

DEFENSA DE MARGENES

Caso del Río del Valle

por

Ing. Jorge A. Gonzalez Dogliotti

INDICE

- * El Río del Valle y la crecida de 1981
- * Análisis del escurrimiento en curvas
- * Estudio en modelo reducido del escurrimiento en curvas
- * Socavación localizada en una cabecera de puente
- * Evolución general del lecho
- * Análisis de la situación del puente sobre el Río del Valle
- * Nuevos elementos de protección de márgenes

RESUMEN

Se analiza el comportamiento del Río del Valle durante el período de construcción del tramo Las Lajitas-Luis Burela, de la Ruta Provincial N° 5, en la zona de emplazamiento del puente construido en esa oportunidad. En particular, luego de construidas las defensas previstas en el proyecto y las agregadas posteriormente.

Se realizan consideraciones sobre las características de los fenómenos de erosión y sedimentación en las curvas de los cursos de agua y sobre la influencia de las obras de protección que se proyecten, en la evolución previsible de esos procesos.

A la vista de resultados publicados sobre investigaciones en modelos de fondo móvil, se formulan algunas pautas de diseño de las obras de defensa.

Finalmente se pasa revista a varios sistemas de defensas flexibles.

EL RIO DEL VALLE Y LA CRECIENTE DE 1981

Entre los años 1980 y 1983 se desarrollaron las obras de construcción del tramo Las Lajitas-Luis Burela, de la Ruta Provincial N°25, en esta provincia.

La obra, compuesta por 49,8 km de camino con pavimento flexible -tratamiento triple-, un puente para cruzar en alto nivel las vías del F.C.G. Belgrano y un puente sobre el Río del Valle, se construyó en base a un proyecto encarado por la Dirección Provincial de Vialidad.

La Dirección Nacional de Vialidad, tuvo a su cargo la financiación, contratación y conducción de la obra. CONSULTAR, por contrato, realizó la inspección de los trabajos.

En febrero de 1981, una creciente extraordinaria determinó la caída del puente existente en el primitivo trazado de la R.P. N° 5, y una importante socavación junto al estribo norte del puente ferroviario, ubicado un centenar de metros aguas abajo, con arrastre de la obra de defensa existente. Cabe hacer notar aquí, que esa creciente, que afectó a obras que contaban con varias décadas de antigüedad, sólo alcanzó la cota 451,40 en el emplazamiento del nuevo puente, frente a una cota de 453,00 para el pelo de agua de la creciente máxima estimada (C.M.E.) y sólo 0,40 m superior al coronamiento de los cabezales de los estribos proyectados.

Pocos días después, comunicamos al Distrito nuestras observaciones preliminares sobre los efectos de la creciente en las inmediaciones, y en particular en la zona inmediatamente aguas arriba del estribo norte, por entonces a construir. En esa comunicación, informábamos sobre nuestra intención de realizar los relevamientos necesarios para efectuar un estudio comparativo de las modificaciones experimentadas en ese tramo del curso del río y poder así, analizar posibles medidas de estabilización de márgenes y de defensa de terraplenes.

Los relevamientos de control llevados a cabo, en un lapso de 26 meses, a partir de la creciente de febrero de 1981, nos permitieron afirmar que en las inmediaciones del nuevo puente se hallaba en pleno proceso de desarrollo, un fenómeno de avance de meandros, con erosión de las márgenes cóncavas y sedimentación en las convexas. En efecto, el tiempo transcurrido hasta ese momento, más de dos años de observación directa y casi una década desde la época del estudio y proyecto, no dejaba dudas, en cuanto a ese proceso de avance de meandro, en curso de desarrollo. Esta salvedad sobre la continuidad del fenómeno viene al caso, pues cuando se pretende encarar la ejecución de obras de protección de márgenes, se debe tratar de reunir buena información sobre la evolución general del lecho del río a través de los años, dado que las naturales modificaciones posteriores, pueden hacer inútiles o inadecuadas las obras previstas, como veremos luego.

Las inestabilidades de los cauces tienen fundamentalmente por

causa, la presencia de corrientes secundarias que originan divergencias entre el desplazamiento de las partículas sólidas y del agua, según el mecanismo que se describirá más adelante. Ello se traduce en una tendencia a la formación de meandros y de bifurcaciones. Las sinuosidades, así formadas, se deslizan lentamente hacia aguas abajo en el curso del tiempo, de modo que las socavaciones son factibles en ambos márgenes, aún en los alineamientos actualmente rectos y mismo en la margen convexa de los meandros.

Las láminas 1 y 2, muestran, en general y en detalle, las sucesivas conformaciones del cauce del río, en la época del proyecto; en junio de 1981, luego de producida la gran creciente de febrero de ese año y finalmente a fines de marzo de 1983. En ellas se indican las posiciones desde las que se tomaron las series de fotografías que siguen. Las fotografías Nº 1 a 7 ilustran sobre el estado del puente carretero caído y del puente ferroviario atacado durante la creciente citada. Como dato ilustrativo destacamos que durante el año 1983 se realizó la construcción de una nueva obra de defensa del estribo norte del puente ferroviario siguiendo los lineamientos de la arrasada por la creciente.

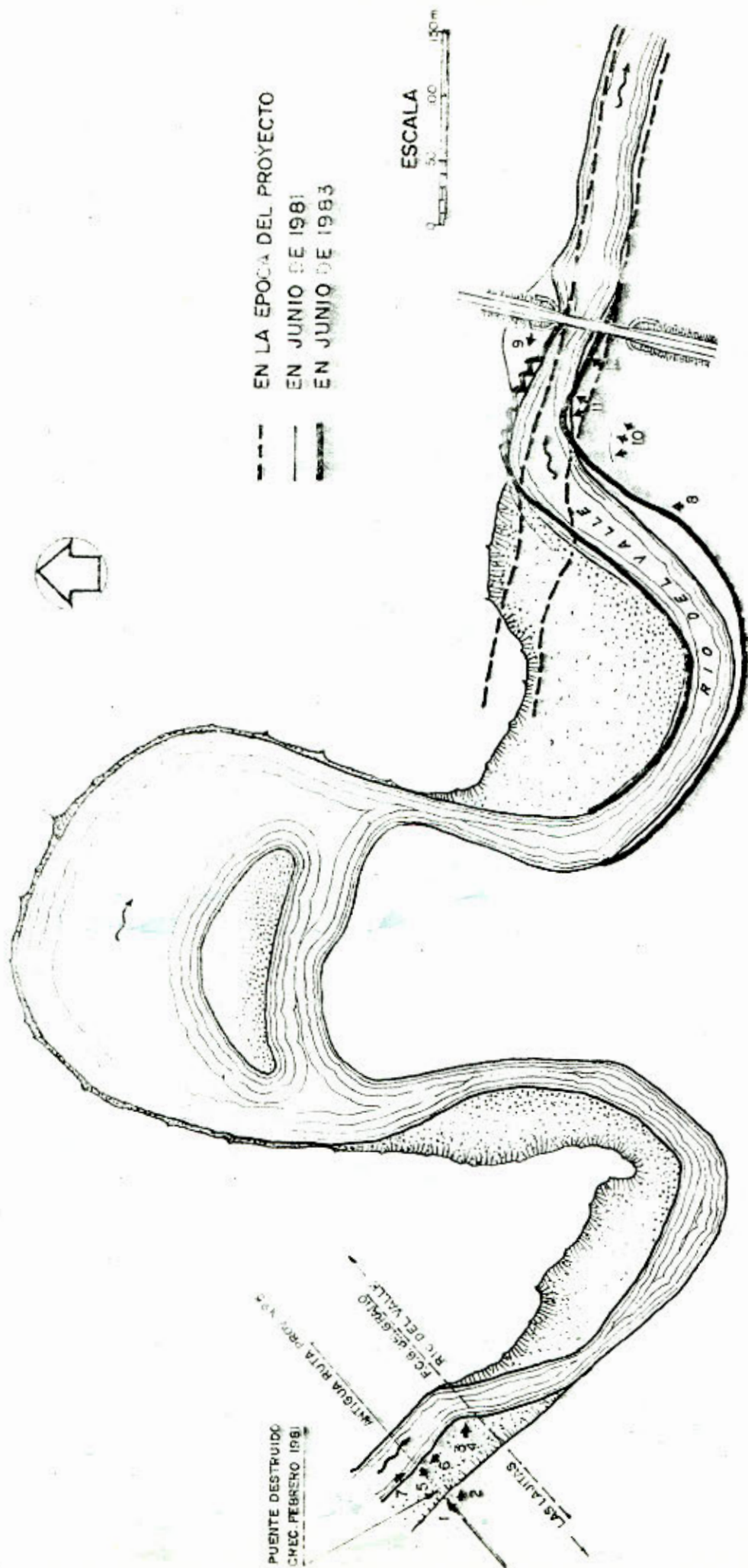
Las fotografías Nº 8 y 9, muestran la margen izquierda (ribera norte) del río, directamente aguas arriba del nuevo puente en enero de 1982.

Las fotografías Nº 10 y 11 exhiben claramente el estado de la misma ribera, en todo el desarrollo del actual meandro, en abril de 1983.

La presencia de ese meandro, situado inmediatamente aguas arriba del emplazamiento del puente, y que no estaba allí en la fecha de la realización del estudio del tramo y del puente, requería a nuestro entender, encarar dos tareas sucesivas.

La primera, que consideramos debía ser emprendida a la brevedad, era mejorar la protección proyectada para defensa de las cabeceras de los terraplenes, junto a los estribos, con la ejecución de una cubierta elástica, capaz de acompañar los movimientos del lecho en sus proximidades, originadas por la mayor socavación en curso de desarrollo, debida a fenómenos locales, y que no fueron previstos en oportunidad del estudio, con el puente emplazado en un alineamiento, entonces, recto.

