

NACIONES UNIDAS

CONSEJO
ECONOMICO
Y SOCIAL



LIMITADO

ST/ECLA/CONF.7/L.3.4
28 de diciembre de 1960

ORIGINAL: ESPAÑOL

CATALOGADO

SEMINARIO LATINOAMERICANO SOBRE ENERGIA ELECTRICA

Auspiciado por la Comisión Económica para América Latina, la Dirección de Operaciones de Asistencia Técnica y la Subdirección de Recursos y Economía de los Transportes de las Naciones Unidas, conjuntamente con el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos

México, 31 de julio a 12 de agosto de 1961

USO DE MODELOS HIDRAULICOS EN PROYECTOS
HIDROELECTRICOS EN CHILE

por

Alberto Bennett L. y Horacio Mery M.,
con la colaboración de Roberto Muñoz

NOTA: Este texto será revisado editorialmente

INDICE

	<u>Páginas</u>
1. Generalidades	1
2. Breve descripción de los principales modelos realizados por la ENDESA	2
a) Modelos de estructuras hidráulicas de fondo fijo en estado de anteproyecto	3
i) Modelo de una obra de disipación de energía de chorros de alta velocidad - Proyecto central Lago Laja	3
ii) Modelos de los piques de bocatoma de la central Lago Laja	3
iii) Diseño del orificio restringido de la chimenea de equilibrio de la central Isla	4
iv) Dos modelos para precisar diseños de sifones evacuadores	5
v) Dos modelos para precisar la disposición de compuertas automáticas como obras de evacuación	5
vi) Modelo de la disposición general de las obras de la central Rapel.....	6
b) Modelos de ampliaciones o mejoramientos de estructuras existentes (de fondo fijo)	7
i) Modelo de la obra de disipación de energía del rápido de descarga de la central Abanico	7
ii) Dos modelos para estudiar cámaras de carga	8
c) Modelos de socavaciones, arrastres y depósitos	8
i) Modelo para estudiar el funcionamiento de la bocatoma de la central Sauzal	9
ii) Modelo de la obra de disipación de energía en la descarga de la central Isla	10
3. Análisis del desarrollo de la técnica de modelos en el país .	10
4. Importancia de contar con un laboratorio de modelos en el país	13
a) Importancia desde el punto de vista de la formación profesional de los ingenieros	14
b) El modelo forma parte del diseño mismo	14
c) El costo de los estudios en modelo no resultará exagerado.	15

1. Generalidades

El objetivo del presente trabajo es mostrar la utilización que ha tenido en Chile la técnica de los modelos hidráulicos en proyectos hidroeléctricos y, por otra parte, objetivar una solución conjunta de este recurso de diseño en las diversas obras hidráulicas que se proyecten en el país.

La necesidad de usar modelos hidráulicos es universalmente reconocida y desde hace unos 30 a 40 años se ha venido generalizando la certeza de que los modelos reducidos son una herramienta útil y necesaria en el diseño hidráulico, especialmente en obras que suponen inversiones considerables. Sin temor a exagerar, podemos afirmar que hoy en día en Europa o Estados Unidos no se concibe la construcción de una obra hidráulica importante sin estudiar en un modelo la seguridad y economía de cada uno de sus elementos fundamentales. En cambio, en América Latina, el ritmo de las construcciones hidráulicas ha sido muy lento y, en estas condiciones, ha habido entonces pocas oportunidades que justifiquen con evidencia recurrir a un estudio en modelo. Por otra parte, en ocasiones han faltado laboratorios y técnicos preparados, por lo cual se ha recurrido a instituciones extranjeras. Estos motivos, unidos a la falta de antecedentes científicos, han producido a menudo cierta confusión, identificando los estudios en modelos con la investigación básica, siendo en realidad asuntos diferentes.

En estas condiciones resulta importante definir una política sobre la aplicación de los modelos hidráulicos, basada principalmente en una planificación general que contemple los aspectos de organización y financiamiento. Es posible que estos aspectos presenten ciertas características comunes en países de escaso desarrollo económico, como son los países latinoamericanos.

Un país en que se construyen pocas obras y de tamaño reducido, no necesita afinar mucho el diseño: le basta adoptar recomendaciones generales obtenidas en el extranjero. Al entrar, sin embargo, a una etapa superior de desarrollo, que incluya obras de mayor envergadura, esos criterios generales no son suficientes y la economía exige soluciones ideadas para las condiciones específicas de cada proyecto. Es lo que ha ocurrido en Chile en los últimos años. Bastará mencionar el plan de electrificación

/de la

de la Empresa Nacional de Electricidad S.A. (ENDESA), basado fundamentalmente en el aprovechamiento del potencial hidroeléctrico; el plan de regadío de urgente necesidad; problemas de erosión de tierras cultivables y de embancamiento de puertos, etc.

El uso de modelos hidráulicos encaminados a la investigación ha sido ampliamente desarrollado en Chile desde hace bastantes años, por el profesor de Hidráulica Teórica don Francisco J. Domínguez; en cambio, el uso de los modelos hidráulicos para fines de diseño, sólo se ha desarrollado en los últimos 20 años. Estos modelos han sido principalmente para proyectos de puertos, para diseños de obras hidráulicas de proyectos hidroeléctricos y obras de regadío. Los primeros han sido generalmente encomendados a instituciones extranjeras y, en los últimos años, se han hecho en el país, en el Laboratorio de Hidráulica de Peñaflores de la Dirección de Obras Portuarias del Ministerio de Obras Públicas (M.O.P.); estos modelos, que presentan cierto grado de complejidad por su magnitud y por el equipo de laboratorio que requieren y, además, por ser prácticamente el modelo el proyecto total, escapan de los límites impuestos a este trabajo.

Los modelos de obras hidráulicas de desarrollos hidroeléctricos y obras de regadío son similares en sus concepciones y fines, y quedan incluidos en este trabajo. Estos modelos han sido realizados principalmente por la ENDESA y por la Dirección de Riego del M.O.P. La magnitud de las obras hidráulicas proyectadas por la ENDESA en los últimos 20 años, han obligado a recurrir a varios estudios en modelos hidráulicos, siendo ésta la empresa que ha hecho mayor uso de la técnica de modelos en el país.

2. Breve descripción de los principales modelos realizados por la ENDESA

Con el objeto de exponer lo que ha sido la técnica de modelos en Chile, resulta útil hacer una breve referencia de los principales modelos realizados por la ENDESA.

La mayor parte de estos modelos se refieren a estudios sobre el comportamiento de estructuras hidráulicas de fondo fijo en estado de anteproyecto, o bien, para estudiar ampliaciones o mejorar el funcionamiento
/de obras

de obras existentes. También se han hecho algunos pocos modelos para estudiar efectos de socavación y arrastre de lechos móviles y estudio de depósitos o embanques. Para los efectos de esta exposición dividiremos los modelos realizados en 3 grupos: a) modelos para proyecto de estructuras hidráulicas de fondo fijo; b) modelos de ampliaciones o mejoramiento de estructuras existentes de fondo fijo, y c) modelos de socavaciones, arrastres y depósitos.

a) Modelos de estructuras hidráulicas de fondo fijo en estado de anteproyecto

i) Modelo de una obra de disipación de energía de chorros de alta velocidad - Proyecto central Lago Laja. Este modelo fue realizado el año 1953 en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Católica de Chile (Laboratorio de Enseñanza e Investigación). Aún cuando la solución a la cual corresponde la obra ensayada fue posteriormente desechada, este estudio muestra un caso típico en el que el modelo puede contribuir con importantes indicaciones para el diseño. La solución de anteproyecto consistió en 2 colchones independientes para disipar la energía de 2 chorros de alta velocidad entregados por válvulas, mediante resaltos hidráulicos.

El modelo se hizo a escala Froude $\lambda = 50$ (designaremos en lo sucesivo por λ la relación entre longitudes en el prototipo y en el modelo) con un caudal de instalación de 5.65 lt/s, y fue confeccionado en madera encerada con empaquetaduras de goma. Una de las paredes laterales del colchón se hizo de vidrio para visualizar el escurrimiento.

La fotografía 1 muestra una vista del modelo, el cual contribuyó con importantes conclusiones relativas al diseño de la estructura de entrega al colchón y del colchón mismo y para el diseño de la entrega del colchón al canal de evacuación. (Fotografía 1)

ii) Modelos de los piques de bocatoma de la central Lago Laja. Este modelo fue realizado el año 1958 en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Chile. El objetivo del modelo fue el proyecto de las 2 bocatomas del túnel de aducción de la futura central Lago Laja y del túnel de vaciado del lago (fines de regadío y de alimentación de la central Abanico en funcionamiento, aguas abajo de la central Lago Laja).

