pueda recibir la Universidad de Los Andes de Venezuela de la Organización de los Estados Americanos".

"Este Seminario ha tomado conocimiento de la experiencia de la CEPAL, en el estudio del aprovechamiento óptimo de los recursos hidráulicos en América Latina y reconociendo la



complejidad de la tarea, recomienda que se apoyen y coordinen todos los esfuerzos en este campo, en los países latinoamericanos al nivel nacional e internacional".

"Aconsejar que en cada uno de los países latinoamericanos se organicen Asociaciones nacionales de Mecánica de Fluidos, que vinculen a todas las personas o entidades que en una u otra forma desarrollen actividades relacionadas con dicha disciplina".

Respecto al reciente nombramiento del Comité Regional de la AIRH, se acordó recomendar:

- 1°.- El respaldo e impulso del Comité Regional latinoamericano de la AIRH por todas las personas o instituciones ligadas a la hidráulica en Latino América;
- 2°.- Que se encargue a este Comité la organización de las actividades tendientes a estimular y desarrollar las investigaciones puramente científicas o aplicadas en este campo;
- 3°.- Que se encargue a este Comité la preparación de los Estatutos y bases sobre las que funcionaría la Sección latinoamericana de la AIRH. Para esta labor, el Comité podría hacerse asesorar por todas aquellas personas que estime conveniente o sugerir a la Asamblea del Seminario, el nombramiento de una Comisión de Trabajo que los secunde en esta labor.

El reglamento definitivo de la Sección será sometido a la 10a. Asamblea General de la AIRH que se celebrará en 1963 en Londres;

- 4°.- Que se tengan en cuenta los siguientes puntos en la formación de esta Sección latinoamericana:
  - a) La sección será dirigida por un Comité Regional de 11 miembros, entre los cuales habrá: 1 Presidente, 2 Vice-Presidentes, 1 Secretario-Tesorero, 1 Delegado al Comité Ejecutivo de la AIRH y 6 miembros.
  - b) Estos miembros del Comité serán propuestos por la Asamblea Regional al Comité Ejecutivo de la AIRH, para su ratificación.
  - c) Los miembros del Comité durarán en funciones 4 años y serán renovados en grupos de 5 y 6 respectivamente, cada 2 años, o sea, en cada Asamblea Regional.
  - d) Sólo 3 personas de un mismo país podrán formar parte del Comité Regional.

5°.- Establecer las obligaciones de este Comité, ue serían las siguientes:

- a) Redactar el Estatuto ya mencionado para ser presentado en Septiembre de 1963 en Londres.
- b) Programar el Primer Congreso Regional en 1964, en el cual se elegirá el Comité definitivo por el plazo que establezca el Estatuto.
- c) Designar el Secretario provisorio.

### Tema 3

Se designó una Comisión que debe decidir cuales serán los trabajos que se publicarán en el Informe General del Seminario.

Esta Comisión quedó formada por los siguientes miembros:

Prof. José Leite de Souza  
Prof. Enzo Levi  
Prof. Carlos A. Mari  
Prof. Ernesto Maisch  
Prof. Daniel Gersie  
Prof. Fernando Bobenrieth

### 5.- Reunión del Comité Regional de la Asociación Internacional de Investigaciones Hidráulicas (AIRH).

Reunido el Comité Regional de la AIRH tomó los siguientes acuerdos que comunicó a la Asamblea del Seminario:

- 1.- Se designa como sede del próximo Congreso latinoamericano de Hidráulica, la ciudad de Porto Alegre, aceptando la oferta que a este respecto hizo la Universidad de Río Grande do Sul.
- 2.- Se acuerda, en principio, la primera quincena de Agosto de 1964, como fecha para la realización de este Congreso.
- 3.- Se acuerda fijar como temas de discusión del citado Congreso, los siguientes:
  - a) Métodos teóricos y experimentales en Hidráulica.
  - b) Obras hidráulicas en sistema de riego.
  - c) Libre.
- 4.- Los trabajos se recibirán hasta el 15 de Febrero de 1964 en el lugar que indique, para este objeto, el Comité Organizador.