La segunda, que en ninguna forma debía ser descuidada, consistiría en la continuación del estudio realizado hasta el momento, controlando el avance del meandro en ambos márgenes, culminando con el estudio, proyecto y construcción de las obras de fijación y consolidación que garantizaran la estabilización del cauce en esa zona, por parte de la autoridad responsable de asegurar la continuidad del tránsito por la ruta. No descartábamos que la consolidación se pudiese realizar extendiendo la cubierta elástica que recomendamos para la primera etapa, y que el estudio de su comportamiento permitiría derivar adecuadas conclusiones para su mejor adaptación en la zona del meandro en avance.



- - - EN LA EPOCA DEL PROYECTO
 — EN JUNIO DE 1981
 — EN JUNIO DE 1983

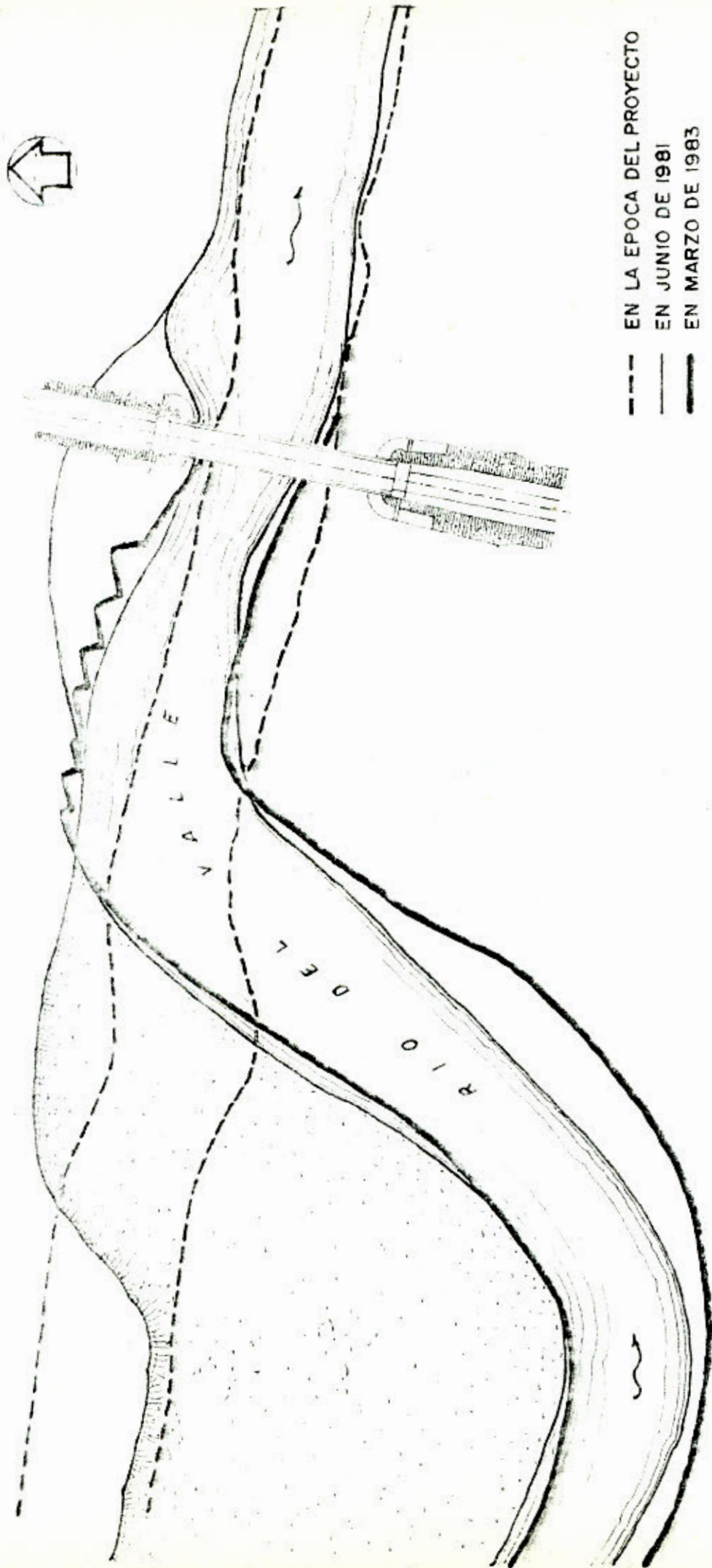
ESCALA

0 50 100 150m

PUNTE DESTRUIDO
 CREC FEBRERO 1981

ANTIGUA PUJA por N. 2
 Rio de Grullo
 Rio del Valle

LAS LAYTS



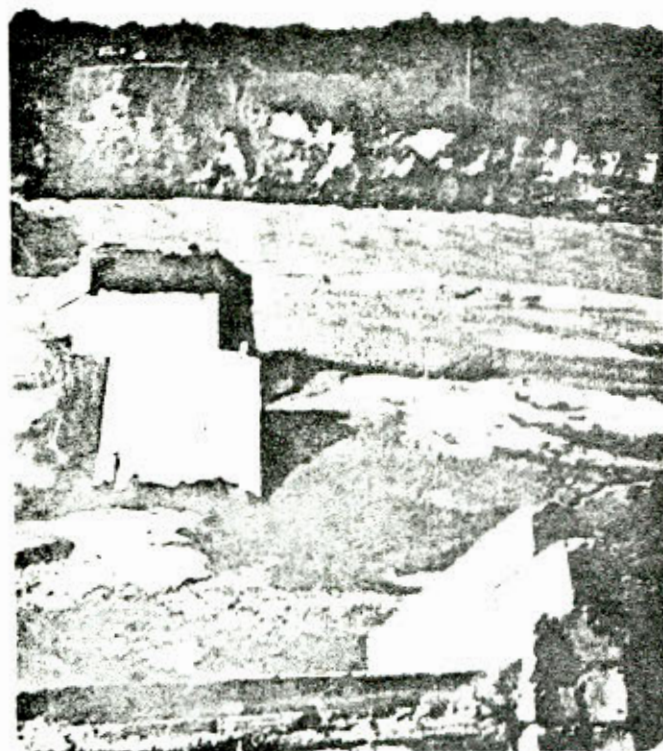
--- EN LA EPOCA DEL PROYECTO
— EN JUNIO DE 1981
— EN MARZO DE 1983

ESCALA

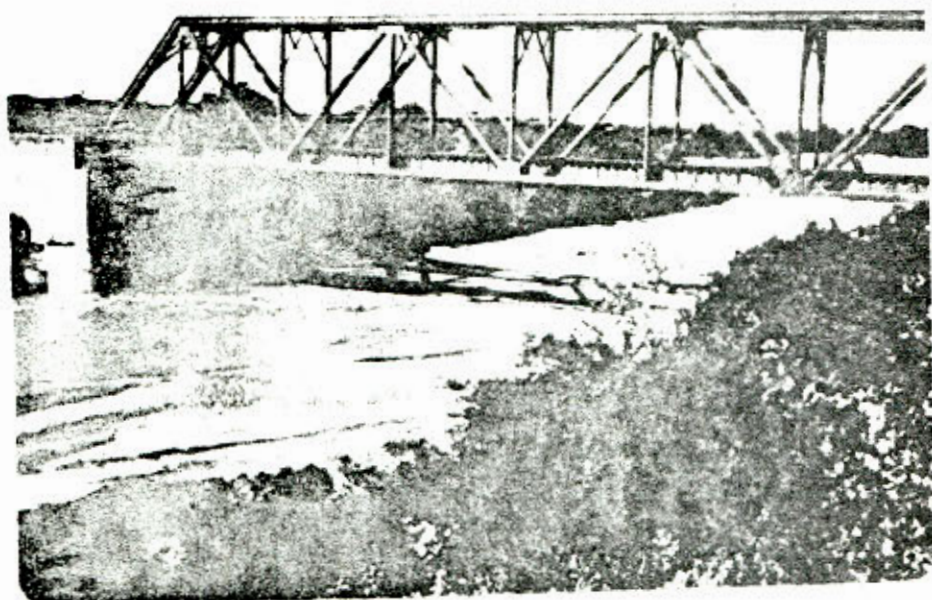


Lámina 2

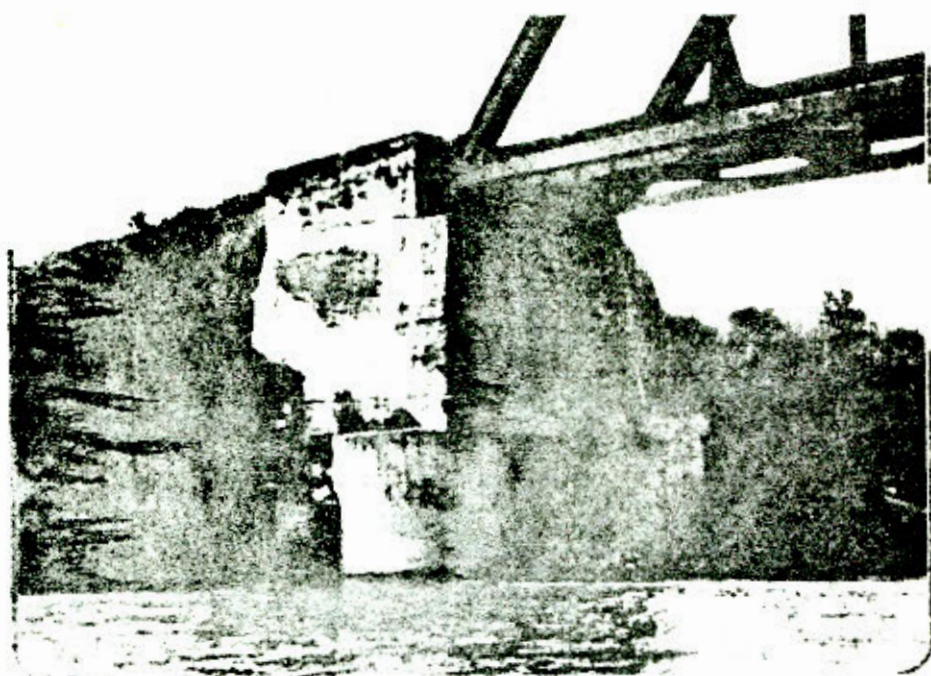
Fotografía N° 1
 Puente sobre anterior trazado
 de la Ruta Prov. N° 5 sobre el
 Río del Valle destruido luego
 de la crecienta de febrero/1981
 (AI 3-6-81)



