

CENTRAL PEHUENCHE:

FACULTAD PARTICIPA EN PROYECTO DE GRAN IMPORTANCIA ENERGETICA

Dentro del programa de construcción de centrales generadoras de energía eléctrica en Chile, que se desarrolla de acuerdo con los estudios técnicos y con los criterios de decisión establecidos por los organismos encargados de la materia, la Central Pehuenche es la más próxima a ser incluida en el programa. En la elaboración de los proyectos se encuentran trabajando en estos momentos la Empresa Nacional de Electricidad, ENDESA, y empresas consultoras de ingeniería nacionales y extranjeras. El plan inicial contempla la puesta en servicio de esta central en 1987. Sin embargo, el proyecto Colbún, actualmente en construcción, y el proyecto Pehuenche, en estudio, pueden ver intercalado otro, adicional, de una planta termoeléctrica, de acuerdo con las necesidades del país en materia de energía. Para que nos explicara detalles y aspectos importantes del proyecto, conversamos con el Ingeniero Civil Carlos Andreani, Jefe del Proyecto Pehuenche, en ENDESA.

Profundizando en el punto de la fecha de puesta en servicio de la Central Pehuenche, el Ingeniero Andreani destacó que hay consideraciones de orden financiero para tomar estas decisiones, por ejemplo, el aprovechamiento de otros recursos energéticos existentes en el país, como el carbón.

Por ello, 1987 se considerará como la fecha más temprana que debe confirmarse por una decisión de alto nivel que adoptará la Comisión Nacional de Energía en las próximas semanas.

Consultado sobre la importancia social que el proyecto reviste, destacó Carlos Andreani, que ésta se manifiesta en el alto nivel de mano de obra que implica su construcción. Tanto a nivel calificado como sin calificar, el proyecto ocupará alrededor de 3.000 personas, de las cuales unos 500 son técnicos y profesionales. Adicionalmente, hay que considerar el beneficio que la zona o región obtiene con el mejoramiento de las vías de acceso. En el caso de Pehuenche, se construirán alrededor de 40 kilómetros de caminos y dos grandes puentes, sobre los ríos Maule y Melado.

Respecto al financiamiento de las obras, indicó que será analizado una vez que la Comisión Nacional de Energía defina la prioridad del Proyecto Pehuenche y cuando diga en qué momento entra la central en servicio. Sólo entonces se hace la programación exacta para terminar de definir los costos en forma precisa y proceder al análisis financiero. Los recursos necesarios para una obra de esta envergadura llegan a los 600 millones de dólares y provienen de diversas fuentes, entre ellas: créditos de los fabricantes de equipos; créditos