- 5.- Respecto a la forma de entrega de los trabajos se aceptan las normas fijadas por la AIRH en sus Asambleas Internacionales.
- 6.- Se fija en US\$ 10.- la cuota de inscripción para los miembros de la AIRH y en US\$ 20.- para los no miembros.
- 7.- Se designó el comité de la selección de trabajos para el Congreso de Porto Alegre compuesto por las siguientes personas:

Prof. Fco. Javier Domínguez  
Prof. José S. Gandolfo  
Prof. José Leite de Suoza  
Prof. Oscar Maggiolo

quienes se reunirán en Montevideo en la primera quincena de Abril de 1964 para tomar decisión.

**6.- Lista de Trabajos Presentados al Seminario Internacional de Hidráulica y Mecánica de Fluidos.**

**Tema 1 (a y b)**

## **Lista de Trabajos presentados al Seminario Internacional de Hidráulica y Mecánica de Fluidos**

### **Tema 1 (a y b)**

- I-1 Descripción de Laboratorios Hidráulicos en Argentina.  
Informe del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la República Argentina.  
Presentado por el Prof. Ing. José S. Gandolfo.
  
- I-2 Descripción del Laboratorio Hidráulico de la Universidad del Zulia-Venezuela.  
Informe de Universidad del Zulia, Venezuela.  
Presentado por el Ingeniero Roger Nava.
  
- I-3 Laboratorio de Hidráulica Universidad de Chile.  
Descripción General del Laboratorio y sus instalaciones.  
Anexo 1 Reseña somera de los trabajos de investigación realizados  
Anexo 2 Modelos hidráulicos  
Informe del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Chile.  
Presentado por el Ingeniero Roberto Muñoz.
  
- I-4 Universidad de Río Grande do Sul - Instituto de Pesquisas Hidráulicas.  
Anexo 1 Laboratorio de Ensino.  
Anexo 2 Organización y Reglamentos.  
Informe de la Universidad de Río Grande do Sul.  
Presentado por el Prof. Ing. José Leite de Souza.
  
- I-5 Descripción general de Laboratorios - Reseña de trabajos de investigación en México.  
Informe preparado y presentado por el Dr. Enzo Levi y el Ing. José L. Sánchez.
  
- I-6 El Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Colombia.  
Film preparado por el Laboratorio de la Universidad de Colombia.  
Presentado por el Prof. Ing. Abdías Guzmán.
  
- I-7 Descripción del Laboratorio de Peñaflor de la Dirección de Obras Portuarias del Ministerio de Obras Públicas de Chile.  
Informe preparado y presentado por el Ing. Raúl Peldoza.
  
- I-8 El Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de la República Oriental del Uruguay.  
Informe preparado y presentado por el Prof. Ing. Oscar Maggiolo.
  
- I-9 Equipos del Laboratorio de la Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.  
Chile.  
Informe preparado y presentado por el Prof. Ing. Ewdard Band.



- I-10 Laboratorio de Hidráulica "Guillermo C. Céspedes", Universidad Nacional de la Planta, Argentina.  
Contribuciones de aplicación general - Tipo de obra de derivación sin arrastre de fondo.  
Presentado por el Prof. José S. Gandolfo.

### **Tema 1 (c)**

- I-21 Dos experiencias en la enseñanza de la Mecánica de Fluidos  
Dr. Enzo O. Macagno, Iowa Institute of Hydraulic Research, Iowa, USA.
- I-22 Descripción de experiencias didácticas en el Laboratorio de Hidráulica en la Universidad de Chile.  
Ing. Roberto Muñoz, Laboratorio de Hidráulica, Universidad de Chile, Chile.
- I-23 Film sobre el movimiento de fluidos.  
Preparado por el Iowa Institute of Hydraulic Research.  
Presentado por el Dr. Enzo O. Macagno.
- I-24 Descripción de experiencias didácticas, planes de estudio y métodos de enseñanza en Méjico.  
Prof. Dr. Enzo Levl, Universidad Nacional Autónoma. Méjico.