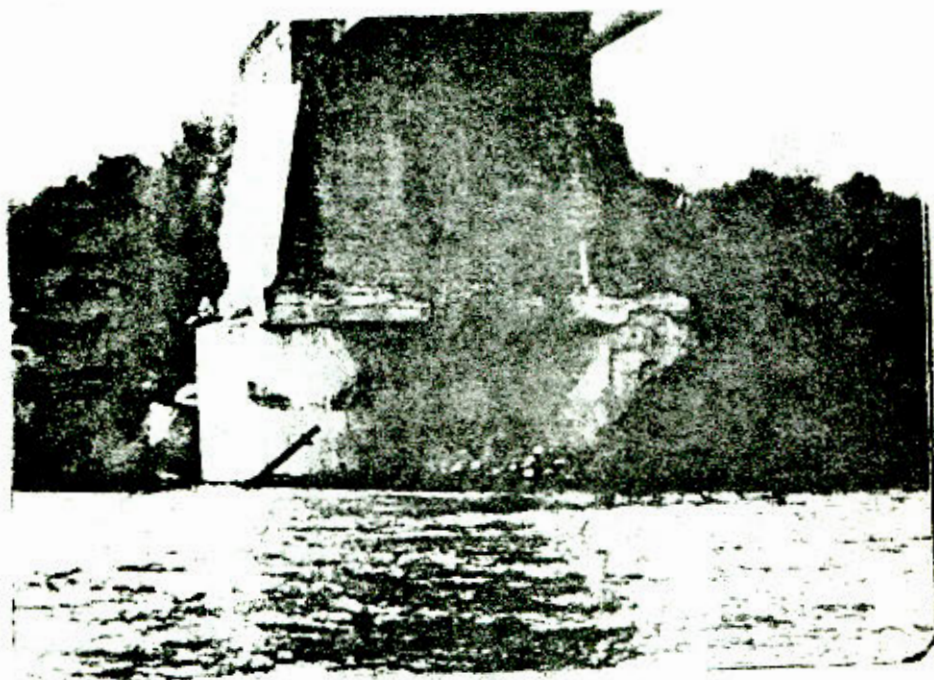
Fotografía N° 2
 Estado del puente
 sobre el F.C. Gral.
 Belgrano luego de
 la crecienta de
 febrero/81
 (AI 3-6-81)



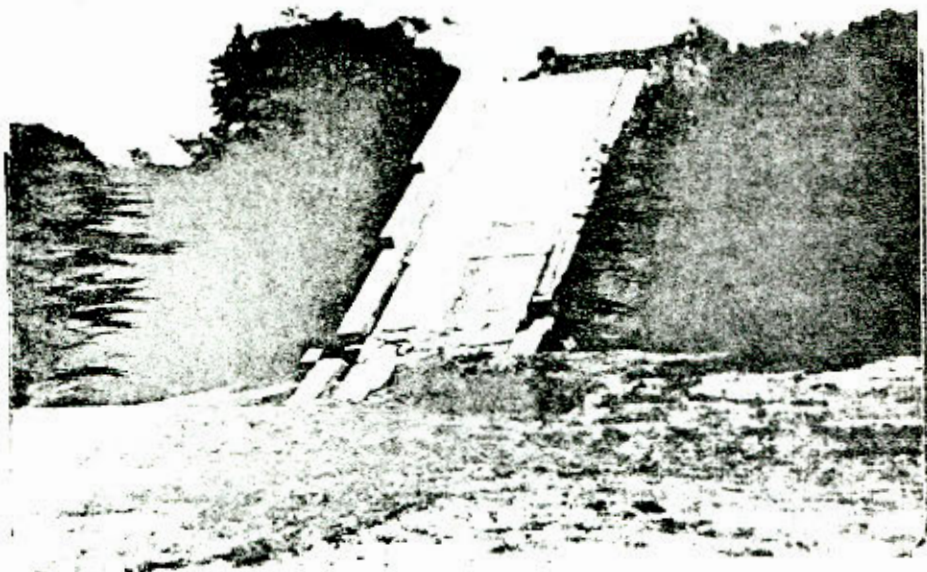
Fotografía N° 3
Estado del estribo de
la margen izquierda
del puente ferrovia-
rio. Vista lateral.
(A1 22-1-82)



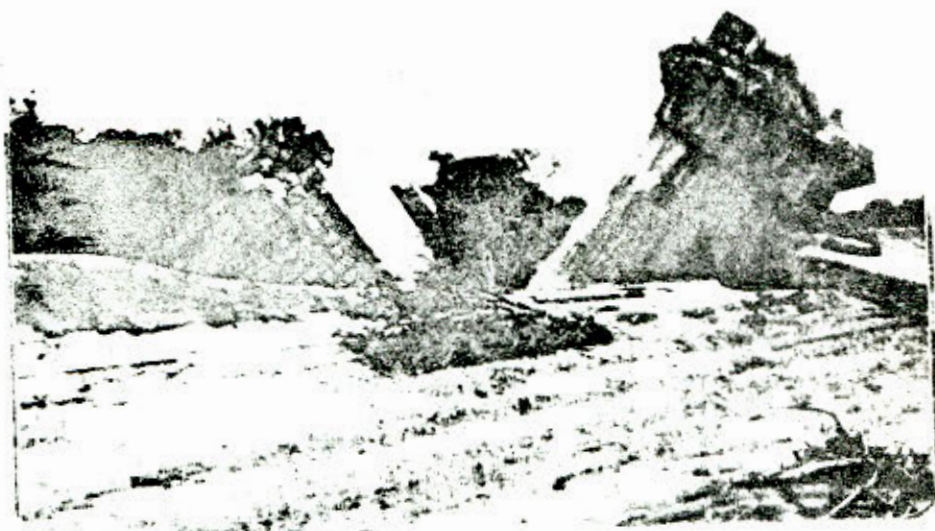
Fotografía N° 4
Estado del estribo de
la margen izquierda
del puente ferrovia-
rio. Vista frontal.
(A1 22-1-82).



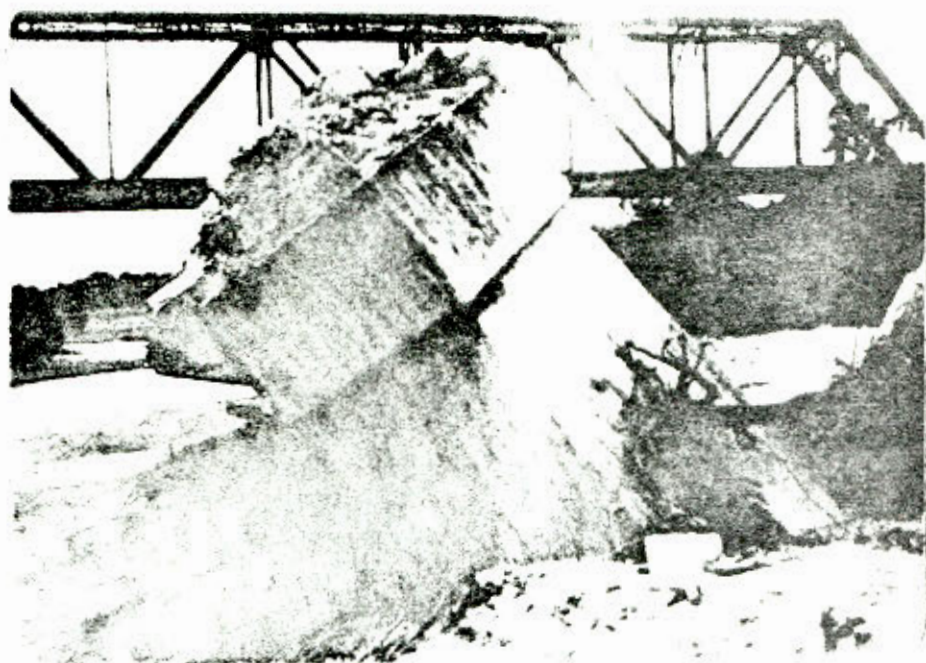
Fotografía N° 5
 Estribo margen derecha
 del puente sobre Ruta
 Prov. N° 5 y primer
 tramo del arco caído.
 (Al 22-1-82)



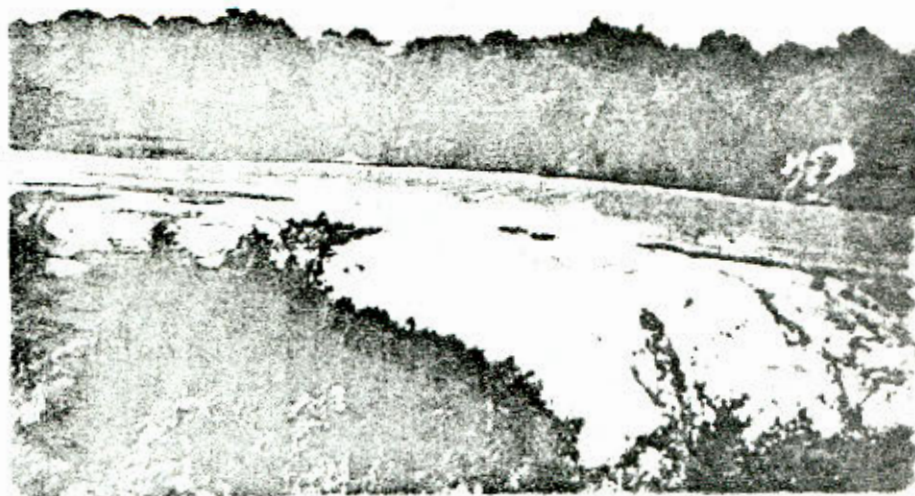
Fotografía N° 6
 Estribo margen derecha
 del puente sobre Ruta
 Prov. N° 5. Pila de
 apoyo y arranques de
 1° y 2° arco.
 (Al 22-1-82)



Fotografía N° 7
Estribo margen derecha
del puente sobre Ruta
Prov. N° 5. Detalle pi-
la de apoyo.
(A1 22-1-82).