NOTICIAS

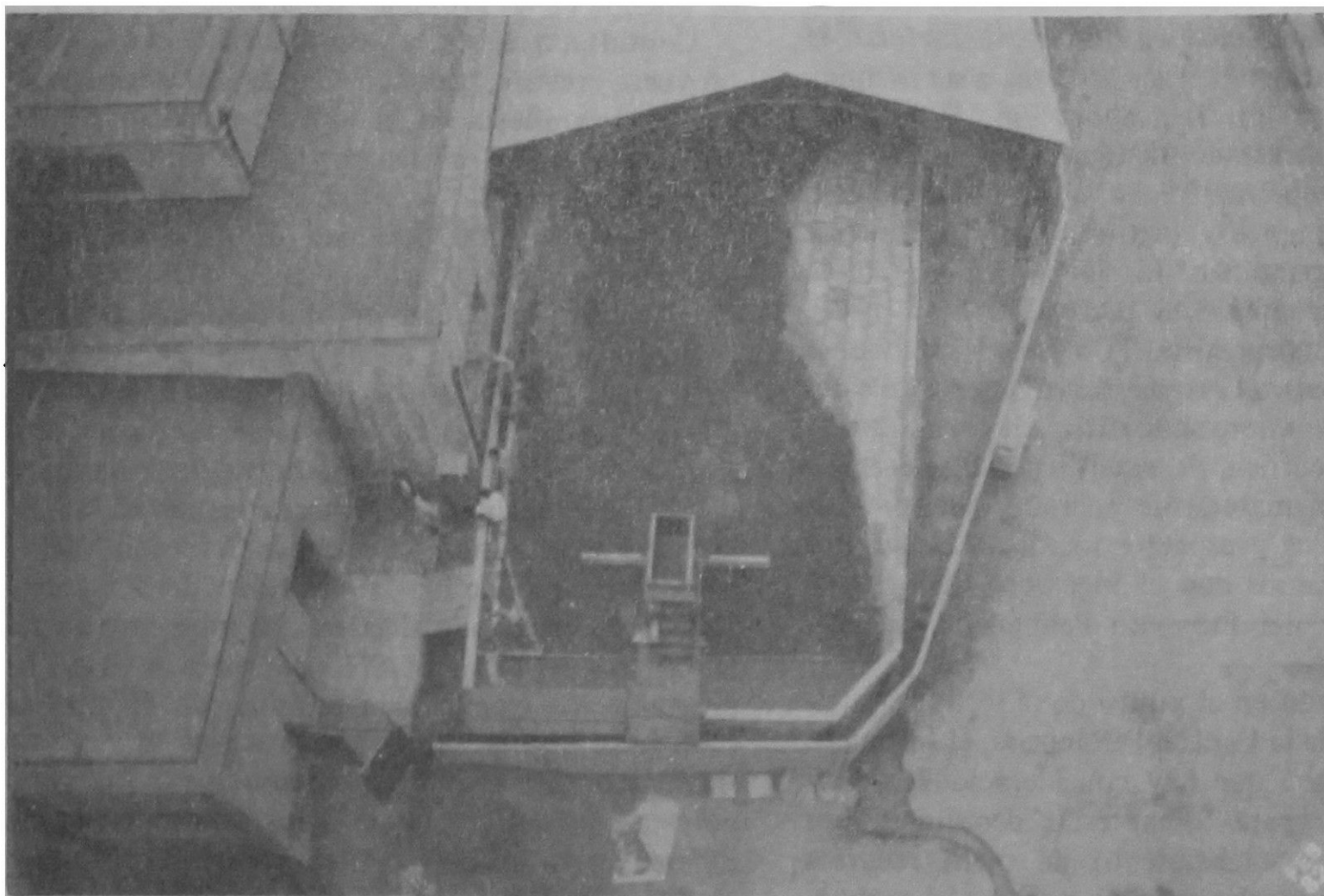
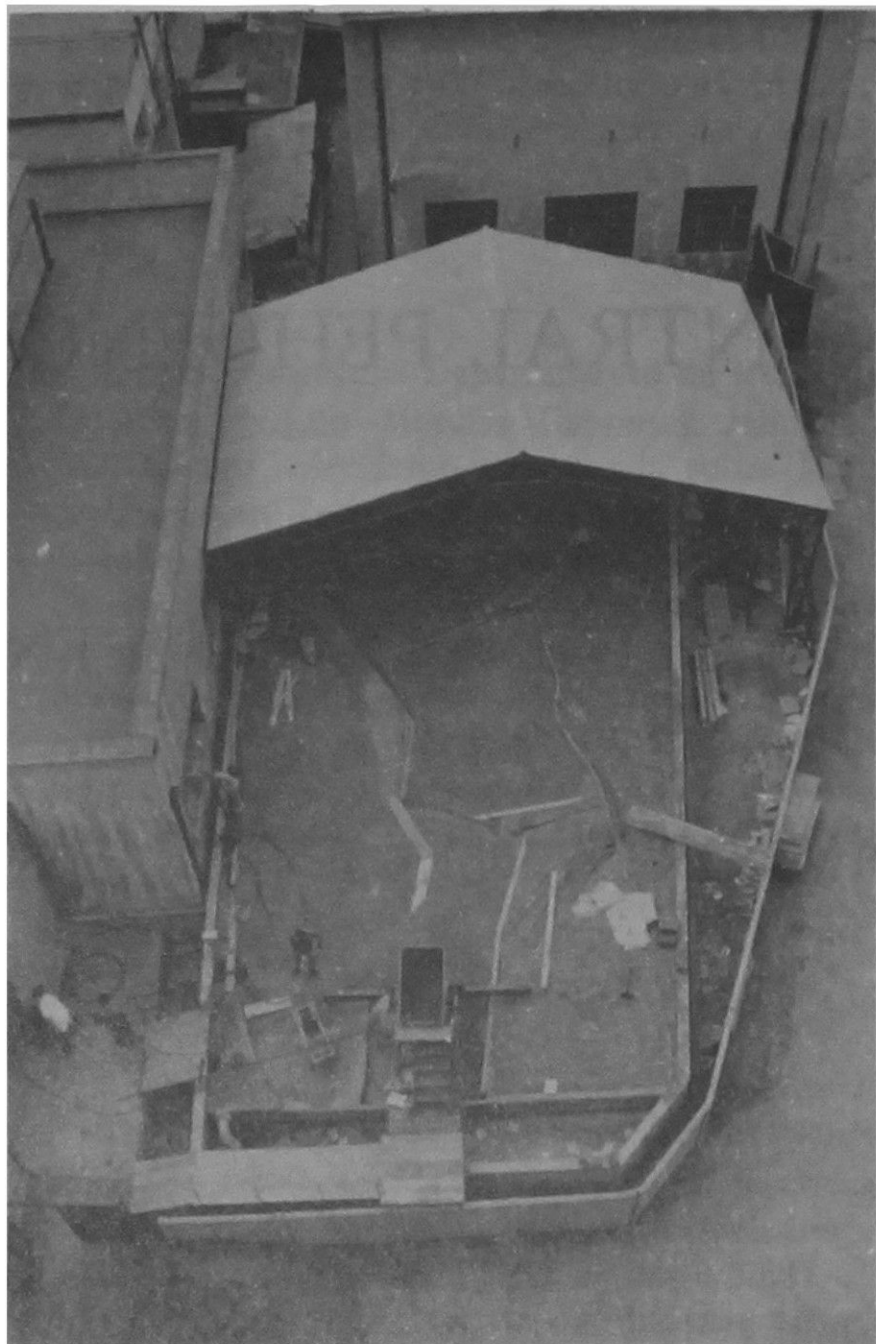
Vista panorámica del modelo en la etapa de reproducción del lecho del río Maule.

obtenidos por los contratistas de construcción de la obra, aportes de la propia Endesa y otros recursos financieros que se consideren atractivos en el momento de utilizarlos.