### **Tema II**

- II-1 Instituto Interamericano de Recursos Hidráulicos en la Universidad de Los Andes.  
Dr. Daniel Gersie. Venezuela.
- II-2 Creación de Centros Nacional de Instrumental Científico en América Latina.  
Dres. Enzo O Macagno y P.G. Hubbard, Iowa Institute of Hydraulic, Research.  
Iowa, USA.
- II-3 Cooperación Latinoamericano.  
Ing. Roberto Muñoz, Laboratorio de Hidráulica. Universidad de Chile. Chile.
- II-4 Ponencia Argentina acerca de la Creación de un Centro Latinoamericano de Mecánica de Fluidos.  
Prof. Ing. Jodé S. Gandolfo. Argentina.
- II-5 Centro Latinoamericano de Mecánica de Fluidos.  
Dr. Enzo O. Macagno. Iowa Institute of Hydraulic Research. Iowa, USA.

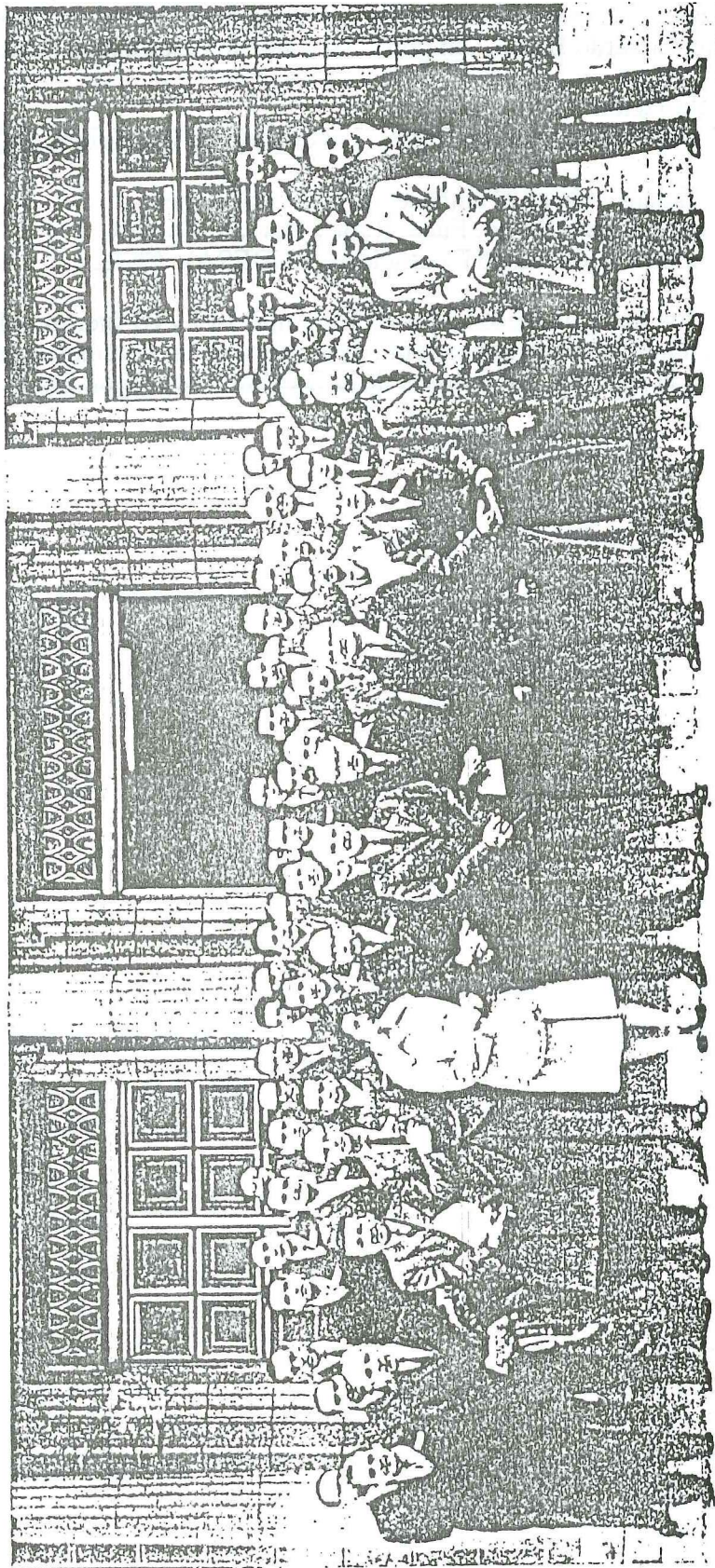
### Tema III

- III-1 Socavación localizada alrededor de obstáculos ubicados en ríos.  
Prof. Ing. Oscar Maggiolo, Universidad de la República de Uruguay.
- III-2 La altura a plomo del parámetro de una caída. Su determinación en diversos casos.  
Prof. Ing. Francisco Javier Domínguez, Laboratorio de Hidráulica, Universidad de Chile. Chile.
- III-3 Velocidad crítica de arrastre en los escurrimientos de superficie libre con fondos susceptibles de erosión.  
Ing. Georges Moguilny, Laboratoire Central d'Hydraulique de France. Francia.
- III-4 Aplicaciones de la fórmula de Colebrook al escurrimiento en canales abiertos.  
Ing. Sergio Montes, Laboratorio de Hidráulica, Universidad de Chile. Chile.
- III-5 Variación de capacidad de tuberías en función del tiempo.  
Ing. Manuel Muradas, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina.
- III-6 Aplicaciones del teorema de "momentum" a escurrimientos impermanentes.  
Ing. Ludovico Ivanissevich y Carlos Bergman. Universidad Nacional de Buenos Aires. Argentina.
- III-7 Nivel de aguas detrás de una lámina que cae libremente sobre un lecho inclinado.  
Ing. Raúl Uribe, Empresa Nacional de Electricidad (ENDESA). Chile.
- III-8 Funcionamiento de una clapeta automática accionada por nivel de agua.  
Ing. Antonio Cauas. Empresa Nacional de Electricidad (ENDESA). Chile.
- III-9 Masa adicional y red potencial.  