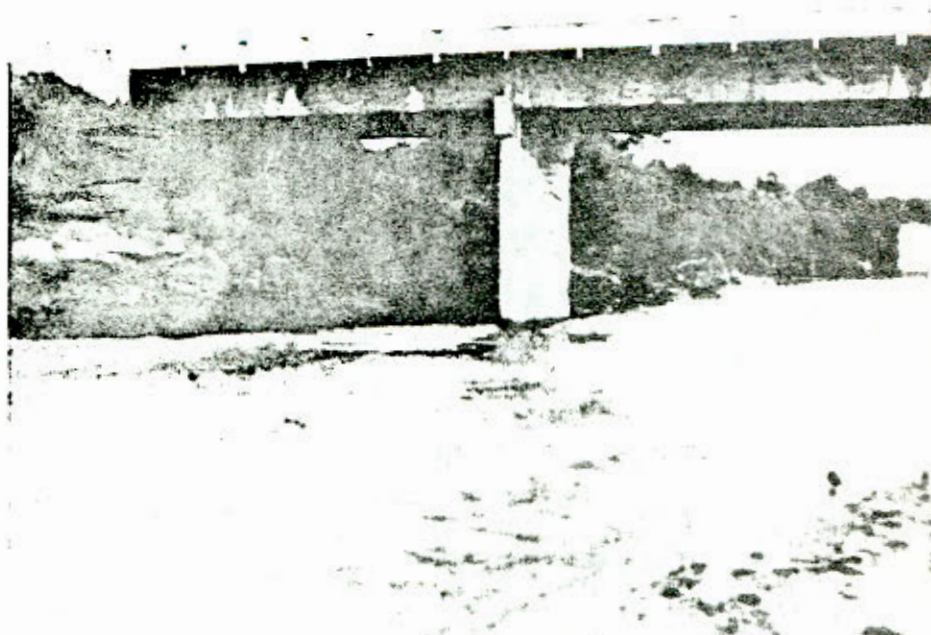
Fotografía N° 8
Vista de la barranca
de la margen izquierda
(A1 3-6-81)



Fotografía N° 9
Vista de la barranca
de la margen izquierda
(Al 22-1-82).

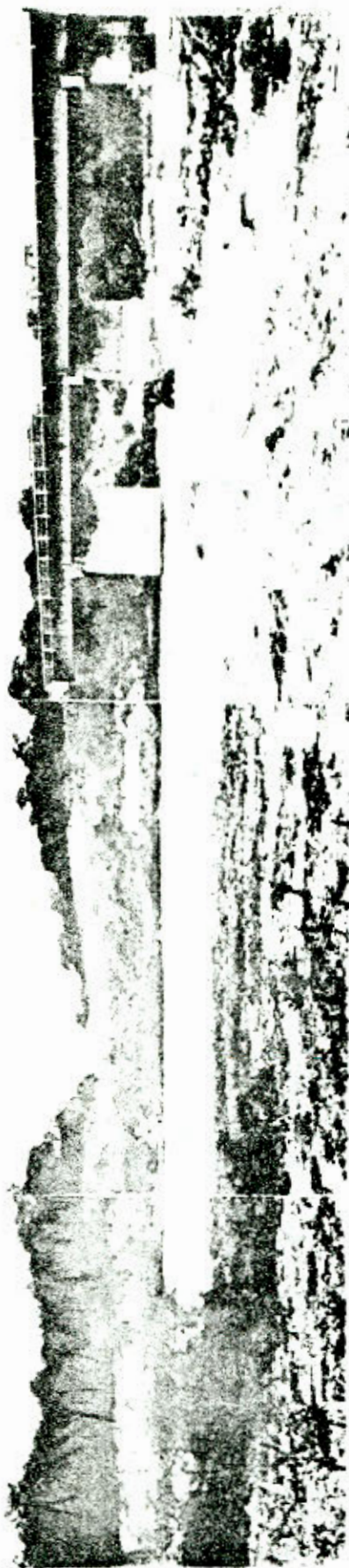


Fotografía N° 12
Detalle de la margen
izquierda en el
emplazamiento del
puente. (al 20-4-83).





Fotografía N° 10. Vista panorámica de la margen izquierda del
Río del Valle aguas arriba del emplazamiento del puente (Al 20-4-83)



Fotografía N° 11. Vista panorámica del puente construido sobre el Río del Valle. Estado de la barranca de la margen izquierda (A1 20-4-83).

ANALISIS DEL ESCURRIMIENTO EN CURVAS

Es interesante analizar cualitativamente los fenómenos de escurrimiento en una curva. En ella, al movimiento de escurrimiento general, con velocidades que distan mucho de ser uniformes, se superponen corrientes secundarias transversales que tienen tendencia a dirigirse de arriba hacia abajo, desde la ribera cóncava, y arrastrar los elementos de fondo hacia la orilla convexa. Es como si los filetes líquidos fueran torcidos en barrero.

Se puede explicar brevemente la formación de estas corrientes secundarias mediante las siguientes consideraciones: (Fig. 1)

- El campo de velocidades en un alineamiento recto no es evidentemente uniforme; las velocidades en el fondo y en los bordes son más reducidas que en la superficie y en el centro (Fig. 1 a).
- Cuando los filetes de mayor velocidad del núcleo central de escurrimiento llegan a la curva, (Fig. 1 a), ellos no pueden seguir una trayectoria curva, sino mediante una inclinación de la superficie, (Fig. 1 b), el gradiente transversal de presiones equilibra entonces la fuerza centrífuga proporcionalmente a

$$V^2$$

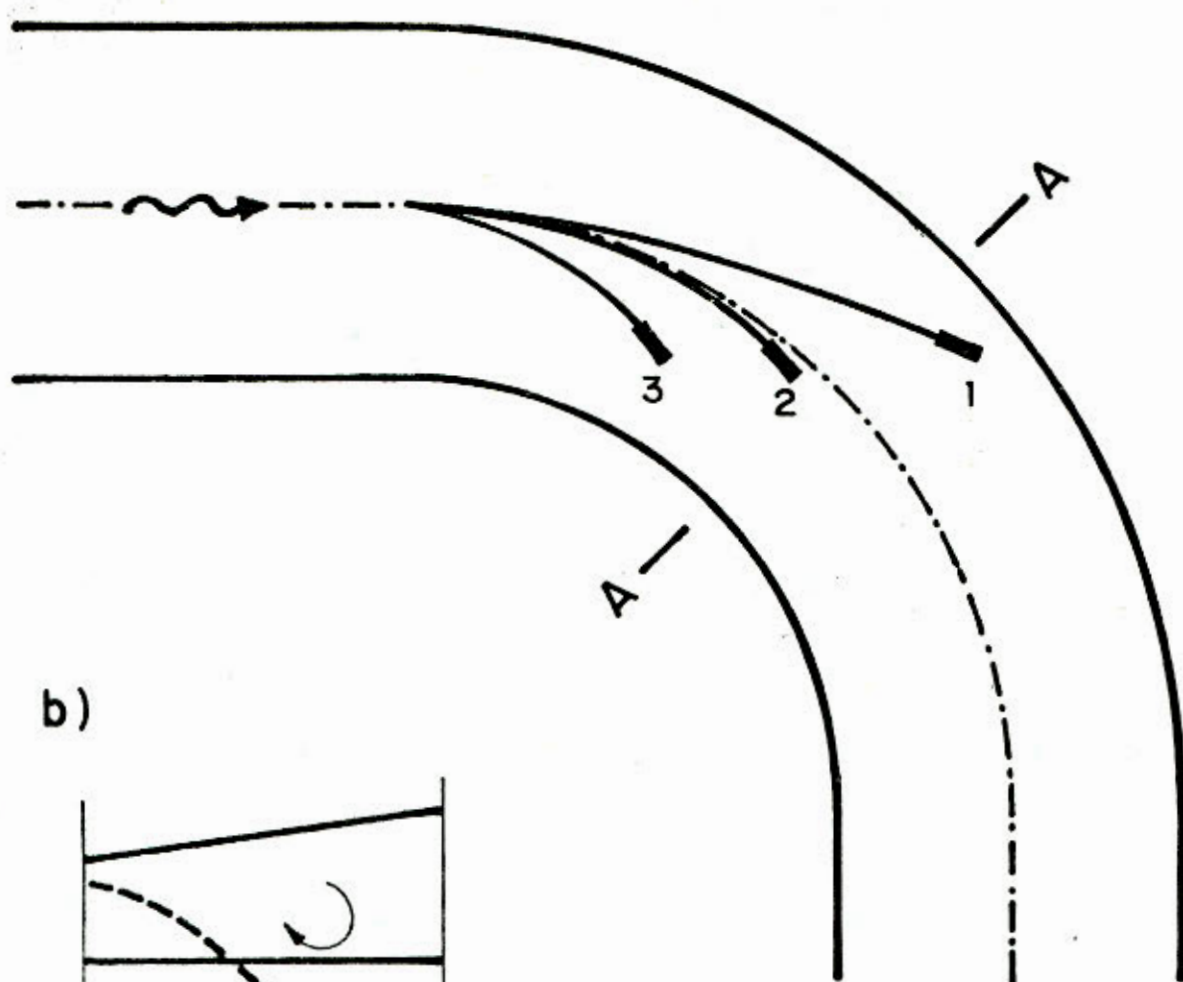
$$R$$

Pero esta inclinación superficial es demasiado grande para los filetes interiores, cuya velocidad es menor (Fig. 1 c). Todo sucede como si el gradiente transversal de presiones correspondientes a esa inclinación empujase estos filetes hacia el interior de la curva, induciendo el movimiento de barrero antes descrito. Así resulta que los filetes de baja velocidad describen trayectorias de reducido radio de forma que V^2/R equilibra este gradiente (Fig. 1 d).