/La realización

La realización del modelo se justifica por las dificultades que ocasionan los diseños de las bocatomas en lagos o embalses profundos constituidas bajo agua y con varias bocas, por no existir suficientes antecedentes prácticos o experimentales y por no poder estudiar mediante procedimientos analíticos el escurrimiento en los túneles y piques.

El modelo, a escala Froude con $\lambda = 40$ y un caudal de alimentación de 10 lt/s, se construyó en madera sellada con caucho líquido. Debido a la simetría, el modelo fue cortado por su plano de simetría con una plancha de plexiglass, que permitió visualizar el escurrimiento (ver fotografía 2).

Del modelo se obtuvieron algunas conclusiones que mostraron la conveniencia de efectuar cambios en el diseño primitivo, principalmente redondeos para evitar despegues, eliminación de vórtices y zonas de turbulencia exagerada.

iii) Diseño del orificio restringido de la chimenea de equilibrio de la central hidroeléctrica Isla. Este modelo fue realizado el año 1958 en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Chile y su objetivo fue el diseño del orificio de comunicación entre la chimenea y el túnel. La condición de diseño de este orificio es una pérdida de carga definida para el gasto máximo ascendente y la mayor resistencia posible para el gasto descendente. El problema de diseñar una resistencia de corta longitud, tan precisa en su valor, no puede resolverse por procedimientos analíticos y debe necesariamente recurrirse a un estudio en modelo.

El modelo de construcción particularmente delicada en lo referente a formas interiores (la bifurcación del túnel en 2 tuberías se hace justamente bajo la chimenea), se construyó a escala Froude con $\lambda = 25$, con un caudal máximo de alimentación de 34 lt/s. La pieza de bifurcación se construyó en mica plástica con plantillas de aluminio fijadas a un armazón de tubos de aluminio. El cilindro mismo de la chimenea se hizo de plancha metálica y de plexiglass. Las diversas boquillas ensayadas se hicieron de una mezcla de yeso-cemento y se ajustaron al cuerpo de la pieza de bifurcación con un flanje apernado.

/El modelo

El modelo cumplió satisfactoriamente su objetivo y, aún más, permitió examinar el fenómeno de los vórtices durante el descenso del nivel, permitiendo fijar la revancha mínima para el máximo descenso en la chimenea.

iv) Dos modelos para precisar diseños de sifones evacuadores. En una central provista de canal de aducción y chimenea de equilibrio, durante un rechazo de carga, el canal es remontado por ondas positivas y a menos que el canal sea de berma horizontal con las revanchas suficientes, debe preverse una obra de rebalse para evacuar el caudal en exceso. En el modelo que a continuación se describe, se estudió el comportamiento de un sifón de cebado rápido, como obra de evacuación para la central Pullinque (actualmente en construcción).

Este modelo se hizo el año 1957 en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Chile, a escala Froude $\lambda = 10$, con un caudal de alimentación de 90 lt/s. El modelo se redujo a un diseño de anteproyecto del sifón, basado principalmente en el diseño normal del Bureau of Reclamation. El modelo se hizo en madera encerada y reforzada con zunchos metálicos, con una de las caras transparentes de plexiglass. La fotografía 3 muestra una vista general del modelo.

Aun cuando los materiales empleados no fueron los más convenientes para la realización de un modelo de este tipo, el modelo resultó de gran utilidad para un diseño como éste, en que pequeñas alteraciones en el proyecto traen consigo importantes variaciones del funcionamiento.

En el canal de aducción de la central Sauzal, se diseñaron sifones evacuadores de las ondas que pudieran remontar el canal. El diseño de estos sifones de cebado más lento que los anteriores, se precisó mediante un estudio en modelo realizado el año 1942 en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Católica. (Este modelo fue el primer estudio en modelo realizado por la ENDESA.) Estos sifones han dado un excelente resultado en la práctica.

v) Dos modelos para precisar la disposición de compuertas automáticas como obras de evacuación. Con el mismo objetivo que la obra de evacuación anteriormente descrita, se estudió la disposición de una compuerta automática accionada por el nivel de agua, para la central Pullinque (fue la obra de evacuación definitivamente aceptada). Una solución similar se ha adoptado

/en la

en la central Isla (actualmente en construcción). De ambas disposiciones se hicieron modelos. El modelo de la disposición de Pullinque se hizo el año 1958 y el de la central Isla está actualmente en experimentación, ambos en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Chile.

El modelo de la disposición de Pullinque, escala Froude $\lambda = 46,1$ (fijada por aprovechamiento de materiales) con una alimentación de 8,40 lt/s, tuvo por objeto definir la forma del embudo entre el canal y la obra de compuerta para llegar a obtener un escurrimiento parejo sobre ella.

El modelo reprodujo un tramo de 100 m de canal y 50 m de túnel. El canal se materializó con una plancha metálica doblada y la zona de compuerta y el embudo se construyó en mezcla de yeso-cemento.

Mediante observación visual y mediciones de ejes hidráulicos en diversas zonas, se fueron mejorando las condiciones del escurrimiento, tanto para el caso normal como para la condición más crítica, durante un rechazo de carga.

La fotografía 4 muestra el funcionamiento de la evacuación con su diseño definitivo. También el modelo permitió la determinación de los coeficientes de descarga para diversas posiciones de la compuerta y combinaciones de gasto, lo cual permite abordar el problema teórico del rechazo de carga con mejores antecedentes. La escala del modelo resultó pequeña y esto se debió a que el planeamiento del modelo se hizo en base a una experimentación sólo de tipo cualitativa.

El modelo de la disposición de la central Isla es similar al anterior; la escala es $\lambda = 25$, con un caudal de alimentación de 34 lt/s.

vi) Modelo de la disposición general de las obras de la central Rapel.

La elección del tipo y la disposición general de las obras de la central Rapel (central de embalse), estuvo condicionada en gran parte por la magnitud de la crecida del río (estimada en 10 000 m³/s). Se han adoptado 2 vertederos evacuadores de crecida a ambos costados del muro de hormigón en arco, del tipo "salto de esquí", es decir lanzan el caudal evacuado desde una cierta altura sobre el río, disipándose de este modo gran parte de la energía del agua en el aire.

/La ejecución

La ejecución del modelo hidráulico de las obras tuvo por objeto estudiar la disposición general de las obras hidráulicas de la central Rapel, lo cual es sólo abordable por este procedimiento.

El modelo se construyó el año 1957 en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Chile, que contaba en aquella época con un espacio reducido para este tipo de modelos, por lo cual se adoptó una escala $\lambda = 100$, con un caudal de 100 lt/s. Para materializar las curvas de nivel se emplearon tiras de aluminio a las que se les dio la forma correspondiente, y fueron mantenidas en su cota mediante soportes metálicos. El espacio hueco se relleno con ladrillo y mortero.

Las fotografías 5 y 6 muestran disposiciones obtenidas para los vertederos y dispositivos dispersores de chorros. El modelo es fundamental para asegurar el buen funcionamiento de las obras. (Ver fotografías 5 y 6).

b) Modelos de ampliaciones o mejoramientos de estructuras existentes (de fondo fijo)

Estos modelos presentan una gran ventaja sobre los tratados en el punto a), puesto que puede verificarse la fidelidad con que el modelo reproduce los fenómenos en estudio.

i) Modelo de la obra de disipación de energía del rápido de descarga de la central Abanico. Este modelo se realizó el año 1954 en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Chile y tuvo por objeto mejorar las condiciones de funcionamiento del colchón disipador de energía al pie del rápido de descarga de la central Abanico. El modelo se hizo a escala Froude $\lambda = 50$ y comprendió solamente el colchón y la parte final del rápido. Para experimentar se reprodujo en la sección de llegada al colchón, la velocidad calculada y el caudal del prototipo. El modelo se hizo en madera y el costado izquierdo se hizo de vidrio para facilitar la observación. El modelo permitió estudiar la disposición de dientes, modificación de la llegada del rápido y peralte de muros laterales. La fotografía 7 muestra el funcionamiento del colchón con una de las soluciones ensayadas. (Ver fotografía 7).

/ii) Dos modelos

ii) Dos modelos para estudiar cámaras de carga. El año 1948 se hizo un modelo de la cámara de carga de la central Pilmaiquén, en un terreno vecino al Laboratorio de Máquinas Hidráulicas de la Universidad de Chile. El objetivo de este modelo fue doble: por una parte se estudió el mejoramiento del funcionamiento de la cámara de carga, en la cual se presentaban perturbaciones y vórtices en la entrada de las tuberías y zonas de aguas muertas, y por otra parte la ampliación de la cámara de carga para la instalación de dos unidades mayores.