Destacó el Ing. Andreani que la cristalización de un proyecto de la envergadura de Pehuenche, y de cualquier central hidroeléctrica similar, toma un largo período de tiempo, ya que, por años, el proyecto va adquiriendo forma lentamente.

El punto de partida es la prospección y evaluación de recursos hidroeléctricos que realizan los ingenieros de ENDESA en forma sistemática, analizando cuenca por cuenca todas las regiones y zonas del país. En esa evaluación preliminar se van definiendo los proyectos de mayor interés. Cuando están seleccionados los recursos más interesantes desde el punto de vista de magnitud, costo, ubicación, geología, etc., se pasa a la etapa del estudio de factibilidad, en la cual, con un mayor grado de detalle y luego de cuantio-

El modelo en la etapa inicial de calibración del lecho del río.



CENTRAL PEHUENCHE

Los gastos en prospecciones de terreno, un equipo de profesionales de ENDESA define, ya con bastante detalle, cada una de las obras que componen el proyecto; se determinan los costos y la evaluación económica que establece la rentabilidad del proyecto.

En esa etapa hay siempre varios proyectos que compiten entre sí en la selección económica que realiza ENDESA y que tiene por resultado el paso de una obra, como Pehuenche, de su fase de factibilidad a su etapa de proyecto básico.

En esta etapa se establece en definitiva la concepción general del proyecto, se estudia el dimensionamiento de las obras y se preparan los documentos necesarios para las licitaciones de construcción y suministro de equipos. En esta labor participan generalmente firmas consultoras de ingeniería, nacionales y extranjeras, con quienes ENDESA contrata el total o parte de los estudios. Finalmente, se inicia el proyecto de detalle que consiste en preparar los planos para la ejecución de las obras. Un proyecto como Pehuenche puede demorar de 4 a 5 años desde la etapa de factibilidad a la de proyecto de detalle.

DESCRIPCION DEL PROYECTO

La Central Pehuenche estará ubicada en la hoya del río Maule, en la zona central del país, a unos 250 kilómetros al sur de Santiago. Aprovechará gran parte del potencial hidroeléctrico de la cuenca superior del río Maule existente entre la descarga de la central Isla, ya en operación, y la cota máxima del embalse Colbún, actualmente en construcción.

Su potencia instalada será de 470 megawatts, con una producción anual de 2.615 millones de kilowatt-hora, utilizando una altura de caída media de 180 m. y un caudal promedio de 185 metros cúbicos por segundo.

La concepción de este proyecto incluye trasvasar las aguas del río Maule al valle del río Melado donde se construirá un embalse con una capacidad de regulación de 35 millones de m³. Desde el embalse se desarrollará una aducción hasta la zona de caída donde se ubicará la central de generación y una planta de bombeo que restituirá al sistema de regadío una pequeña proporción de los caudales utilizados.

La captación del río Maule se realizará mediante una bocatoma superficial ubicada unos 5 kms. aguas abajo de la confluencia de éste con el río Colorado, con capacidad para captar hasta 140 metros cúbicos por segundo.



Mediciones de cota de la obras. Barrera Móvil.

Mediante un canal de 1.470 m. de longitud seguido de un túnel de 6.200 m. de largo, se llevarán las aguas captadas hasta el embalse Melado, donde se suman a las propias de este río.

El embalse Melado se creará mediante la construcción de una presa de tierra de 90 m. de altura, ubicada aproximadamente a 5 kms. aguas arriba de la confluencia de los ríos Maule y Melado.

Las aguas para la central Pehuenche se captarán del embalse antes mencionado y se conducirán mediante un túnel de 7.050 m. de longitud y 300 m³/s. de capacidad hasta la zona de caída, que se localizará en la ribera sur del río Maule, unos 2,8 kms. aguas arriba del extremo final del embalse Colbún. Las obras de la caída serán todas subterráneas e incluyen una chimenea de equilibrio de cámara vertical y orificio restringido, piques de presión, cámara de válvulas, tuberías de presión y casa de máquinas. En esta última

NOTICIAS

estructura se ubicarán dos unidades de generación con sus correspondientes transformadores de poder y equipos auxiliares de protección, control y medida. Desde el término de los difusores se desarrollará el túnel de evacuación, que pasará posteriormente a un canal que entregará los caudales ya utilizados al río Maule.

Adicionalmente, desde el canal de evacuación se desarrollará un sifón que alimentará a dos plantas de bombeo que restituirán a los canales Maule Norte Alto y Maule Norte Bajo respectivamente, las demandas de regadío por ellos requeridas.

El costo total de las obras descritas ascendería a unos 605 millones de dólares, en moneda de mediados de 1981. De este total, 169 millones serían en moneda extranjera y 436 millones en el equivalente en moneda nacional. Estas cifras no

incluyen los gastos financieros del período de construcción.

De acuerdo con el Plan de Obras de ENDESA, la Central Pehuenche debería entrar en servicio después de 1987, para lo cual se está realizando actualmente el proyecto básico. Así, el proyecto del Embalse Melado, contratado por ENDESA con un consorcio formado por las firmas consultoras de ingeniería MN-Ingenieros de Chile, y Harza Engineering Co. de Chicago, EE.UU., quedará listo este año y otras partes del proyecto entrarán en estudio próximamente, de manera que en 1983 se pueda iniciar la construcción de las vías de acceso e instalaciones generales.