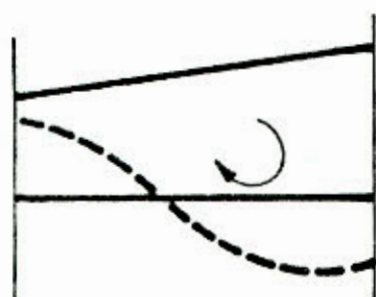
Finalmente, los filetes lentos del fondo "toman la cuerda".

En consecuencia, a lo largo de la ribera cóncava se tienen velocidades mayores que la media, más erosivas, mientras que sobre la orilla convexa, las velocidades son más reducidas y hay una tendencia a la sedimentación. Esto concuerda con las constataciones de la experiencia que indican que los materiales sólidos tienen una tendencia a "vertar" las curvas, mientras que el agua es más "limpia" a lo largo del extrados de las curvas.

a)

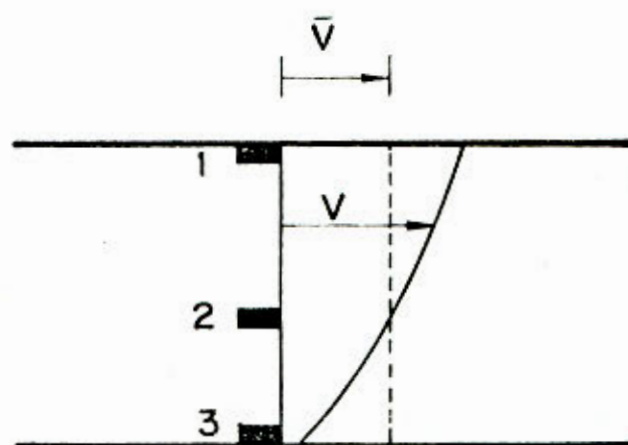


b)



SECCION A - A

c)



SECCION LONGITUDINAL
A LA ENTRADA DEL CODO

Fig. 1

ESTUDIO EN MODELO REDUCIDO DEL ESCURRIMIENTO EN CURVAS

Con el fin de encontrar soluciones a los derrumbes que se producían en una ruta de turismo en la Alta Saboya, por acción de un afluente del Isère que la bordea, el organismo vial de la región, encomendó al SOGREAH (Société Grenobleise d'Etudes et d'Applications Hydrauliques) el estudio correspondiente. Así se llegó a proponer soluciones para casos específicos. Pero con el fin de poder extraer conclusiones generales, y visto el número de paramentos que intervienen, se determinó que era necesario el desarrollo de un estudio sistemático a través de un modelo reducido, en función de la forma geométrica de la curva, de la granulometría del lecho y del caudal del río.

Se construyó así un modelo, que en su desarrollo comprendía ocho curvas, cuyos radios y ángulos se muestran en la Fig. 2, con fondo móvil y paramentos de inclinación variable.

En los Gráficos Nº 1, 2 y 3 se muestra la variación de la socavación $H-h/h_e$, en función del tirante con paramento vertical, inclinado 2 : 3 y vertical con solera al pie, respectivamente. (*)

Los gráficos son elocuentes: una margen tendida, o una solera de pie, reducen notablemente la socavación.

SOCAVACION LOCALIZADA EN UNA CABECERA DE PUENTE

La socavación localizada junto a una cabecera de puente depende fundamentalmente del parámetro Q_0/Q_B , es decir, la relación entre el caudal "interceptado" por dicha obra y el caudal que escurre por la zona libre del cauce. (Fig. 3).

En el Gráfico Nº 4, debido a E.M. Laursen, queda claramente expresado que para valores pequeños de Q_0 , es decir, que el caudal que escurre por la zona de inundación es pequeño con relación a Q_B , es de esperar reducidos valores del parámetro ds/y_0 , y en consecuencia socavaciones pequeñas.

El Gráfico Nº 5, debido al mismo autor, muestra como depende la socavación del parámetro L/y_0 , donde L es la longitud del terraplén en la zona de inundación.

(*) h_e es un tirante de referencia, determinado por la rugosidad del fondo; es la profundidad correspondiente al comienzo del arrastre de los materiales de diámetro D50.