El modelo se hizo a escala Froude $\lambda = 18$, con un caudal máximo de 95 lt/s. En los ensayos hechos con la disposición de la cámara de carga existente, se comprobó una sorprendente concordancia entre el escurrimiento en el prototipo y en el modelo (distribución de velocidad, ubicación y dimensión de vórtices).

La experimentación arrojó interesantes conclusiones respecto al mejoramiento de la situación actual con la eliminación de vórtices (los que se debían a perturbaciones locales principalmente de los machones en las entradas a las tuberías). También el modelo dio recomendaciones para la ampliación de la cámara de carga. La fotografía 8 muestra una disposición general de este modelo. (Ver fotografía 8).

Actualmente se está experimentando en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Chile, el mejoramiento de la cámara de carga de la central Abanico, en un modelo escala $\lambda = 30$. La fotografía 9 muestra una vista general de este modelo. (Ver fotografía 8).

c) Modelos de socavaciones, arrastres y depósitos

Aún cuando existe muy poca experiencia en Chile sobre modelos de estructuras de fondo móvil, la ENDESA ha experimentado dos modelos, que pasamos a describir muy someramente.

/i) Modelo para

i) Modelo para estudiar el funcionamiento de la bocatoma de la central Sauzal. El objetivo de este estudio fue el de visualizar el funcionamiento de la desripiación y forma de embanques en la zona de bocatoma de la central Sauzal y las posibles mejoras en el diseño primitivo para obtener las mejores condiciones de operación.

El modelo se hizo en los terrenos vecinos al Laboratorio de Máquinas Hidráulicas de la Universidad de Chile, el año 1944, a escala Froude distorsionada con $\lambda_v = 25$ (escala vertical) y $\lambda_H = 40$ (escala horizontal). El caudal de alimentación fue de 240 lt/s. (La crecida máxima en el río se estimó en 1 200 m³/s.) El lecho del río se reprodujo en un trecho de 500 m aguas arriba y 150 m aguas abajo de la barrera. El lecho se modeló en tierra y luego se cubrió con una capa de mortero de 1/2" a 1" de espesor, reproduciéndose la forma de la zona de bocatoma en período de estiaje (esto fue posible, puesto que el nuevo lecho sería más alto que aquél, ya que en la zona de bocatoma el lecho es de roca). Las estructuras de compuertas se hicieron de madera con partes móviles para facilitar posibles modificaciones.

En cuanto a los materiales de arrastre se trabajó con arena fina (arrastrada por velocidades de 50 a 60 cm/s, que en el prototipo equivalen a 2.50 a 3.00 m/s) para simular el arrastre grueso en crecidas y carboncillo industrial tamizado (arrastrado por velocidades de 30 cm/s, que equivalen a 1.50 m/s en el prototipo).

La alimentación de carbón y arena se hizo en forma periódica y controlada, pero arbitraria, pues no se tenían antecedentes para efectuar una verificación previa entre el modelo y el prototipo para establecer la escala de tiempo relativa a los arrastres (el material sólido se suministró en abundancia, seguramente acelerando así las experiencias con respecto a la realidad). Naturalmente las experiencias en este sentido fueron de tipo cualitativo. La fotografía 10 muestra los embanques obtenidos después de una experiencia. (Ver fotografía 10)

Se observó simultáneamente el funcionamiento hidráulico de la obra (colchones de agua a la salida del canal colector, torrentes aguas abajo de la barrera, etc.).

/En general

En general, el modelo aportó considerables sugerencias para mejorar el diseño de anteproyecto de la bocatoma.

ii) Modelo de la obra de disipación de energía en la descarga de la central Isla. La obra de disipación de energía al final del rápido de descarga de la central Isla, consiste en un simple lanzamiento del chorro, al río. Esta obra queda fundada en material fluvial, por lo cual se esperan grandes socavaciones al pie de la estructura. El objetivo del modelo fue el de precisar esta obra en condiciones seguras y económicas.

El modelo de esta estructura y de un trozo del río en el cual está ubicada, está actualmente finalizando su experimentación en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Chile. Este modelo se construyó en similitud Froude $\lambda = 33.3$, con un caudal máximo de 17 lt/s. La fotografía 11 muestra una vista general del modelo. (Ver fotografía 11.)

La determinación de las socavaciones al pie de la estructura se ha abordado por el método recomendado por el profesor Scimemi, el cual consiste en ensayar diversos materiales de diámetros uniforme en el lecho del río y obtener por extrapolación valores que den plena seguridad.

Es indudable que en este caso el modelo es la única vía posible para decidir el proyecto de una estructura de este tipo.

3. Análisis del desarrollo de la técnica de modelos en el país

Resulta interesante hacer un análisis del desarrollo que ha tenido la técnica de modelos, desde sus comienzos hasta hoy día, porque se evidencia claramente que este desarrollo se ha producido en forma natural debido a las necesidades de diseños hidráulicos más complejos.

La gran mayoría de los modelos realizados, han sido concebidos y experimentados por los mismos proyectistas, sorteando muchas veces todo tipo de dificultades. En los primeros modelos no se disponía del galpón adecuado de un laboratorio y los instrumentos de medidas fueron improvisados. En algunos casos se contó con experimentadores en estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil, los que fueron inspeccionados por los proyectistas.

/La construcción

La construcción del Laboratorio de Hidráulica dependiente de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile y su espacio destinado a estudios en modelos, resolvió en gran parte los problemas derivados de la falta de un local adecuado y del equipo de alimentación de los modelos. En un comienzo los modelos siguieron siendo construidos y experimentados por los mismos proyectistas, utilizando las instalaciones del laboratorio. Esta situación cambió en los últimos 2 años con la creación del personal de planta del Laboratorio, tanto de ingenieros como técnicos y operarios calificados. En esta forma los últimos modelos de la ENDESA han sido contratados, tanto su construcción y experimentación en el laboratorio, el cual actúa en estrecha colaboración con los proyectistas.

Poner en marcha un laboratorio de modelos, construir los edificios y equiparlos y, sobre todo, preparar el personal científico y auxiliar, exige altas inversiones durante un período de años sin que se obtengan resultados plenamente satisfactorios. En Chile esta inversión se ha realizado por una subvención directa del Estado a través de la Universidad de Chile.

En esta forma se opera actualmente con un financiamiento mixto a base de subvenciones directas y de honorarios. La subvención estatal se origina por aplicación a este fin de parte de los fondos que el Estado pone a disposición de las Universidades del país para estimular la investigación aplicada. Los honorarios que se establecen por cada estudio son relativamente altos, aun cuando están basados en los costos reales de operación. Debemos aclarar que en realidad ambas formas de inversión son una misma, puesto que las empresas que en Chile pueden necesitar estudios en modelos son substancialmente fiscales y entonces es más que nada una cuestión de contabilidad nacional.

El Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Chile es un laboratorio fundamentalmente de enseñanza y representa tal vez la única institución en la que tiene perspectivas de prosperar la investigación básica de hidráulica en Chile. Este laboratorio posee un edificio recientemente terminado que cubre un área total de 1 900 m², de los cuales 1 340 m² (70 por ciento) corresponden a espacio de experimentación propiamente tal, distribuyéndose el resto entre oficinas, salas de clases, talleres, etc.

/En general

En general, podemos afirmar que los modelos realizados han cumplido sus objetivos; esto lo podemos apreciar en los detalles dados de los principales modelos realizados por la ENDESA: los estudios en modelos han introducido en muchas ocasiones importantes mejoras en los diseños y siempre han permitido visualizar en forma mucho más completa los diversos fenómenos que pueden ocurrir en el funcionamiento de la obra. Podemos decir que se ha pecado más por falta de modelos, lo cual puede originar estudios posteriores de las obras construidas.

Creemos que en lo que respecta a modelos de fondo fijo, ya existe una cierta experiencia y se cuenta con suficientes antecedentes de teoría, técnica de experimentación y materiales que deben emplearse. En cambio, no se cuenta con suficiente experiencia en modelos de fondo móvil, a los cuales se ha recurrido en pocas oportunidades.

La inexperiencia en la técnica de modelos se ha traducido en un mayor costo de los estudios, los cuales en ningún caso pueden considerarse exagerados. Ordinariamente, el valor del estudio en modelo es un porcentaje muy pequeño de la inversión total que demanda la obra (1 - 2 por ciento). Esta aseveración la podemos comprobar con algunos de los modelos realizados en los que ha sido posible calcular aproximadamente su costo.