EL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y EL PROYECTO PEHUENCHE

En la elaboración del proyecto básico de la Central Pehuenche, el Departamento de Ingeniería Civil de nuestra Facultad desarrolla un importante papel a través de su Centro de Recursos Hidráulicos. Esta unidad ganó el contrato para construir el modelo y evaluar en un estudio de laboratorio el diseño hidráulico de la Bocatoma Maule de la Central Pehuenche.

Una parte importante dentro del proyecto de obras hidráulicas la constituyen los modelos a escala, a través de los cuales se definen con exactitud muchas características de las estructuras y mecanismos que forman parte de las obras. La construcción de un modelo a escala reducida permite verificar el funcionamiento de la obra proyectada y corregirla o mejorarla antes de construirla realmente, cosa que significa una economía considerable en obras de gran envergadura, como la que comentamos ahora.

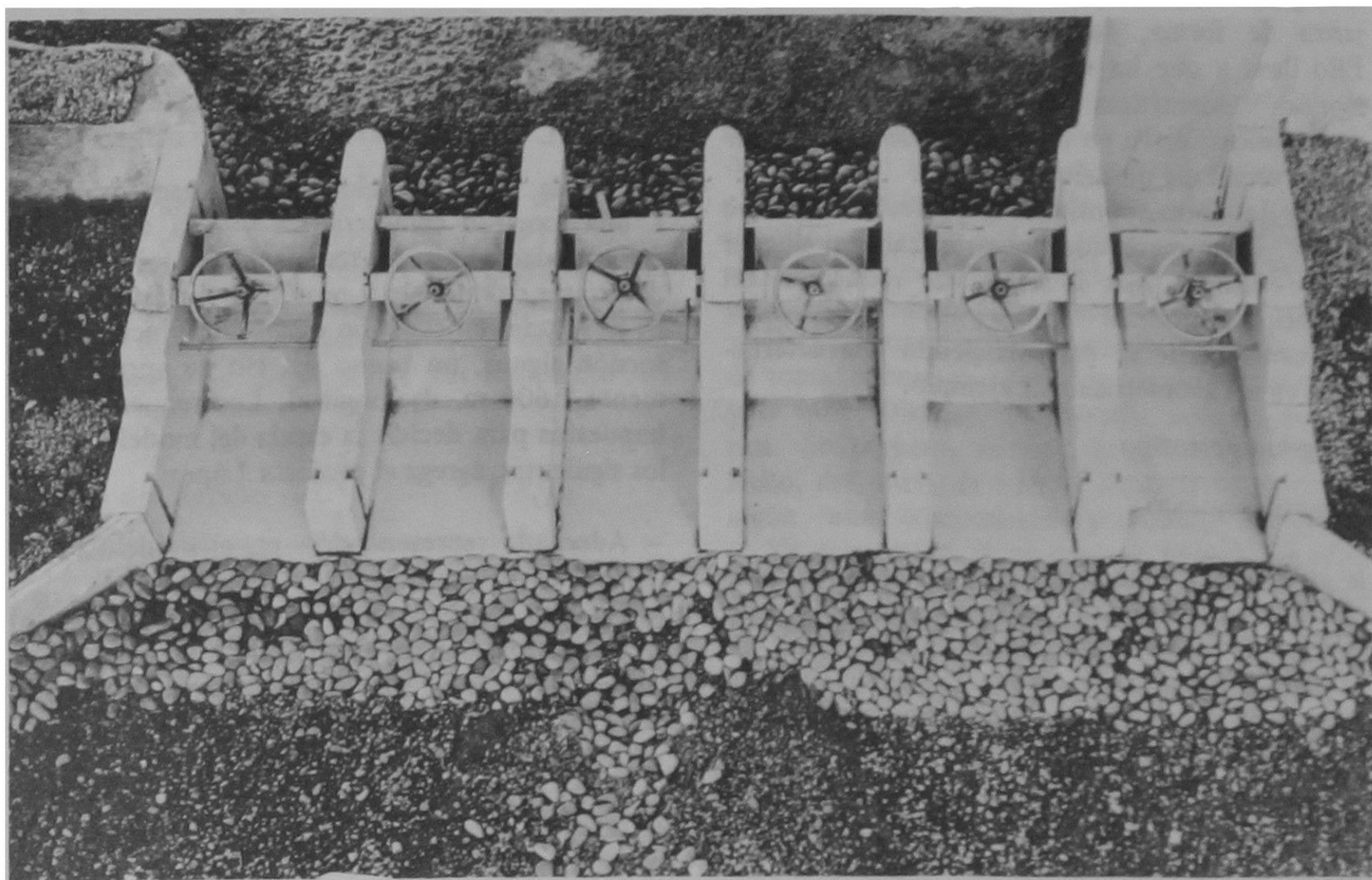
En general, como ENDESA no tiene laboratorios especiales para realizar todos los estudios que necesita cada proyecto, generalmente los estudios en modelo los confía a instituciones especializadas en el tema, mediante un llamado a propuestas por invitación. En el país, los principales laboratorios existentes, aparte del de nuestra Facultad, son el del Instituto Nacional de Hidráulica y el de la Universidad Católica.