$$h_e = 0.047 \frac{I' - I''}{I'} \frac{D_{50}}{I}$$

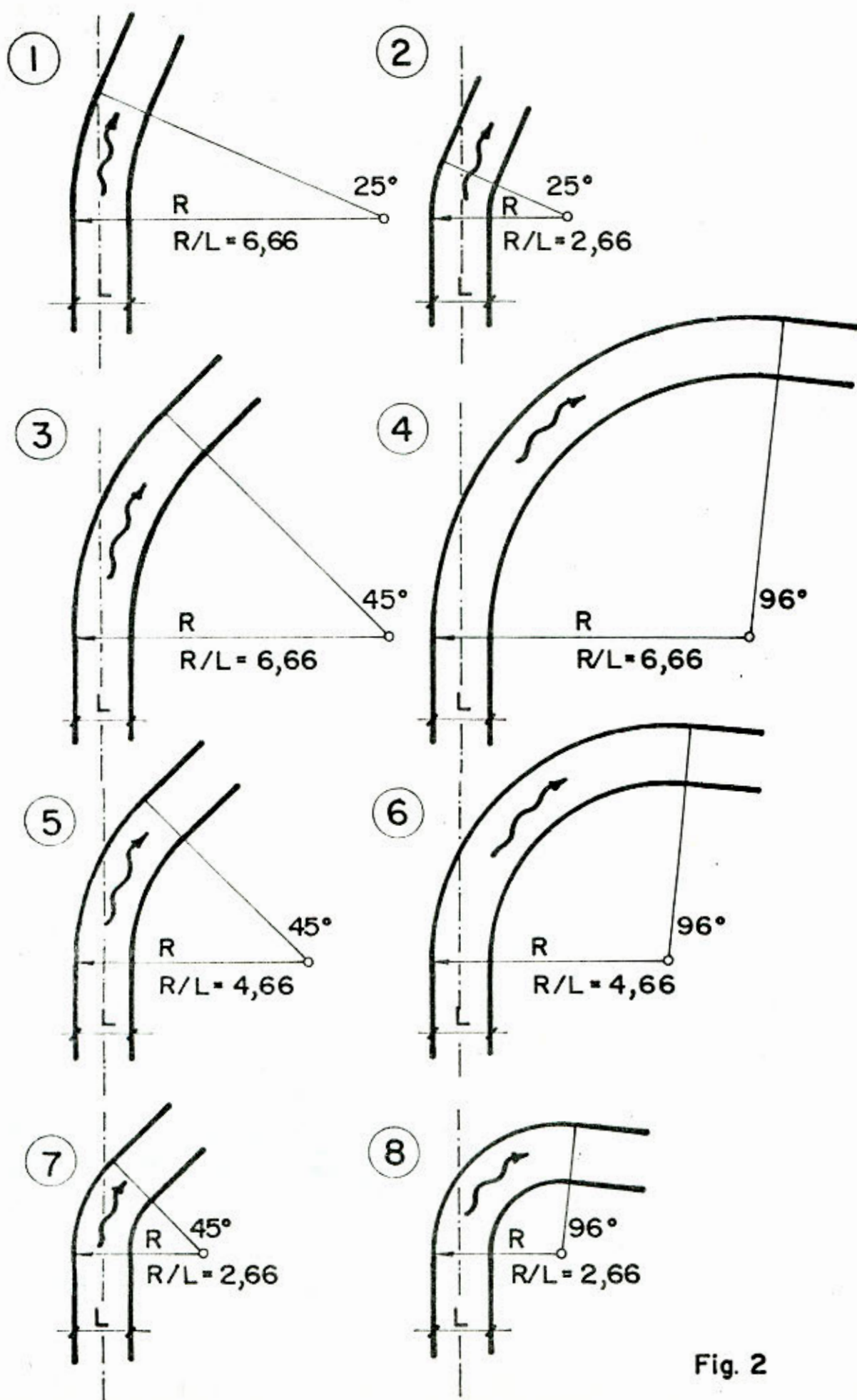


Fig. 2

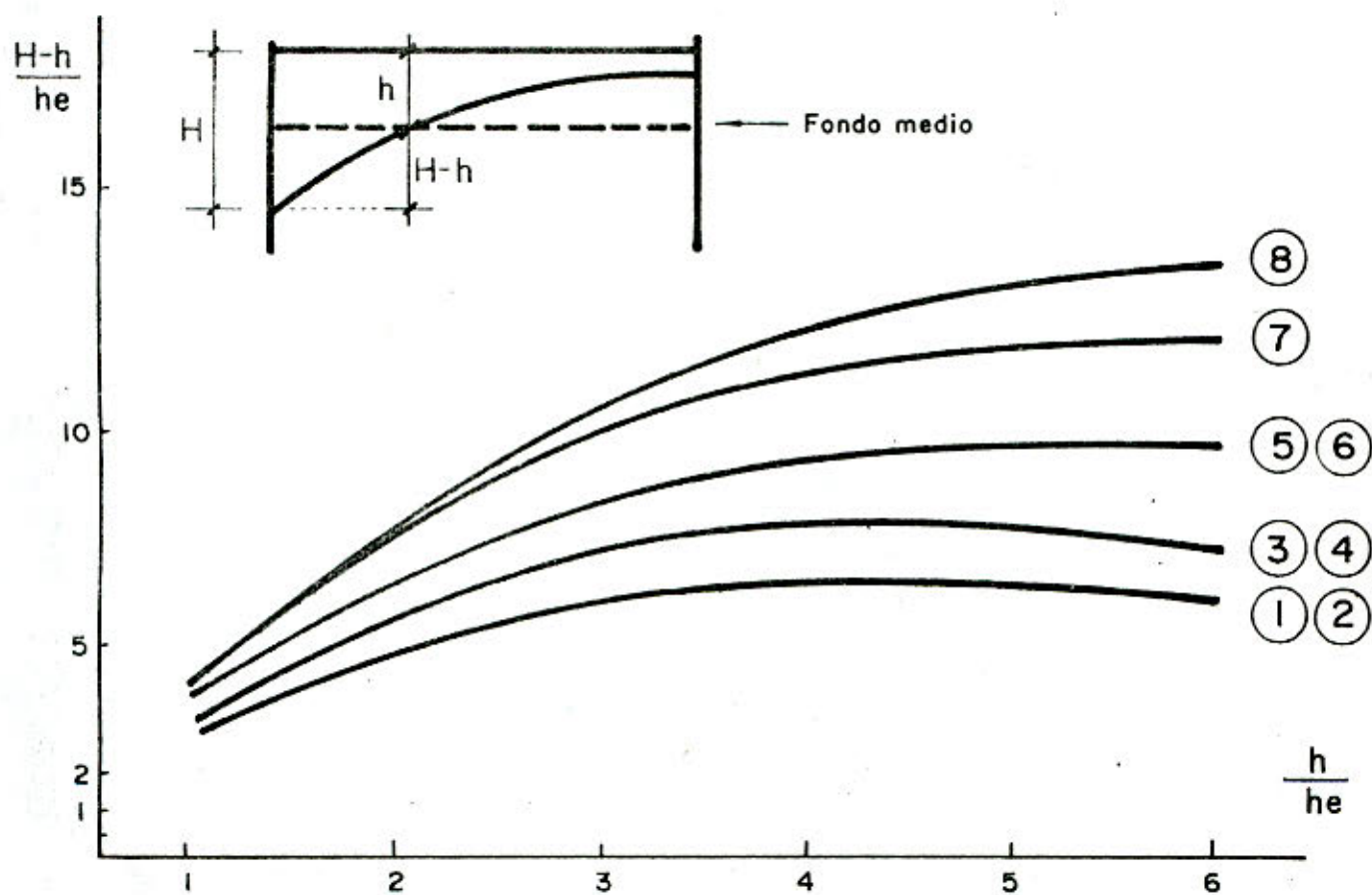


Gráfico Nº 1

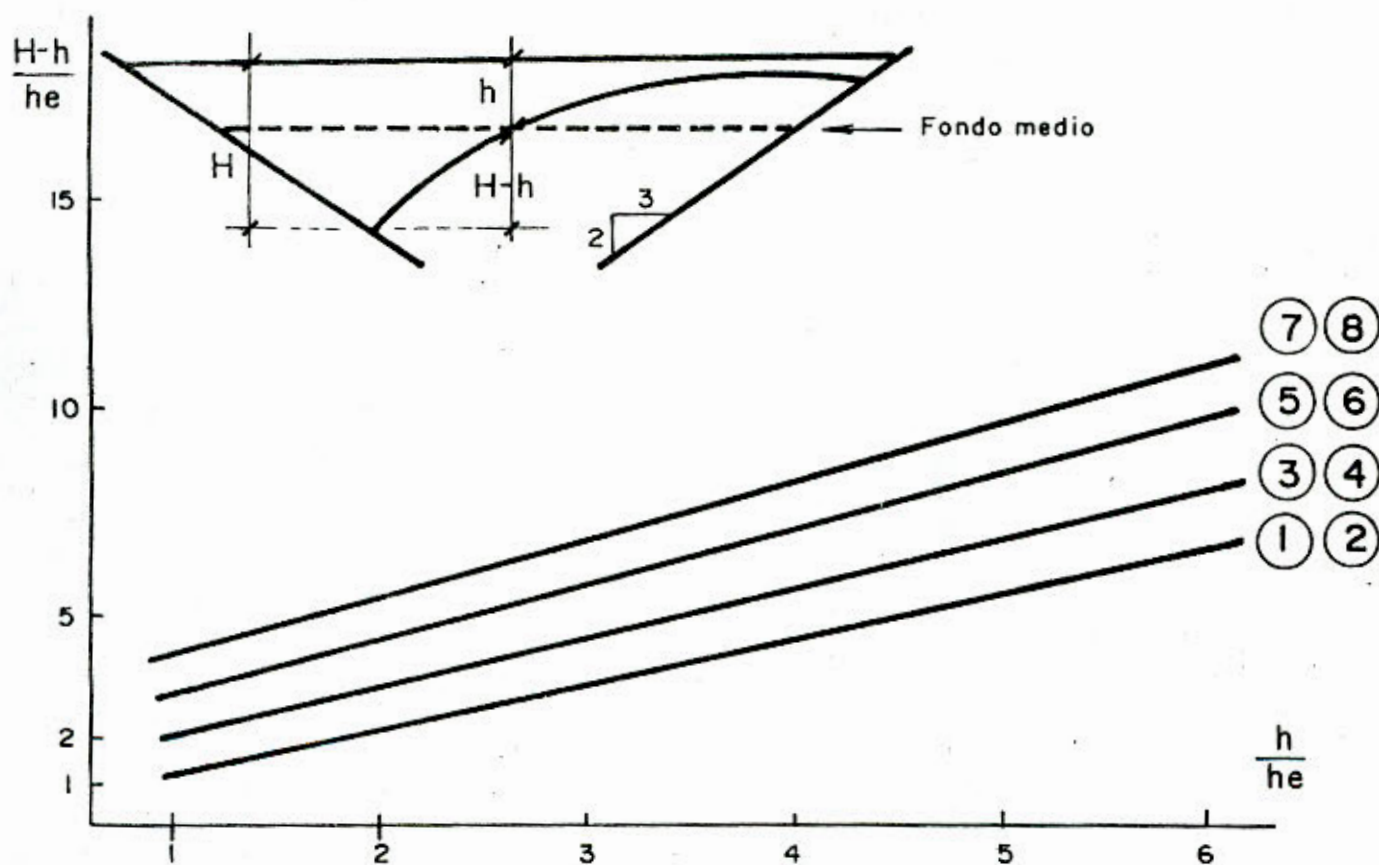


Gráfico Nº 2

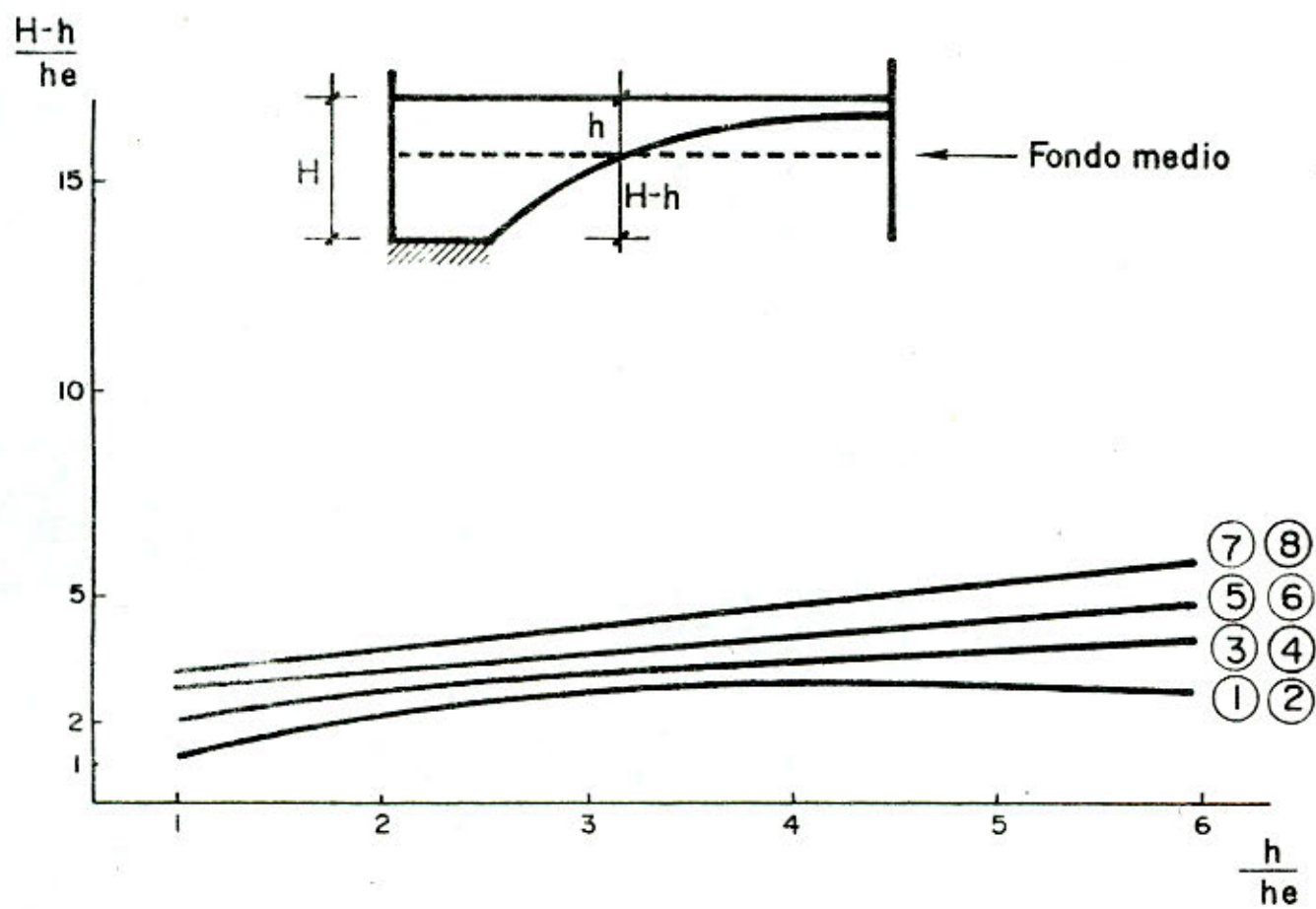


Gráfico N° 3

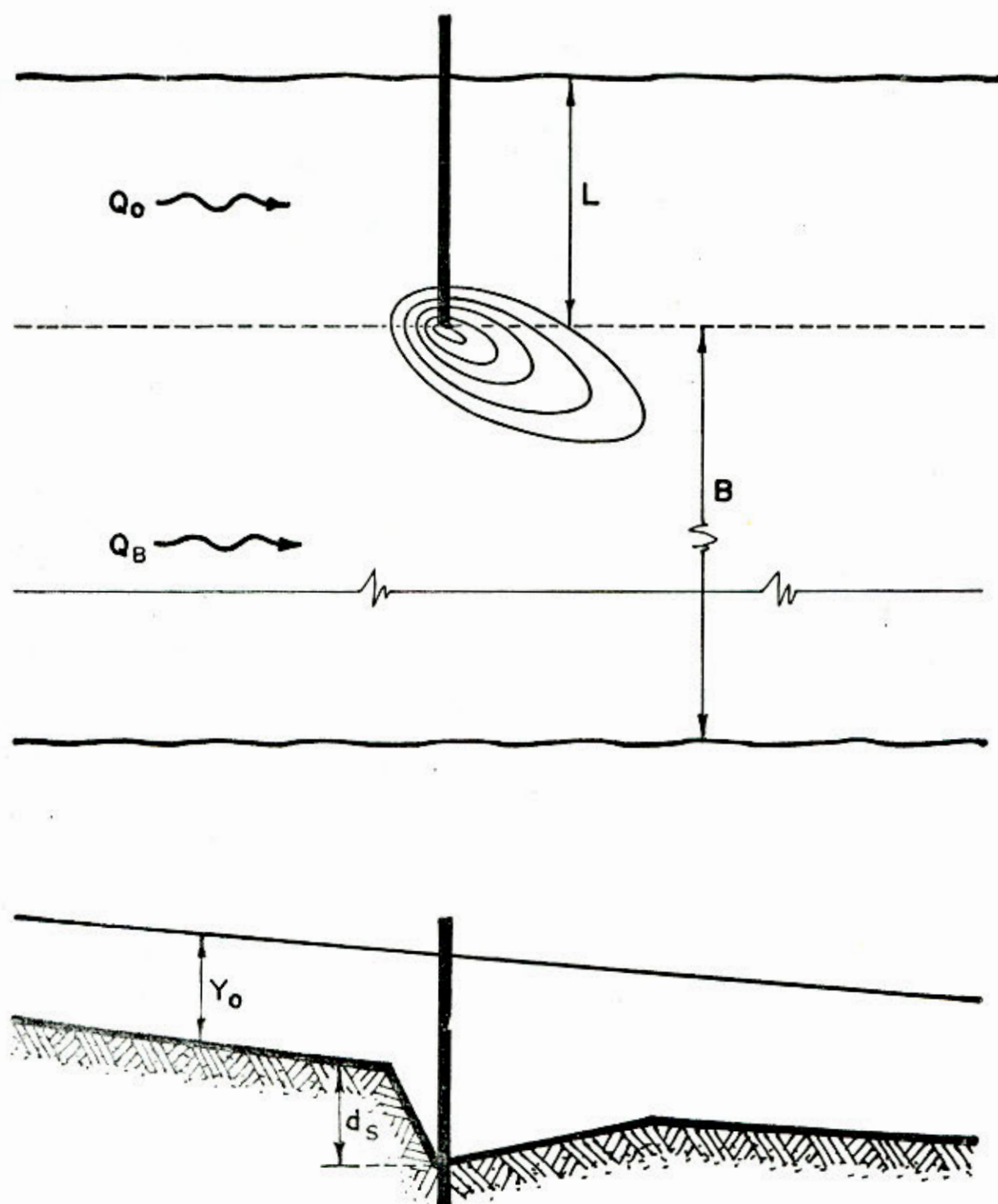


Fig. 3

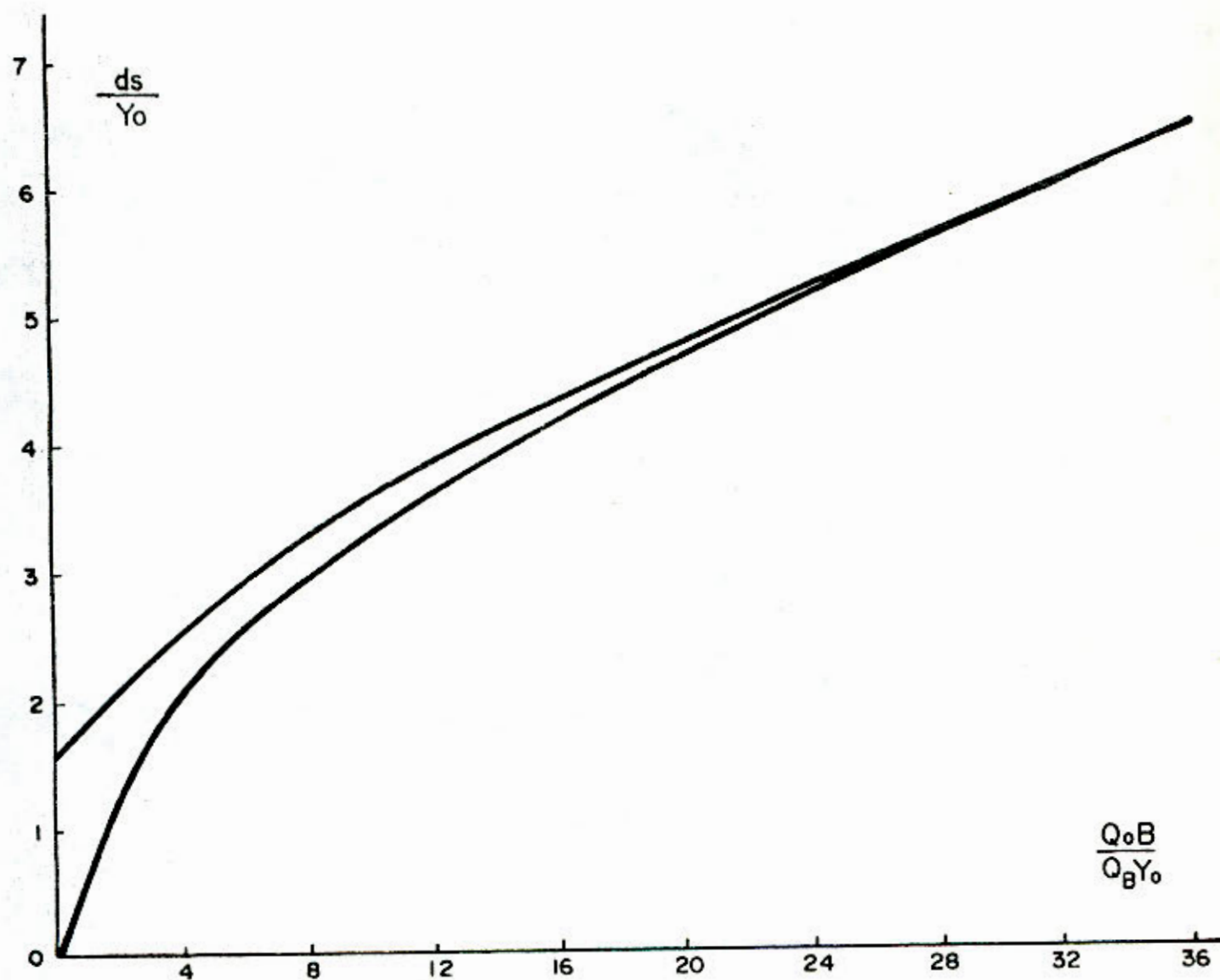


Gráfico N° 4

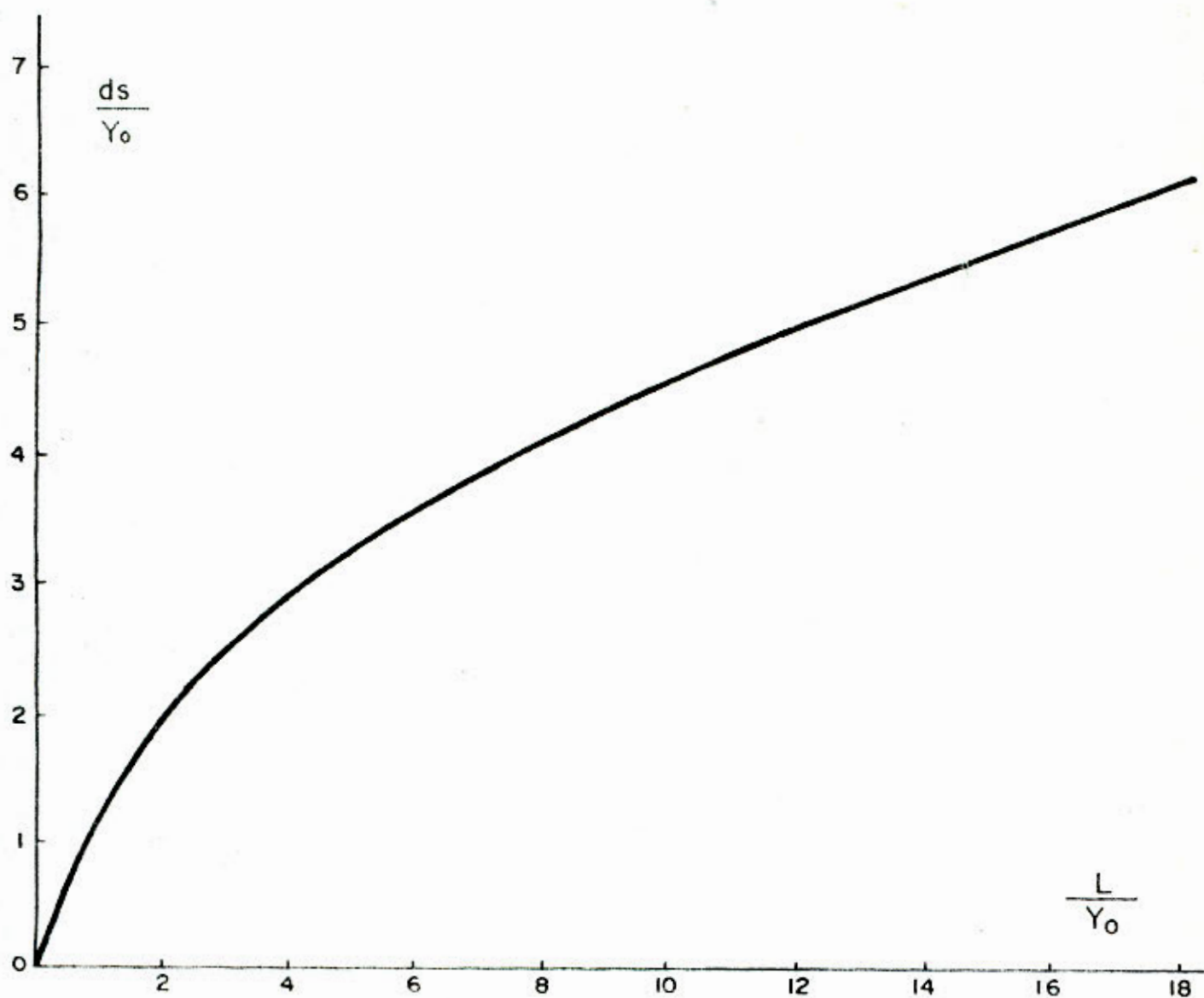


Gráfico N° 5

EVOLUCION GENERAL DEL LECHO

Cuando se encara el estudio de las obras de protección de una ribera, y de una curva en particular, la primera tarea a realizar es examinar la evolución general del lecho del río, a riesgo de que sus modificaciones posteriores puedan hacer que la obra que se construya se vuelva inútil o inadecuada, dado que al cabo de pocos años puede llegar a encontrarse fuera del lecho, o completamente enterrada.