Modelo	Costo modelo		Costo directo obra		%
	E°	US\$	E°	US\$	
Bocatoma central Lago Laja	4 700	4 480	300 000	286 000	1.6
Obra de rebase central Pullinque	2 300	2 190	150 000	143 000	1.5
Sifón evacuador central Pullinque	2 400	2 280	150 000	143 000	1.6
Orificio restringido chimenea de equilibrio central Isla	3 300	3 140	280 000	267 000	1.2
Obra de rebase central Isla ^{a/}	3 500	3 340			
Obra de disipación de energía central Isla	4 500	4 290	250 000	238 000	3.2

^{a/} El porcentaje calculado se ha hecho sobre el conjunto de la obra de rebase de la central Isla, es decir sobre los 2 modelos.

Nota: Los costos indicados se refieren a moneda de octubre 1960. Para la conversión de moneda nacional a dólar se ha considerado US\$ 1 = E° 1.05.

/Es indudable

Es indudable que la situación actual tiene múltiples ventajas con respecto a la situación primitiva, principalmente debido a la formación de personal especializado, creación de técnicas de experimentación, instrumentos de medición adecuados, etc. En efecto, hasta hace 2 años atrás en la experimentación se producían inevitables pérdidas de tiempo por inexperiencia, y la experiencia acumulada, al finalizar el estudio en modelo, se perdía totalmente por cuanto el ingeniero proyectista y experimentador generalmente no realizaba otro estudio en modelo.

Aceptando las ventajas que representa para el país la existencia de un laboratorio de modelos, por múltiples razones que veremos posteriormente y como las diversas empresas no poseen un ritmo de proyectos suficientes como para justificar las inversiones requeridas para instalar un laboratorio y especializar a un grupo de técnicos, el laboratorio de modelos anexo al laboratorio de investigación y enseñanza ofrece ciertas ventajas en un país como el nuestro: garantizará la seriedad de sus trabajos con el respaldo de un instituto científico y disminuirá en parte las inversiones de capital. Se encuentra así la fórmula de dos laboratorios coordinados, pero con autonomía de operación de uno respecto del otro.

4. Importancia de contar con un laboratorio de modelos en el país

Dado el gran avance técnico alcanzado por los laboratorios de investigación y de modelos en países más industrializados, se plantea el dilema de realizar los modelos en el país o bien contratarlos en el extranjero. Mostraremos que existen grandes ventajas de contar en el país con un laboratorio de modelos, el cual podrá realizar prácticamente todos los modelos necesarios, salvo aquéllos de difícil realización o que exijan instalaciones especiales (algunos modelos de arrastre, por ejemplo) los que podrán ser contratados en el extranjero. Sin duda los contactos con los laboratorios extranjeros, asesorías, viajes de estudio, bibliografía, etc., permitirán avanzar rápidamente en este campo. Las principales ventajas de contar con un laboratorio de modelos en el país pueden resumirse en los puntos siguientes:

/a) Importancia desde

a) Importancia desde el punto de vista de la formación profesional de los ingenieros

Un laboratorio de modelos ofrece la oportunidad del perfeccionamiento de ingenieros experimentadores y proyectistas. Es indudable que el proyectista de diseño hidráulico debe familiarizarse con el comportamiento de las obras que proyecta. Esto es a menudo difícil y a largo plazo. La oportunidad de ver el comportamiento de esas obras en modelos cumple una finalidad semejante en un período de tiempo menor. Para los proyectistas que están un tiempo en el laboratorio representará una real familiarización con el funcionamiento de las estructuras hidráulicas y un conocimiento vivo de las limitaciones o incertidumbres en normas de diseño aparentemente exactas y, algo muy importante, una amplitud para visualizar o intuir el efecto de determinadas estructuras sobre el escurrimiento. Por otra parte, para el ingeniero de laboratorio también es conveniente una práctica en proyecto, lo cual se traduce en una mejor comprensión del objeto de su trabajo, y en la capacidad de discernir sobre cuáles problemas son más importantes en la práctica y cuáles no lo son.

Es indudable que el laboratorio de modelos acarreará el perfeccionamiento de ingenieros experimentadores y permitirá contar con el personal especializado para que, posteriormente a un estudio en modelo, realicen las mediciones en el prototipo, pudiendo así comparar con los datos entregados por el modelo y verificar la validez de estos estudios, lo cual redundará en experiencia del personal y en la técnica de modelos.

b) El modelo forma parte del diseño mismo

En efecto, un estudio en modelo no constituye una investigación por sí misma, sino que es una de las etapas en el proyecto de una determinada obra hidráulica. Esto significa que la conducción de los estudios deberá abordarse con el mismo criterio general válido para cualquier proyecto.

En el modelo deben ensayarse soluciones posibles de construir y operar a la escala natural, buscándose la mejor solución desde el doble punto de vista de la seguridad y de la economía; un estudio en modelo debe llegar a una solución, puesto que la obra tiene que construirse. Si a estas características señaladas agregamos que un modelo se refiere a

/un caso particular

un caso particular, obtenemos una noción precisa de sus diferencias con la investigación propiamente tal. Por esta razón, la conducción de los estudios debe reposar en un equipo que conjugue el criterio práctico y la experiencia de un proyectista, con los conocimientos y la técnica experimental del ingeniero de laboratorio.

Resulta evidente, en consideración a lo señalado, la conveniencia de la proximidad material entre el laboratorio y la oficina de proyectos. Debe señalarse que aquí radica una de las grandes dificultades para recurrir a laboratorios extranjeros, a menos que la materia del encargo sea el proyecto integral.

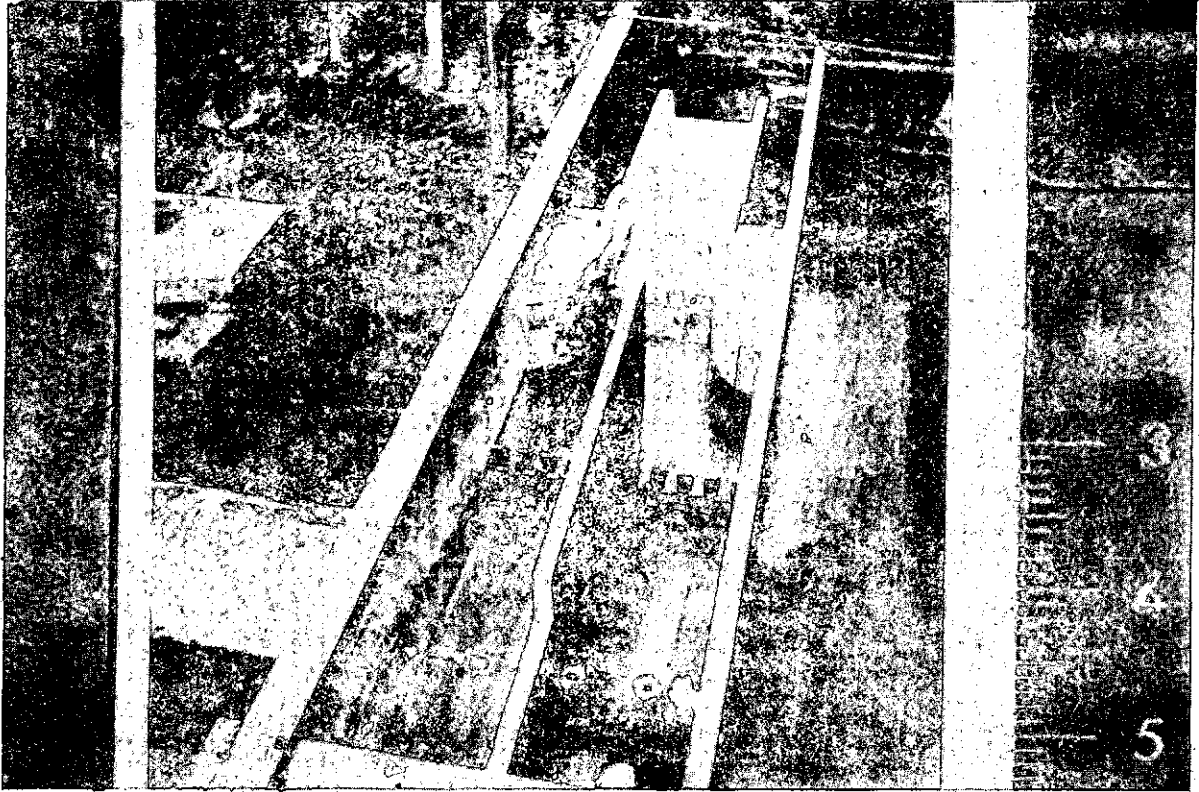
c) El costo de los estudios en modelo no resultará exagerado

Hemos visto que los costos de los modelos hechos en el país no han resultado exagerados y si ha habido un mayor costo se ha debido a la inexperiencia, la cual se traduce en una mayor duración de los estudios, o bien, en un mal planeamiento del modelo.