El modelo que pasamos a comentar fue adjudicado al Centro de Recursos Hidráulicos, luego

Canal de aducción y Barrera Móvil.



CENTRAL PEHUENCHE



Estado del enrocado de protección al término de una experiencia que simuló la evacuación de un caudal aproximado de 55 metros cúbicos por segundo, por la compuerta central abierta de 50 cm.

de la selección técnica y económica que realizó ENDESA de las propuestas presentadas.

Para el Proyecto Pehuenche hay en ejecución en este momento dos estudios en modelo: el de la Bocatoma Maule que realiza nuestro Centro de Recursos Hidráulicos y el de las Obras de Desviación y Evacuación de Crecidas de la Presa Melado, que se realiza en el Instituto Tecnológico de Georgia, EE, UU.

MODELO DE LA BOCATOMA MAULE DE LA CENTRAL PEHUENCHE

Con el fin de conocer el trabajo del Centro de Recursos Hidráulicos de la Universidad de Chile en la elaboración del citado modelo, conversamos con el ingeniero Alejandro López, académico del Centro de Recursos Hidráulicos y jefe del Proyecto Modelo Pehuenche, quien nos explicó que el estudio solicitado por ENDESA tiene como objetivo el diseño, construcción, calibración y operación del modelo con el fin de analizar y definir el comportamiento hidráulico de las obras

de toma, incluyendo la barrera móvil, y resolver problemas sedimentológicos, tales como: incorporación de sedimentos a las obras de aducción, adecuado funcionamiento y operación de las obras de desripiación y estudio de la socavación del lecho al pie de las estructuras proyectadas. Se trata, dijo, por lo tanto, de un modelo con fondo móvil, cuyo diseño debe ofrecer la posibilidad de efectuar modificaciones, principalmente en las obras, en corto tiempo y bajo costo.

Diseño del Modelo

Respecto al diseño del modelo, el profesor López señaló que un modelo físico permite estudiar bajo condiciones controladas, obras o dispositivos cuyo estudio analítico es complejo. Permite, además, verificar el funcionamiento de dispositivos diseñados teóricamente. Para que de los resultados obtenidos en un modelo puedan obtenerse conclusiones que sean aplicables al correspondiente prototipo, es necesario que entre modelo y prototipo se cumplan condiciones de

NOTICIAS

semejanza dinámica, vale decir, que exista semejanza de forma, de movimiento y de fuerzas. Ello lleva a que las variables geométricas (dimensiones), cinemáticas (por ejemplo, velocidad) y dinámicas, estén en una cierta relación denominada "escala del modelo".

Por lo tanto, continuó el profesor Alejandro López, lo primero que debe realizarse al diseñar un modelo es fijar la escala de reducción del prototipo al modelo.

Normalmente se parte eligiendo una determinada escala geométrica, por ejemplo,

$$\frac{\text{Longitud prototipo}}{\text{Longitud modelo}} = 100$$

la cual queda condicionada por razones de espacio, experiencia, etc. A partir de ella se determinan las correspondientes escala cinemáticas y dinámicas, teniendo en cuenta la condición dinámica que imponen las fuerzas preponderantes en el fenómeno en estudio.

En este caso, explica, la semejanza dinámica queda dada por la relación entre las fuerzas de

inercia y las gravitacionales, representadas por el llamado número de Froude

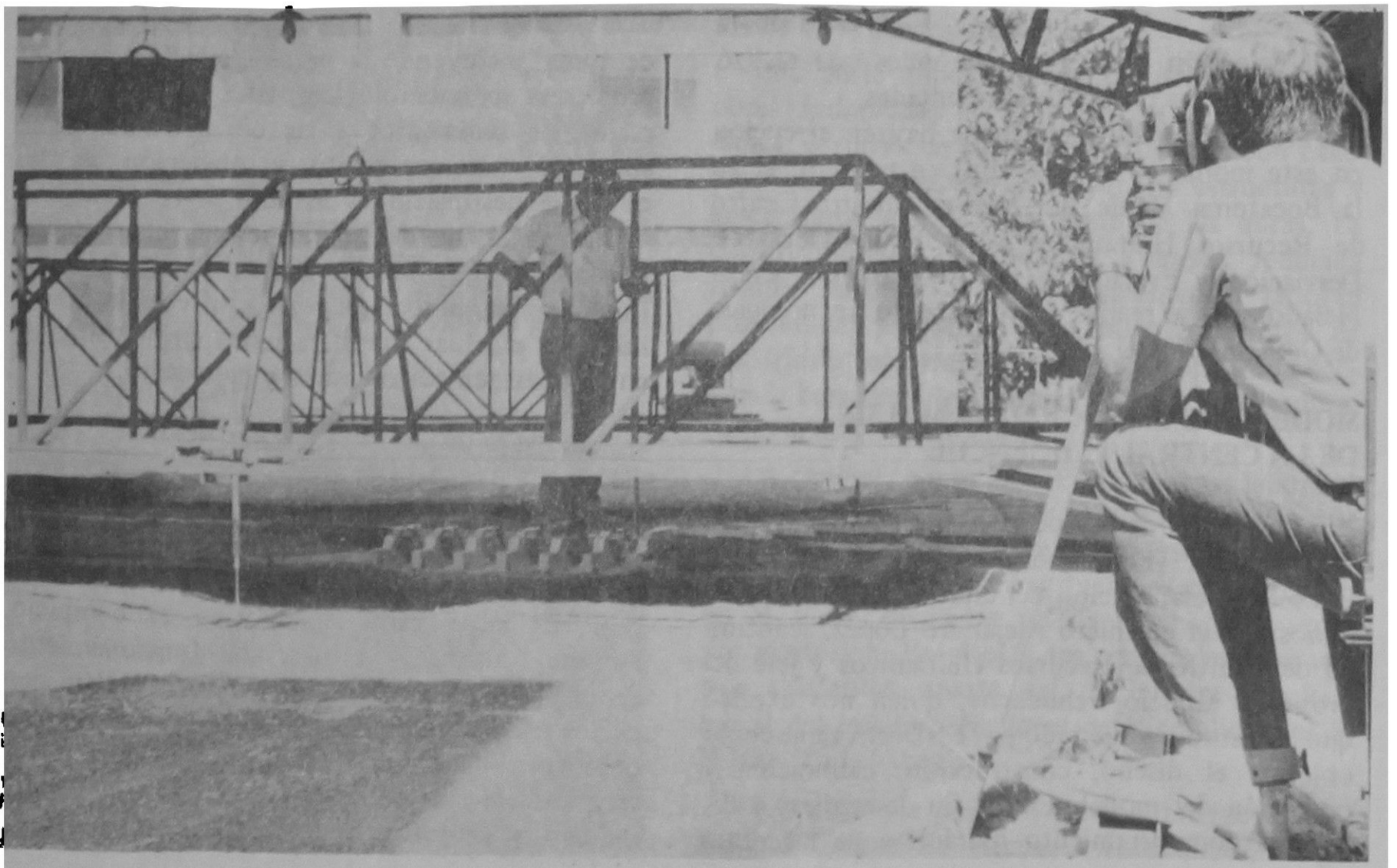
$$F = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