Dr. Enzo O. Macagno. Iowa Institute of Hydraulic Research, Iowa, USA.
- III-10 Aplicación del cálculo hidráulico directo de conductos a la elección de bombas.  
Ing. Ludovico Ivanissevich, Universidad Nacional del Litoral, Rosario. Argentina.
- III-11 Estudio hidráulico del sistema canal - túnel en presión. Chimenea de equilibrio.  
Ing. Horacio Mery, Empresa Nacional de Electricidad (ENDESA). Chile.
- III-12 Sistema de imágenes en el interior de una elipac, producido por un fuente exterior.  
Sra. Matilde Macagno, Investigadora Asociada. Iowa Institute of Hydraulic Research. Iowa, USA.
- III-13 Una aproximación en el movimiento de líquidos compresibles.  
Dres. Ings. Enzo O. Macagno y H.W. Ho. Iowa Institute of Hydraulic Research, Iowa. USA.
- III-14 Expresión del teorema de la cantidad de movimiento cuando existe cambio de dirección.  
Prof. Ing. Roberto D. Cotta, Universidad de La Plata, Argentina.



- III-15 Distribución de velocidades en ríos en la zona Central de Chile.  
Ing. Eduardo Basso, Empresa Nacional de Electricidad (ENDESA). Chile.
- III-16 Calibración del tubo de Pitot.  
Const. Civil Alejandro López, Laboratorio de Hidráulica, Universidad de Chile. Chile.
- III-17 Sedimentación en el embalse de la Central Rapel.  
Ings. Eduardo Basso, Fuad Rabi y Hernán Morales  
Empresa Nacional de Electricidad (ENDESA). Chile.

Solamente los trabajos presentados en los temas I-c) y III fueron publicados pues los informes sobre los diferentes laboratorios serán publicados en un volumen especial que editará el Comité Regional de la AIRH y los trabajos de la Sección 2 correspondieron más bien a ponencias y no a trabajos.





NOMINA DE DELEGADOS AL SEMINARIO INTERNACIONAL  
DE HIDRAULICA Y MECANICA DE FLUIDOS

Nombre y Dirección:

ARGENTINA

BERGMAN, Carlos A. M.  
Lavalle 1554  
Buenos Aires.

CAMPODONICO, Carlos  
Calle Micheletti 8080,  
(Fisherton) Rosario.

COTA, Roberto, D.  
Diagonal 78 N° 247  
La Plata.

GANDOLFO, José S.  
Avda. Montes de Oca 515,  
Buenos Aires.

GUZMAN, Carlos A.  
Escuela de Aplicación  
para Oficiales,  
Río Santiago.