Por otra parte, debemos tomar en cuenta que en la primera etapa de funcionamiento del laboratorio, los mayores costos de los modelos se convertirán en materiales y equipos y, lo que es más importante, en experiencia del personal. Además, considerando que el factor de mayor incidencia en el costo de un modelo es el tiempo consumido en el estudio, resulta más conveniente actuar sobre él reduciendo al mínimo los plazos, mejorando las técnicas de construcción, dando especial consideración a la normalización de equipos e instrumentos y a la flexibilidad, tanto de la organización del personal como a la disposición de las instalaciones permanentes del laboratorio. Naturalmente, el costo deberá mantenerse tan bajo como sea posible, aun cuando no puede aplicarse un criterio de rentabilidad, puesto que hay ocasiones en que un estudio en modelo no introduce economías sino que incluso significa obras más caras por razones de seguridad o buen funcionamiento. De aquí que la organización del laboratorio de modelos deberá responder a sus características de función industrial y, en este aspecto, se diferenciará del laboratorio destinado a enseñanza e investigación.

/Es posible

Es posible, si se piensa que otros países sudamericanos afrontan problemas similares en una etapa aún inicial, que se justificara plenamente un esfuerzo internacional destinado a crear laboratorios regionales, dotados de equipos y personal con la más alta técnica actual, los cuales podrían, sin duda, servir a grupos de países con las ventajas de cercanía geográfica, idioma, idiosincrasia, etc. Funciones muy importantes en estos centros regionales serían la orientación y el estímulo a los laboratorios nacionales de los diversos países dentro de su órbita de acción.

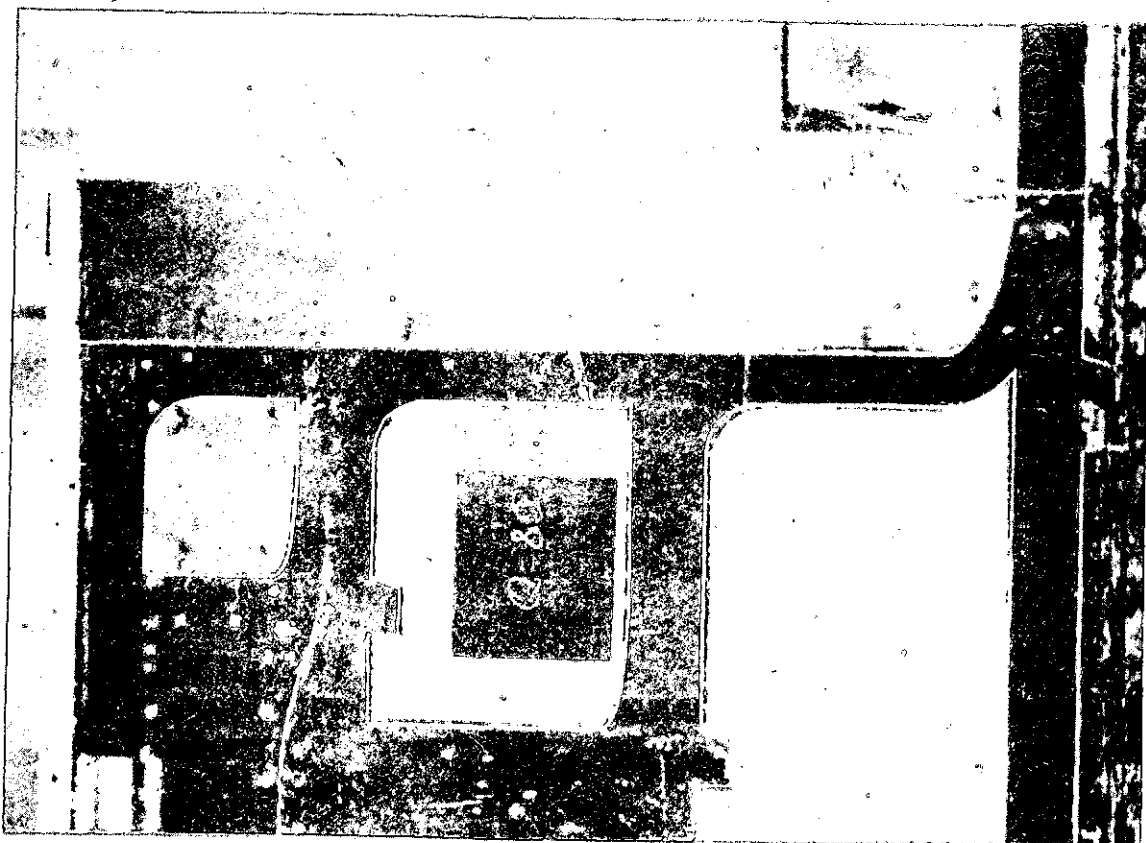


Fotografía 1

Modelo una obra de disipación de energía de chorros de alta velocidad. Central Lago Laja.

Photo 1

Model of a high-velocity jet energy dissipating structure. Lago Laja Plant.

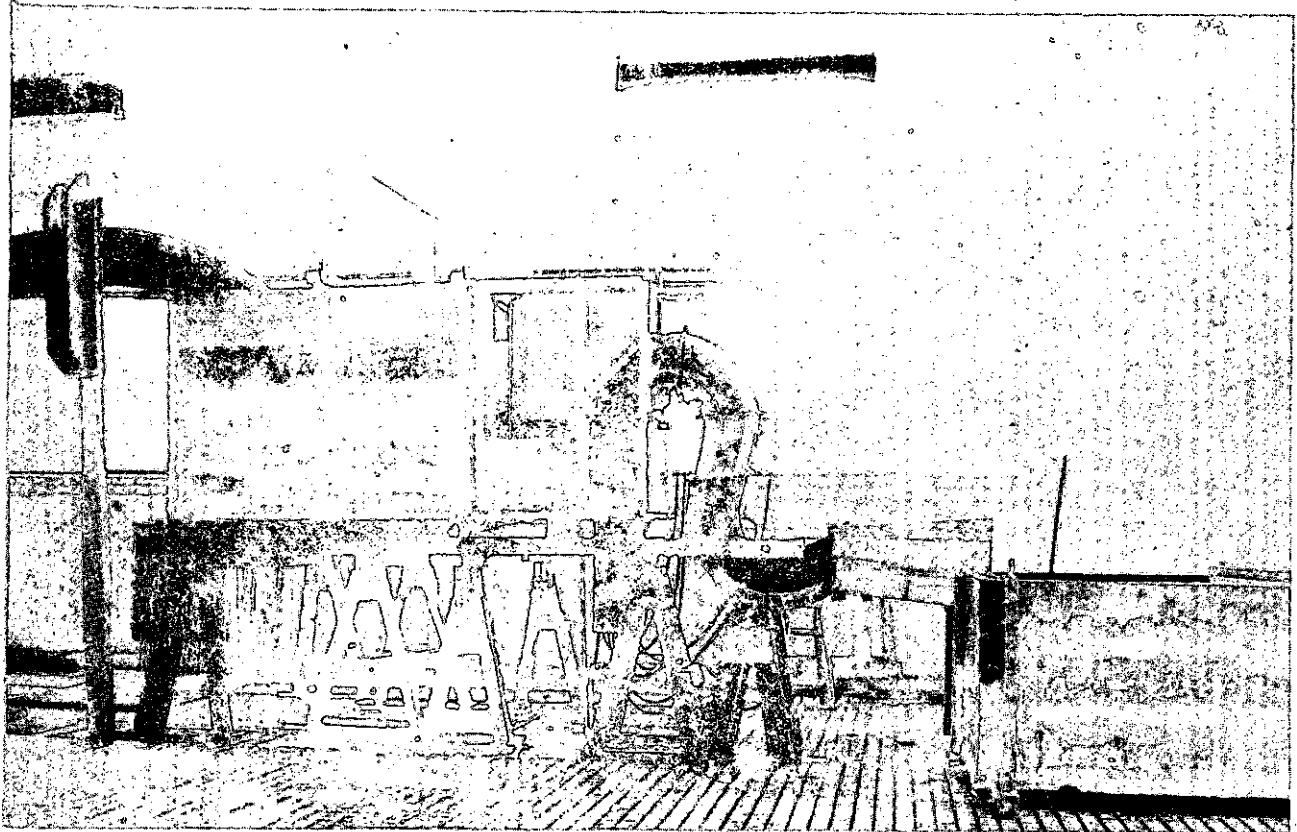


Fotografía 2

Modelo de una de las bocanetas de Central Lago Laja.