en donde V es la velocidad del escurrimiento, L una longitud característica y g la aceleración de gravedad. Existirá semejanza si los números de Froude del modelo y prototipo son iguales.

El estudio en cuestión exige reproducir sin distorsión alguna, un tramo del río de aproximadamente 1.600 m. de longitud. Los requerimientos impuestos para decidir la escala del modelo fueron los siguientes, agrega el profesor López.

- Adecuada representación en el modelo de niveles de turbulencia.
- Número de Reynolds de las partículas (Re) compatible con superficies hidrodinamicamente rugosas y con los fenómenos de transporte sólido a reproducir en el modelo.
- Adecuada representación de la curva granulométrica del sedimento que constituye el lecho del río.

Mediciones de la topografía del lecho del río.



CENTRAL PEHUENCHE

- Adecuada reproducción de caudales máximos y niveles de agua.
- Disponibilidad de espacio físico del laboratorio del Centro de Recursos Hidráulicos.

Efectuados los análisis pertinentes, se resolvió elegir una escala geométrica de 1:65. Las características del modelo son las siguientes: modelo con fondo móvil sin distorsión, en semejanza de Froude: Escala de longitudes: 1:65 (esta escala fija también las dimensiones del sedimento del lecho).

| | | | |
|-------------------------|-------------------|---|------------|
| Escala de Tiempo | $L^{\frac{1}{2}}$ | : | 1:8,06 |
| Escala de Velocidad | $L^{\frac{1}{2}}$ | : | 1:8,06 |
| Escala de Aceleraciones | | : | 1:1 |
| Escala de Caudales | $L^{\frac{5}{2}}$ | : | 1:34063,04 |
| Escala de Fuerzas | L^3 | : | 1:274.625 |

Se ha considerado que la densidad del fluido y de los sedimentos son los mismos en prototipo y modelo.