IVANISSEVICH, Ludovico  
Juan M. Gutiérrez 2525,  
Buenos Aires.

MARI, Carlos S. J.  
Juana Azurduy 2271,  
Buenos Aires.

RODRIGO, Adolfo B.  
Calle 7 N° 644,  
La Plata

SAMATAN, Enrique  
Paseo Colón 255  
Universidad de Buenos Aires,  
Buenos Aires.

SANCHEZ, Carlos M.  
Calle General Acha 45,  
San Juan.

Nombre y Dirección:

BRASIL

LEITE DE SOUZA, José  
Corte Real 508  
Porto Alegre,  
Río Grande du Sul.

CHILE

BAND, Edward G. U.  
Casilla 110-V,  
Valparaíso.

BOBENRIETH, Fernando  
Endesa, Ramón Nieto N° 920,  
Santiago.

CASTAÑER, Pedro  
Facultad de Ciencias Físicas y  
Matemáticas, Universidad  
Católica de Chile,  
Alameda B. O'Higgins N° 340  
Santiago.

CAUAS, Antonio  
Endesa, Ramón Nieto, N° 920  
Santiago.

CERON, Ventura  
Laboratorio de Hidráulica,  
Casilla N° 2777,  
Santiago.

DE LA QUINTANA, Jaime  
I. B. M. de Chile,  
Agustinas N° 1235,  
Santiago.

DOMINGUEZ, Francisco Javier  
Laboratorio de Hidráulica,  
Casilla N° 2777,  
Santiago.

Nombre y Dirección:

CHILE

VON BISCHHOFFSHAUSEN, Armin  
Ministerio de Obras Públicas,  
Morandé N° 71,  
Santiago.

ORGANIZACIONES INTERNACIONALES

DORFMAN, Adolfo,  
Cepal, Providencia N° 871,  
Santiago.

FONT-TULLOT, Inocencio  
Naciones Unidas, Huérfanos 786,  
Santiago.

GARCIA, Eduardo  
Cepal, Providencia N° 871,  
Santiago.

PLAZA, Carlos  
Cepal, Providencia N° 871,  
Santiago.

COLOMBIA

GUZMAN, Abdías  
Calle 33 N° 37-43,  
Bogotá.

ESTADOS UNIDOS

IPPEN, Arthur T.  
Hydrodynamics Laboratory,  
Dept. of Civil Engineering,  
Massachusetts Institute  
of Technology,  
Cambridge 39,  
Massachusetts.

MACAGNO, Enzo  
Iowa Institute of Hydraulic Research,  
S. U. Io. Iowa City,  
Iowa.

Nombre y Dirección:

ESTADOS UNIDOS

MACAGNO, Matilde  
Iowa Institute of Hydraulic Research  
S. U. Io. Iowa City,  
Iowa.

IGELSRUD, Iver  
National Academy of Sciences,  
U. S. A.

GUATEMALA

TEJADA, Enrique  
12 Av. "A" N° 13-97  
Z - 10,  
Guatemala.

MEXICO

LEVI, Enzo  
Arquitectura 17,  
México 20, D. F.

SANCHEZ, José L.  
Instituto de Ingeniería  
de la UNAM,  
Ciudad Universitaria,  
México 20, D. F.

PARAGUAY

MERCADO, Benjamín  
Ind. Nacional 1085,  
Asunción.

PERU

IBAÑEZ, Carlos  
Julio Tello N° 160,  
Lima.

MAISCH, Ernesto  
San Gabriel 1975  
San Isidro,  
Lima.



Nombre y Dirección:

CHILE

HOUSE, HERMAN  
Universidad Técnica del Estado,  
Avda. Ecuador N° 3469,  
Santiago.

IBÁÑEZ, Fernán  
Laboratorio de Hidráulica,  
Casilla N° 2777,  
Santiago.

JULIET, Fernando  
Facultad de Agronomía,  
Universidad de Chile,  
Casilla N° 1004,  
Santiago.

LENIZ, Patricio  
Facultad de Ingeniería,  
Universidad de Concepción,  
Casilla 53-C,  
Concepción.

LOBO, Eugenio  
Ministerio de Obras Públicas,  
Morandé N° 71,  
Santiago.