Photo 2

Model of one of the intakes of Lago Laja plant.



Fotografía 3

Modelo de un sifón de cebado rápido. Central
Pullinque. Vista general.

Photo 3

General view of model of a rapid-priming syphon.
Pullinque plant.

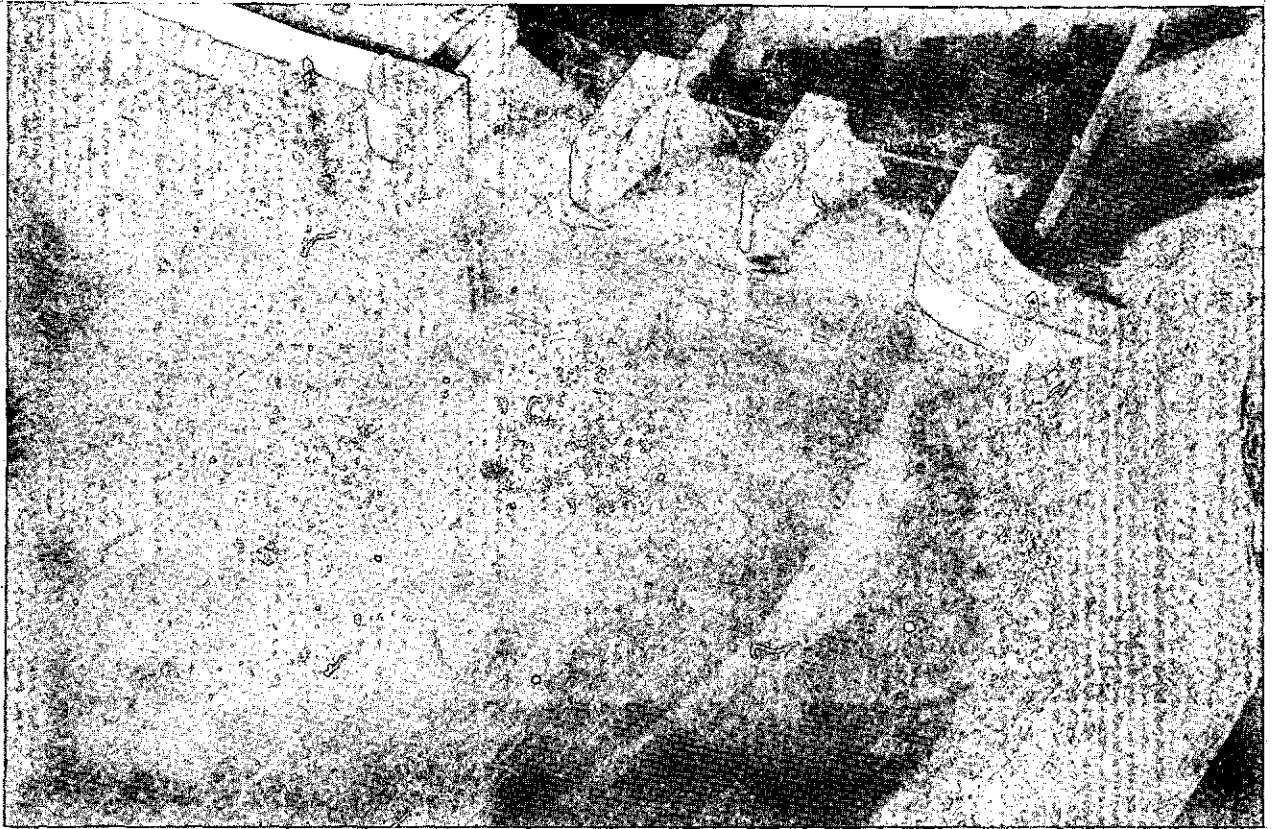


Fotografía 4

Modelo de la disposición de una compuerta automática de evacuación. Central Pullinque.

Photo 4

Model of the layout of an automatic discharge gate. Pullinque plant.

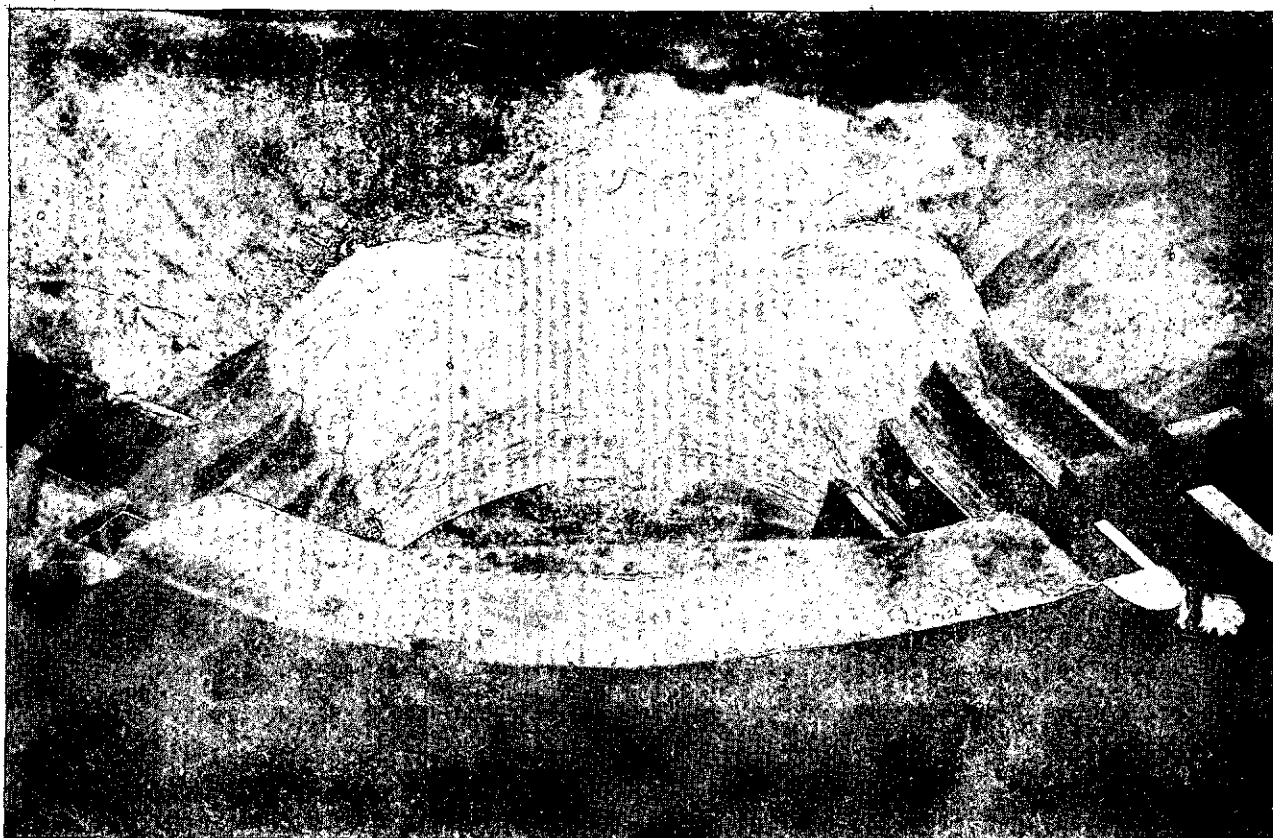


Fotografia 5

Vertederos

Photo 5

Model of spillways. Rapel plant.