Construcción de modelo

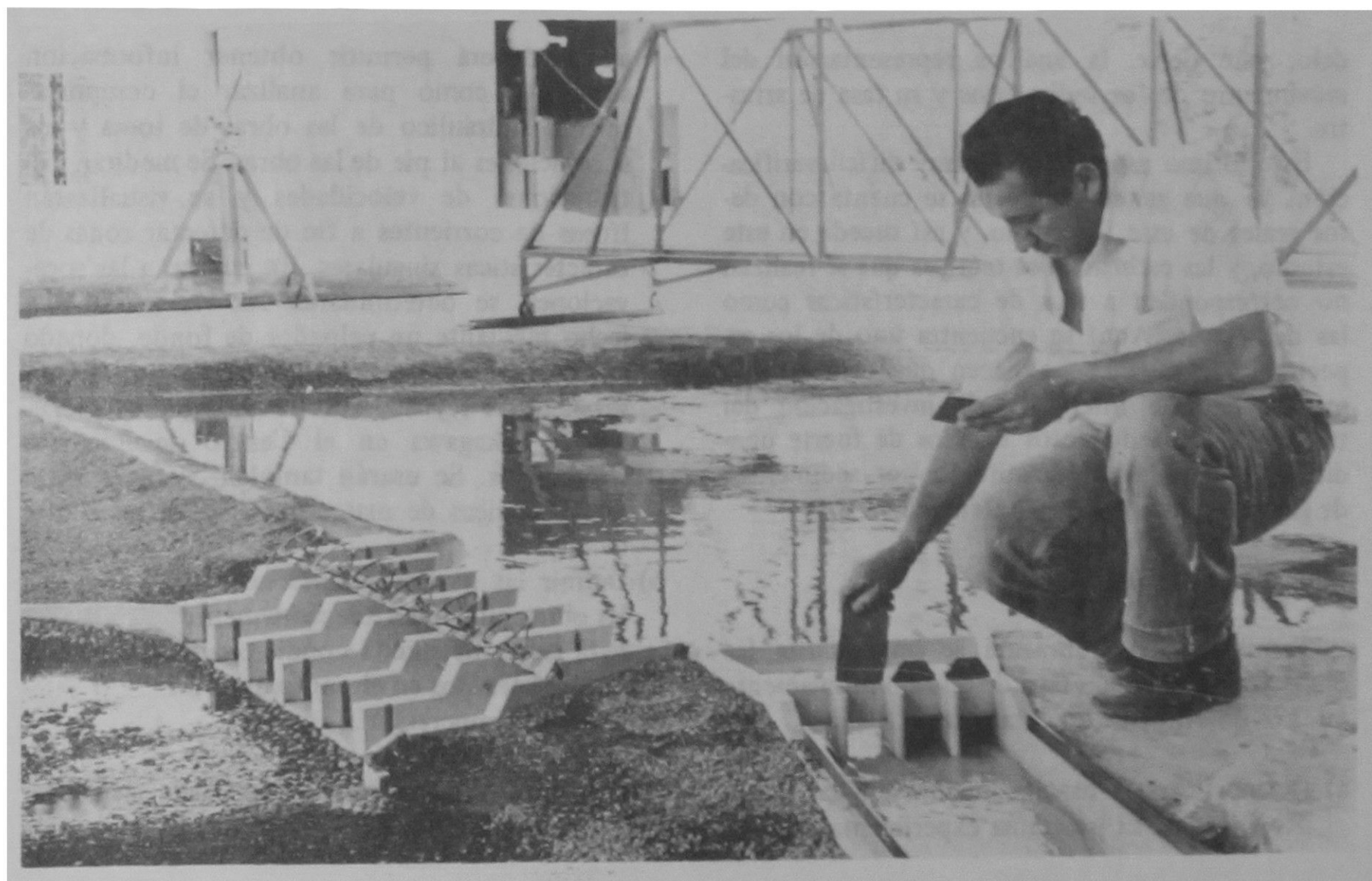
Una vez diseñado el modelo de acuerdo a la escala elegida, se procedió a la materialización del proyecto en el terreno, continuó explicando el profesor López. Para ello fue preciso elaborar un plan de trabajo que permitiera tener el modelo en operación en el tiempo de 107 días calendario, plazo estipulado en el contrato.

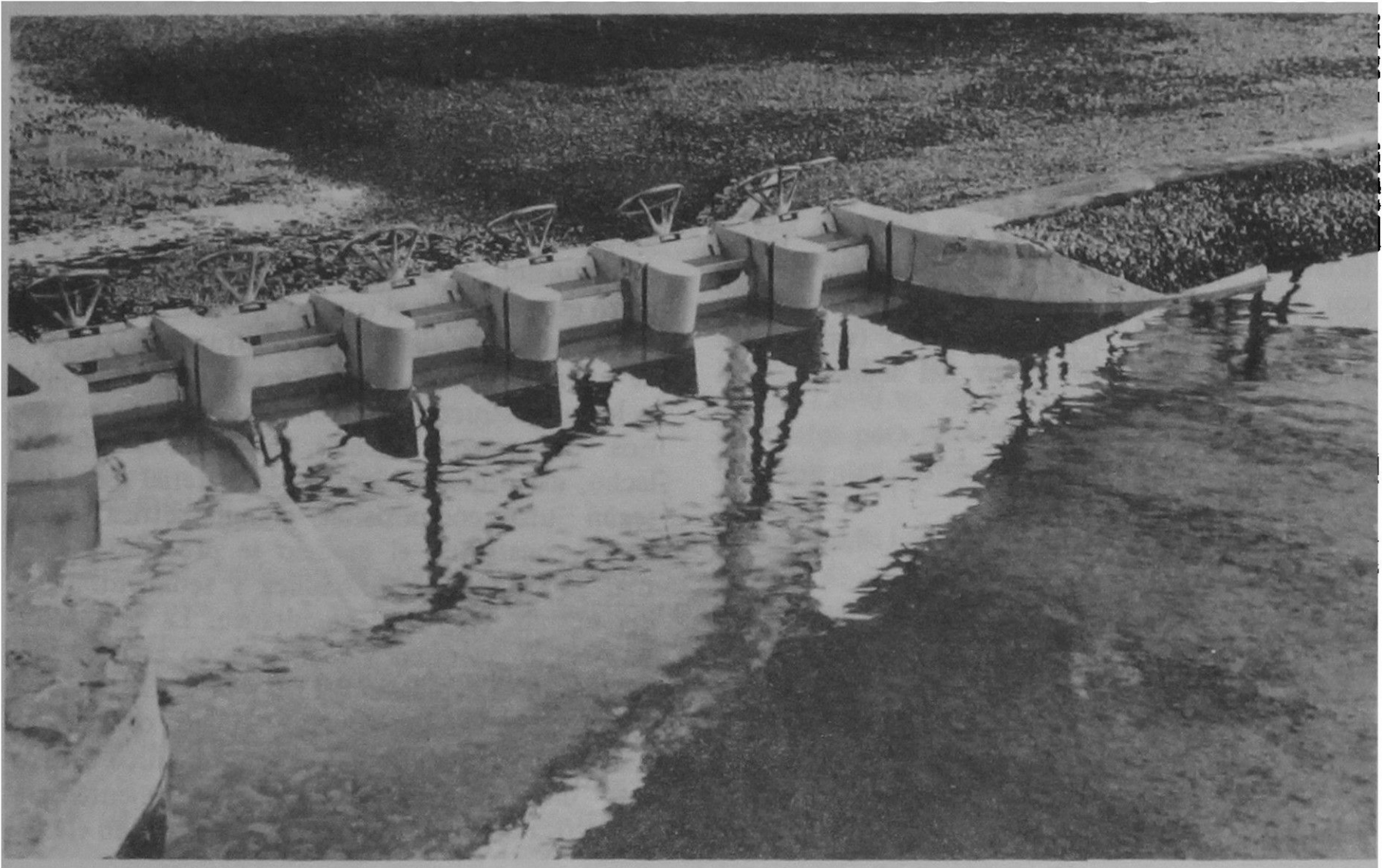
Durante este tiempo se construyeron las obras de toma, la barrera móvil, los canales de aducción y la infraestructura del modelo, con sus accesorios. Se preparó, además, la granulometría del lecho, del orden de 36 m³. de material mezclado según una composición granulométrica dada.