LOPEZ, Alejandro  
Laboratorio de Hidráulica  
Casilla N° 2777,  
Santiago.

MEDINA, Guillermo  
Ministerio de Obras Públicas,  
Morandé N° 71,  
Santiago.

MERY, Horacio  
Endesa, Ramón Nieto N° 920,  
Santiago.

MOGUILNY, Georges  
Laboratorio de Puertos,  
Ministerio de Obras Públicas,  
Casilla N° 46  
Peñaflor.

Nombre y Dirección:

MONTES, Sergio  
Laboratorio de Hidráulica,  
Casilla N° 2777  
Santiago.

MUNIZAGA, Enrique  
Los Leones N° 2613  
Santiago.

MUÑOZ, Roberto  
Laboratorio de Hidráulica,  
Casilla N° 2777,  
Santiago.

PELDOZA, Raúl  
Dirección de Obras Portuarias,  
Ministerio de Obras Públicas,  
Morandé N° 71  
Santiago.

RADRIGAN, Sergio  
Facultad de Ciencias Físicas y  
Matemáticas, Universidad  
Católica de Chile,  
Alameda B. O'Higgins N° 340  
Santiago.

RODRIGUEZ, Renato  
Ministerio de Obras Públicas,  
Morandé N° 71,  
Santiago.

RUIZ, Guillermo  
Ministerio de Obras Públicas,  
Morandé N° 71,  
Santiago.

TOLOZA, Juan  
Ministerio de Obras Públicas,  
Morandé N° 71,  
Santiago.

URIBE, Raúl  
Endesa, Ramón Nieto N° 920,  
Santiago.

Nombre y Dirección:

URUGUAY

MAGGIOLO, Oscar J.  
Facultad de Ingeniería y  
Agrimensura,  
Universidad de la República,  
J. Herrera y Reissig 565,  
Montevideo.

Nombre y Dirección:

VENEZUELA

GERSIE, Daniel  
Apartado 122,  
Mérida.

NAVA, Roger  
Ave. 8A N° 67-77,  
Maracaibo.

REPUBLICA DOMINICANA

VALLEJO, Gunther  
Universidad Autónoma de Santo Domingo  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura.  
Ciudad Universitaria,  
Santo Domingo, Rep. Dominicana

DE LEON, Freddy D.  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Universidad Autónoma de Santo Domingo.  
Ciudad Universitaria,  
Santo Domingo, Rep. Dominicana.



## MEMORIAS DE TITULO Y TESIS DE GRADO

Se incluye una lista de las Memorias de Título y Tesis de Grado relacionadas con temas de Ingeniería Hidráulica, terminadas durante el año 1991 en las diferentes Universidades chilenas. Los datos fueron proporcionados por los Departamentos respectivos.

- \*\* Andrade Silva, Juan. (1991). "Interpretación de Pruebas de Bombeo en Pozos Superficiales de Gran Diámetro". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.**
- \*\* Angulo González, Marcela (1991). "Estudio de Recursos Hídricos para uso Urbano en la Cuenca del río Bío-Bío". Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción.**
- \*\* Awad Yazigi, José N. (1991). "Evaluación Económica de una Bocatoma para Aumentar la Generación Media Anual de la Central Alfalfal". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile.**
- \*\* Baechler Rojas, Jorge (1991). "Modelación Conjunta de los Sistemas Superficial y Subterráneo en la cuenca de Santiago". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile.**
- \*\* Bertolotto Neubauer, Claudio. (1991). "Explotación Optima de un Sistema de Aguas Subterráneas". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.**
- \*\* Caro Ramírez, Patricio. (1991). "Factibilidad Técnico-Económica del Mejoramiento de la Zona Servida por la Plantas de Agua Potable Lo Cañas y La Florida". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile.**
- \*\* Castro, L. (1991). "Caracterización Hidráulica de un Sistema de Riego por Goteo mediante Tuberías Perforadas". Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de La Serena.**
- \*\* Cornejo Sobarzo, Mario. (1991). "Aplicación del Método del Gradiente al Análisis de Redes de Distribución de Agua a Presión". Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción.**
- \*\* Ditzel Lacoa, Alejandro J. (1991). "Estudio Comparativo del Costo de Agua Potable para la Forma Circular y Rectangular en Función del Volumen de Regulación". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile.**
- \*\* Domeyko Cruz, Alejandro. (1991). "Transporte Generalizado de Sedimento Uniforme para Flujos Macrorugosos". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile.**