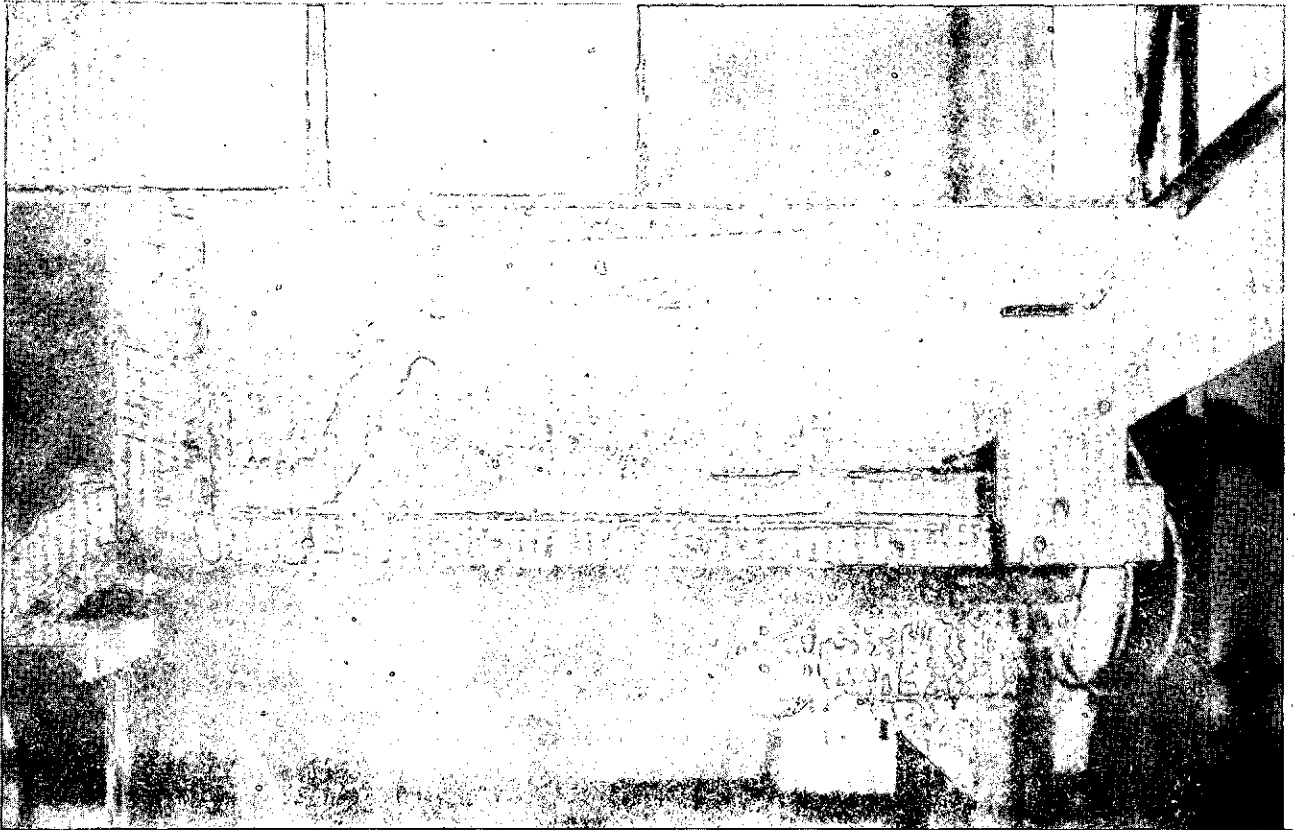


Potografia 6

Dispersores de chorro

Photo 6

Model of jet dispersers. Rapel plant.

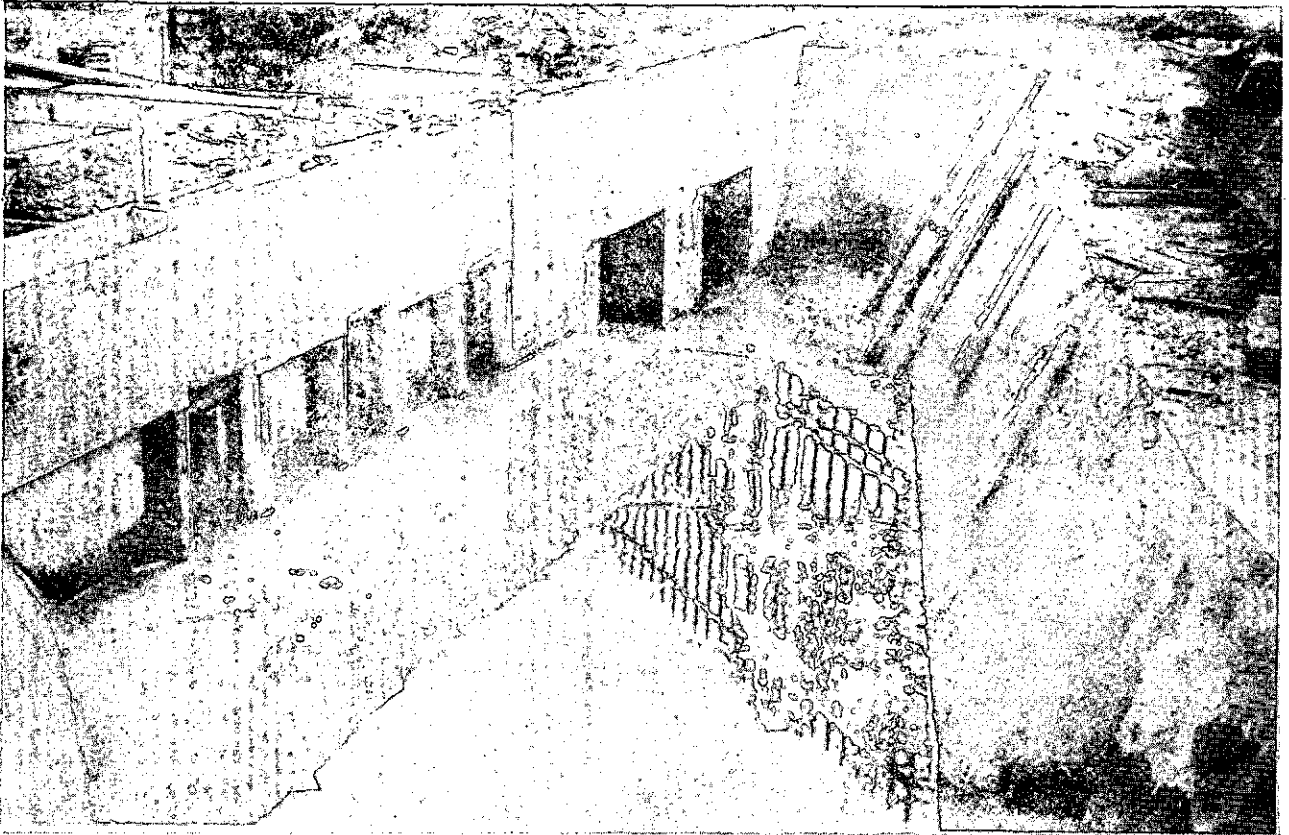


Fotografia 7

Vista lateral

Photo 7

Side view of energy-dissipating water cushion.
Abanico plant.

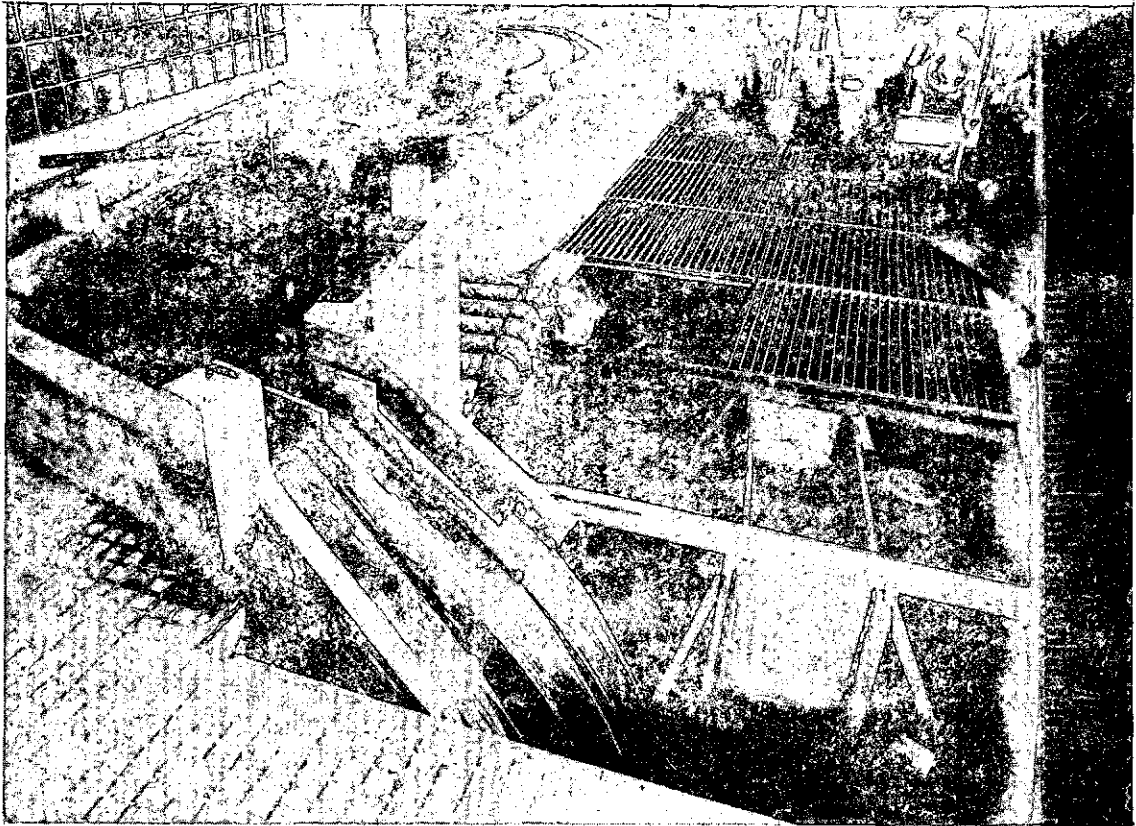


Fotografía 8

Cámara de carga ampliada

Photo 8

Model of enlarged forebay. Pilmaiquén plant.