Ya construido el modelo se procedió a efectuar la calibración hidráulica y sedimentológica del mismo, en forma simultánea. La calibración se efectuó sin obras y manteniendo el lecho móvil en toda la extensión del río reproducida.

La calibración hidráulica, indicó, consiste en verificar la reproducción del eje hidráulico del río para distintos caudales. En la sedimentología se verifica el equilibrio dinámico del río en el mo-

Operando compuertas del Canal de Aducción.





Vista de las compuertas de la Barrera Móvil.

delo, vale decir, la análoga representación del movimiento de los sedimentos y su tasa de arrastre.

Este último aspecto es de muy difícil verificación, ya que generalmente no se cuenta con datos reales de este fenómeno, y así sucede en este estudio, y las estimaciones teóricas que se realizan no corresponden a ríos de características como las del Maule. Aquí se encuentra uno de los aspectos a investigar que hacen que este estudio sea de enorme interés en la investigación del transporte de sedimentos en ríos de fuerte pendiente y con lecho constituido por sedimentos de granulometría gruesa y extendida.

Etapas de operación

Terminada la calibración se implantaron las obras y, comenzó la etapa de estudio propiamente tal. Los objetivos de esta etapa son:

a) Diagnosticar el funcionamiento de las obras proyectadas. El programa experimental en esta

etapa deberá permitir obtener información suficiente como para analizar el comportamiento hidráulico de las obras de toma y las socavaciones al pie de las obras. Se medirán distribuciones de velocidades y se visualizarán líneas de corrientes a fin de detectar zonas de características singulares. En cuanto a las socavaciones, se determinarán las variaciones del lecho mediante un palpador de fondo, donado al Centro de Recursos Hidráulicos por la Universidad de Kyoto, durante la estadía del Dr. Kiroji Nakagawa en el Centro de Recursos Hidráulicos. Se usarán también, si fuera necesario, técnicas de materialización de las curvas de nivel.

- b) Definir las modificaciones necesarias para que las obras funcionen adecuadamente. Esta subetapa queda condicionada a los resultados obtenidos en el punto anterior.
- c) Análisis de operación.

Esta última parte está determinada a analizar las condiciones de operación de la bocatoma

CENTRAL PEHUENCHE

durante las crecidas, considerando el arrastre sólido del río Maule. El plan experimental deberá permitir obtener información relativa a dos aspectos básicos: uno es definir la operación más favorable de las compuertas de la barrera móvil y del vano desripiador, a fin de que los problemas erosivos producidos por el arrastre sean mínimos. El otro tiene relación con el acarreo de sedimentos agua arriba de la barrera y la incorporación, de sólidos a la toma.

Al término de esta etapa, concluye el profesor López, se emitirá un informe final con las conclusiones y recomendaciones pertinentes. El plazo total es de 260 días calendario.

El siguiente cuadro indica la relación entre modelo y prototipo, tras elaborarse la correspondiente escala del modelo.

| | Prototipo | Modelo |
|---|--------------------------|-----------|
| Longitud zona a modelar | 1.600 m | 24,62 m |
| Ancho medio del cauce del río | 90 m | 1,82 m |
| Altura media de escurrimiento | 3,50 m | 0,054 m |
| Caudal máximo a simular | 1.500 m ³ /s. | 44,0 lt/s |
| Caudal mínimo a simular | 120 m ³ /s. | 3,5 lt/s |
| Diámetro mayor de partículas del lecho en el módulo | 68,2 cm | 10,5 mm |
| Diámetro menor de partículas del lecho en el modelo | 2,28 cm | 0,35 mm |

Es necesario señalar, como conclusión, que se trata de un trabajo interesantísimo, de gran importancia teórica y práctica, que sirve para poner de relieve el excelente nivel y preparación de la Facultad en esta área.