- \*\* Espinoza Contreras, Felipe. (1991). "Análisis y Control del Problema de Inestabilidad en Modelos Numéricos de Transporte en Aguas Subterráneas". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile.**
- \*\* Fehrmann Herrgutt, Ernesto. (1991). "Estudio de Factibilidad Técnico-Económica de un Embalse de Relaves en la Planta de El Salado". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile.**
- \*\* Flores, M. (1991). "Estimación de Caudales no Medidos, usando los Conceptos de Arbol y Co-Arbol, para la Calibración de Modelos de Redes de Agua Potable". Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de La Serena.**
- \*\* Gálvez Soto, Nicolás. (1991). "Estudio de Factibilidad para el Control Sanitario del Agua Potable Rural en Chile". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile.**
- \*\* González Gerhards, Rafael. (1991). "Diseño de una Planta de Lodos Activados de Tipo Experimental". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile.**
- \*\* González Infante, Patricio. (1991). "Simulación Numérica de la Intrusión Salina en Acuíferos Costeros". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.**
- \*\* Griño Jerez, Lizette. (1991). "Estudio del Desarrollo de la Pluma en Descarga de Efluente Industrial". Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción.**
- \*\* Jeretic Valenzuela, Ivo A. (1991). "Asignación de los Recursos de Riego en Parronales de Exportación en Condiciones de Sequía". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile.**
- \*\* Lagos del Río, Alejandro. (1991). "Análisis Experimental y Matemático del Comportamiento de Acuíferos Libres, Considerando la Interfase Agua Dulce - Agua Salada". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.**
- \*\* Leighton González, Enrique. (1991). "Análisis y Evaluación de la Precipitación en la Hoya Hidrográfica del río Bío-Bío. I.II. Anexos". Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción.**
- \*\* Mansilla, R. (1991). "Caracterización Hidráulica de un Sistema de Riego por Aspersión (microjet)". Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de La Serena.**
- \*\* Márquez Blanc, Francisco. (1991). "Pronóstico de Caudales de Crecidas en Tiempo Real Aplicado a la Cuenca Alta del Mapocho". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile.**



- \*\* Moles Scelsi, Claudio. (1991). "Diseño de Lagunas de Estabilización con Aprovechamiento de Cultivos Masivos de Algas, Manejadas en Serie, Optimizando el Tiempo de Retención". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile.**
- \*\* Montero Ayala, Juan Pablo. (1991). "Modelo de Transporte de Solute para la Lixiviación de Cobre en Columnas de Relave". Tesis para optar al Grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.**
- \*\* Montoya Stringfellow, Fernando. (1991). "Tratamiento y Control de los Contaminantes Líquidos producidos por la Minería del Cobre". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile.**
- \*\* Moyano Rozas, Juan C. (1991). "Simulación Matemática del Contenido de Deuterio y Oxígeno 18 en la Precipitación". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.**
- \*\* Neimann Figari, Jorge. (1991). "Aplicación de un Modelo de Programación Matemática en la optimización de Corto Plazo de un Sistema de Agua Potable Complejo". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.**
- \*\* Olguín Jil, Eduardo. (1991). "Estudio Teórico-Experimental de la Eficiencia Orgánica de una Laguna de Estabilización respecto a la Biomasa". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.**
- \*\* Paredes Vásquez, Orlando. (1991). "Análisis Morfológico en Hoyas Hidrográficas Pequeñas Aplicado a la Región del Bío-Bío". Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción.**
- \*\* Pérez López, René. (1991). "Estudio de Recursos Hídricos sector alto Hoya río Blanco, Abastecimiento y Drenaje". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile.**
- \*\* Prato Román, Gertrudis (1991). "Estudio de la Factibilidad de Utilización del Embalse El Toro, en el abastecimiento de A.P. para Vallenar". Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción.**
- \*\* Purcell Mena, Jose (1991). "Estudio de un Estanque Circular para Separar Partículas". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica de Chile**
- \*\* Raiqueo Vaccaro, Fernando. (1991). "Método Numérico de Cálculo del Flujo Secundario y Tensiones de Corte en Canalizaciones Abiertas". Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción.**