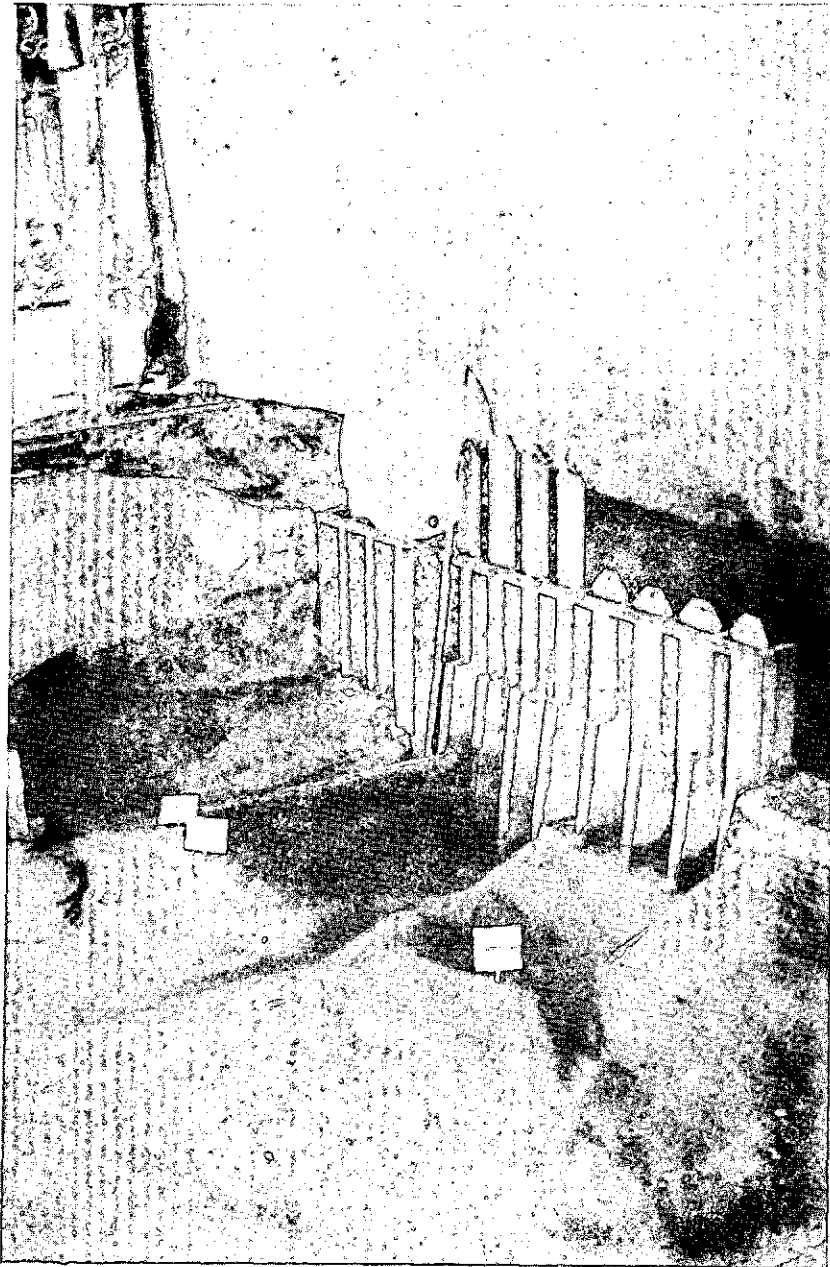


Fotografía 9

Modelo de cámara de carga. C. Abanico
Vista general.

Photo 9

General view of model of forekey. Abanico
Plant.

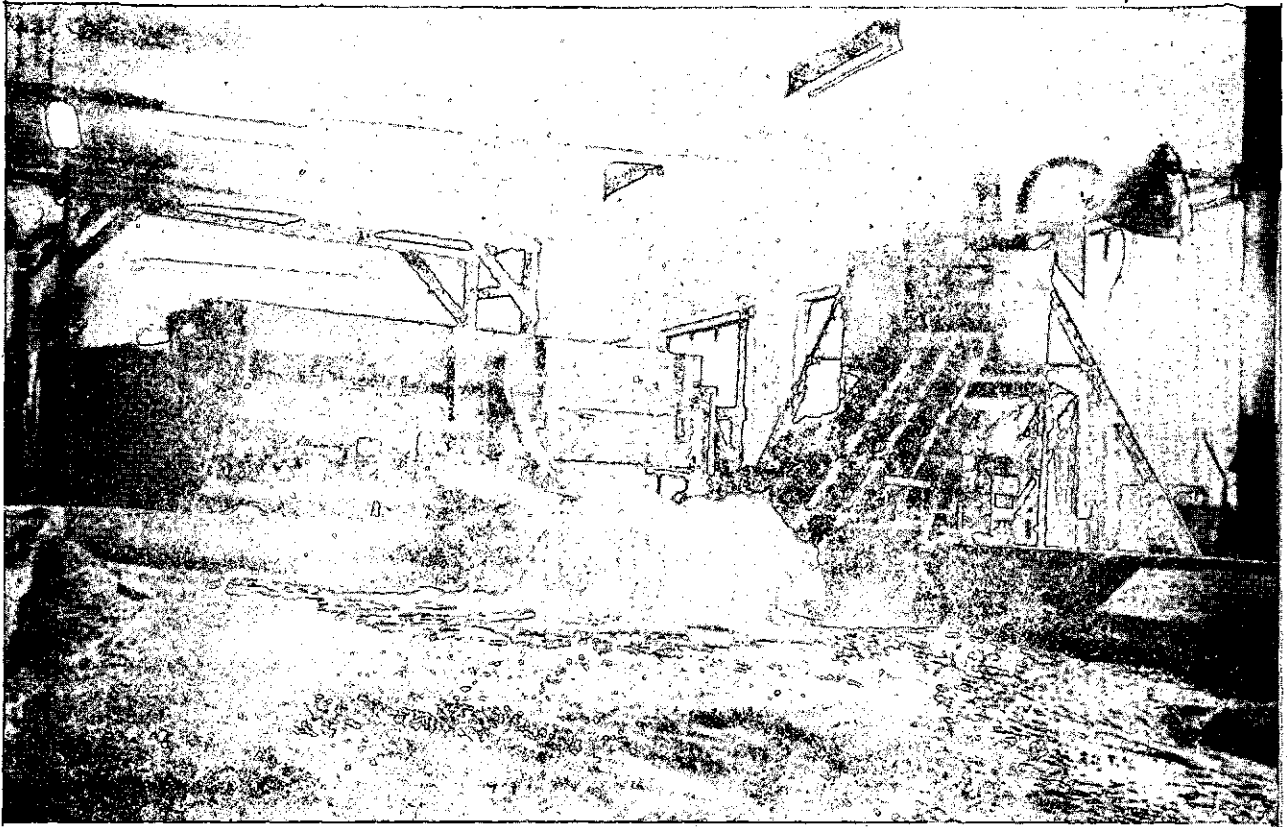


Fotografía 10

Embanques obtenidos después de una experiencia.

Photo 10

Silt deposits resulting from an experiment.



Fotografía 11

Modelo de una obra de disipación de energía.
C. Isla. Vista general.

Photo 11

General view of an energy-dissipating structure.
Isla plant.