- \*\* Ramos Grez, Bernardita. (1991). "Estudio de Factibilidad del Proyecto Balneario Quintay. Agua Potable ". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile.**
- \*\* Richasse Ortúzar, José. (1991). "Estudio de Prefactibilidad de Construcción de Puentes Flotantes en Chile". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.**
- \*\* Rogers Mac-Lean, Tomás. (1991). "Instalación, Puesta en Marcha y Evaluación de Planta Compacta para Tratamiento de Aguas Servidas mediante Lodos Activados". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile.**
- \*\* Rozas Poblete, Juan C. (1991). "Proyecto de Estación Fluviométrica y Sedimentológica en el río Bío-Bío. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción.**
- \*\* Salinas Pérez, Jaime. (1991). "Optimización de Lagunas de Estabilización con el Aprovechamiento masivo de Algas en un Modelo de Lagunas Concéntricas". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile.**
- \*\* Silva González, Manuel. (1991) "Diseño de la Instrumentación para Realizar Balance Hídrico en Cuencas Pilotos". Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción.**
- \*\* Spichiger Blumel, Eddie. (1991). "Anteproyecto Embalse de Relaves Los Leones 2". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile.**
- \*\* Toro Ruiz, Roberto. (1991). "Situación Actual y Necesidades Futuras del Saneamiento Rural de la IV Región". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Depto. Ingeniería Civil, Universidad de Chile.**
- \*\* Torrejón Tobosque, Anibal. (1991). "Desarrollo de un Programa Computacional para la Simulación del Estado no Estacionario en Lagunas de Estabilización". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.**
- \*\* Vernal, E. (1991). "Análisis de Flujo Transiente Rápido en Redes de Agua a Presión, mediante un Método de Diferencias Finitas. Esquema Implícito". Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil . Universidad de La Serena.**
- \*\* Zepeda M.S. y Rojo, J. (1991). "Extensión del Método del Gradiente para incluir la Variación de los Consumos Nodales con la Presión en Redes de Agua Potable y de Regadío". Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de La Serena.**
- \*\* Zuñiga, H. (1991). "Caracterización Hidráulica del Sistema de Riego por Vasijas Cerámicas". Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil . Universidad de La Serena.**



## NORMAS PARA LA PRESENTACION DE COLABORACIONES

Las colaboraciones, original y una copia, se ceñirán a las siguientes pautas :

- Mecanografiar a espacio simple con cinta negra de buena calidad. Utilizar hoja de papel blanco tamaño carta (27,5 x 21,5 cm) escrita por un solo lado.
- El texto se enmarcará en un formato que deje 2,5 cm arriba y abajo y 3 cm a los lados.
- El tamaño mínimo de letras debe ser 2 mm.
- Las referencias bibliográficas en el texto se refieren con el apellido de los autores, señalando entre paréntesis el año de la publicación. Si los autores son más de tres, se indicará sólo el primero seguido de et al.
- Al final del artículo deberá incluirse una lista de referencias bibliográficas ordenadas alfabéticamente señalando: autor(es), año, título del trabajo o publicación, revista, institución o editorial, volumen, número y páginas.
- Las ecuaciones en el texto deberán numerarse correlativamente, al costado derecho de la línea donde aparecen.
- En la primera página del artículo se incluirá : título, autor (es) y posición actual. Al pie de la página se indicará una dirección para correspondencia.
- Se recomienda que la extensión de las colaboraciones no exceda de 15 páginas, incluyendo tablas y gráficos.
- Las colaboraciones deben ser enviadas o entregadas personalmente a cualquiera de los miembros del Comité Editor :
  - \*Alberto Sepúlveda, Santa Rosa # 76, INGENDESA.
  - \*Alejandro López, Casilla 228/3, Universidad de Chile.
  - \*Bonifacio Fernández, Casilla 306, Universidad Católica de Chile.
  - \*Guillermo Cabrera, Pte. J.A. Ríos 58, Piso 3, Santiago.