- * La inestabilidad de la traza de un curso fluvial, es debida, fundamentalmente a la presencia de las corrientes secundarias que crean divergencias entre el "encaminamiento" del material de arrastre y el del agua, según el mecanismo ya expuesto. Esto se traduce por una tendencia a la formación de meandros y por la inestabilidad de las bifurcaciones. Se pueden distinguir tres tipos de trazas, con relación al tamaño del material de fondo:

- lechos muy anchos y playos, conteniendo una fuerte proporción de rodados grandes, en cuyo seno se desarrollan numerosos brazos divididos e inestables, formando una suerte de trenzas;

- lechos medianos, en los cuales el lecho menor puede encerrar islas y diversos brazos, más o menos sinuosos;

- lechos estrechos, bien conformados, generalmente constituidos por limos y arenas finas, que forman meandros netos, bien acusados.

Luego de construidas las obras de defensa de márgenes, al quedar fijado el ancho del lecho, las inestabilidades por división de brazos se verán reducidas, o suprimidas; pero la tendencia a la formación de meandros se conserva, a veces con vigor, aún en alineamientos rectos.

Las sinuosidades, así formadas, se deslizan lentamente hacia aguas abajo, con el curso del tiempo, de modo tal que es posible que se produzcan erosiones sobre ambos márgenes de los alineamientos rectos, o aún en la margen convexa de los codos (Fig. 4). Estos efectos se atenúan, o desaparecen, por efectos de las grandes crecidas.

- * En cuanto a las modificaciones del perfil longitudinal del lecho, ellas son consecuencia del efecto de una, o varias, de las causas siguientes:

- evolución geomorfológica general, muy a menudo suficientemente lenta y que resulta de la erosión de la cuenca superior; del arrastre y depósito de los materiales correspondientes, considerados en el conjunto del lecho;

- evolución geomorfológica local, que puede ser más importante

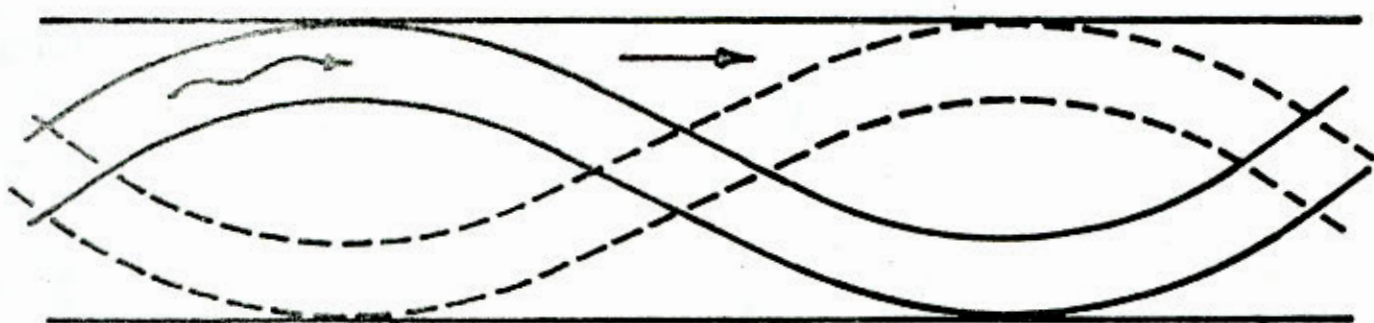


Fig. 4

en ciertos puntos. Por ejemplo, si un afluente descarga en el río principal grandes bloques, que éste no puede mover, se forma así un umbral que provoca una elevación del lecho, aguas arriba, y eventualmente una depresión, aguas abajo;

acción de la obra de protección erigida, que puede modificar la capacidad media de transporte de sólidos, en la zona protegida. Generalmente esa capacidad se acrecienta, sobre todo si la obra de protección acorta el recorrido del curso, con el consiguiente aumento de la pendiente. El fondo en general desciende en la parte aguas arriba de la defensa y sube hacia aguas abajo. (Fig. 5).

* Por otra parte, las variaciones de esta capacidad de transporte en función del caudal, no es más la misma que para el lecho natural, de modo tal que hacia los extremos de la obra se superponen a la evolución media, los fenómenos de depósitos o erosión relacionados con las variaciones de caudal:

- la retención de los aportes sólidos originada por obras de embalse, determina correlativamente un descenso del lecho aguas abajo;
- la reducción del caudal, por "achataamiento" de las crecidas debido a obras de embalses o regulación, o por derivaciones, puede determinar un ascenso del lecho.

Un ejemplo clásico de estos fenómenos se presenta en el tramo Bale - Lauterbourg, del Rin. A comienzos del siglo XIX mostraba un lecho inestable, sembrado de islas, numerosos brazos y meandros y zonas pantanosas. El ingeniero militar Tulla concibió un plan de sistematización, que fue realizado entre 1817 y 1876. El mismo consistió en concentrar las aguas en un lecho único, regularmente trazado, y el consiguiente taponamiento de todos los brazos. Tal como era previsible, la evacuación de las crecidas mejoró notablemente y se sanearon las tierras anegadizas. Pero la longitud total del tramo se había acortado en un 15 % y la sección media reducida, de modo que la capacidad de transporte se vio sensiblemente aumentada. La parte aguas arriba, hacia Mulhouse, se profundizó, mientras que los depósitos que se produjeron aguas abajo hicieron imposible la navegación más allá de Estrasburgo, a comienzos del siglo XX.

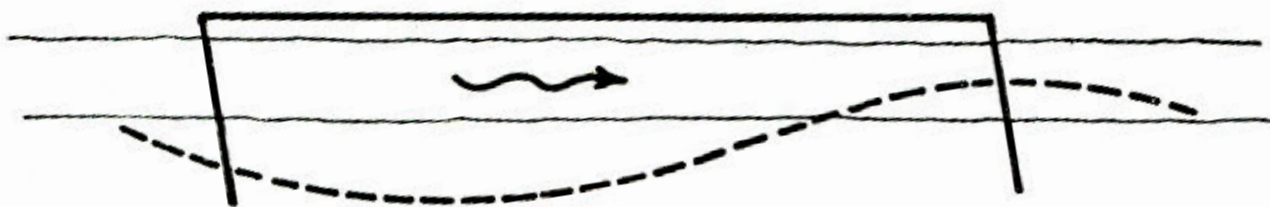


Fig. 5

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO DEL VALLE

Volvamos al Río del Valle, analizándolo a la luz de lo expuesto.

Para la conformación que presentaba el cauce en la época del proyecto, los terraplenes de las cabeceras del puente sólo implicaban una pequeña restricción al paso del caudal correspondiente a la creciente de diseño y se pudo considerar como suficiente la obra de protección proyectada, consistente en un revestimiento de talud con losetas de hormigón, terminado con una viga de pie apoyada en un tablestacado atirantado, fundado debajo de la cota de socavación estimada.

Ahora bien, de acuerdo con lo expuesto hasta ahora, la conformación del cauce ha sufrido ya una modificación importante, la que se podrá acentuar con el transcurso del tiempo. Ello traerá aparejado un incremento del caudal interceptado Q_0 , es decir, valores crecientes del parámetro Q_0/QB , con el consiguiente incremento de la socavación (Gráfico N° 4).

A medida que la onda del meandro en avance penetre en la zona de aguas arriba de la cabecera norte, se alcanzarán mayores valores del parámetro L/Y_0 , y como consecuencia se producirá un incremento de la probable socavación (Gráfico N° 5).

Esta situación se verá agravada por la conformación curva que habrá de tomar el cauce, cuando la onda del meandro haya avanzado, aproximándose al eje del puente, circunstancia en la cual, por el efecto de la curva, se incrementará la socavación localizada, indicada por los Gráficos N° 4 y N° 5 y que es válida para alineamientos rectos.

La obra que recomendamos ejecutar entonces, en una etapa inmediata, tendía a paliar estos efectos, mejorando la estabilidad y permanencia de la protección del talud, asignada, como queda dicho, al tablestacado atirantado. En las Fig. 6, 7 y 8 se dan la conformación general y los detalles constructivos, de la adaptación al caso presente, de una defensa de margen utilizada por Vialidad Nacional con anterioridad, que podía ser ejecutada con un costo del orden del 0,1 % del monto del contrato de construcción del tramo en cuestión.

La presencia de esta defensa, que llamamos "alfombra elástica", pretendía tener dos efectos concurrentes para mejorar la estabilidad aludida.

El primero, alejar de las proximidades del tablestacado, las zonas de formación de los vórtices, que en última instancia producen la socavación del lecho junto al obstáculo.

El segundo, asegurar el mantenimiento de un talud tendido, aún cuando la socavación modifique la pendiente original, al irse "enterrando" la alfombra, determinando una sustancial reducción de

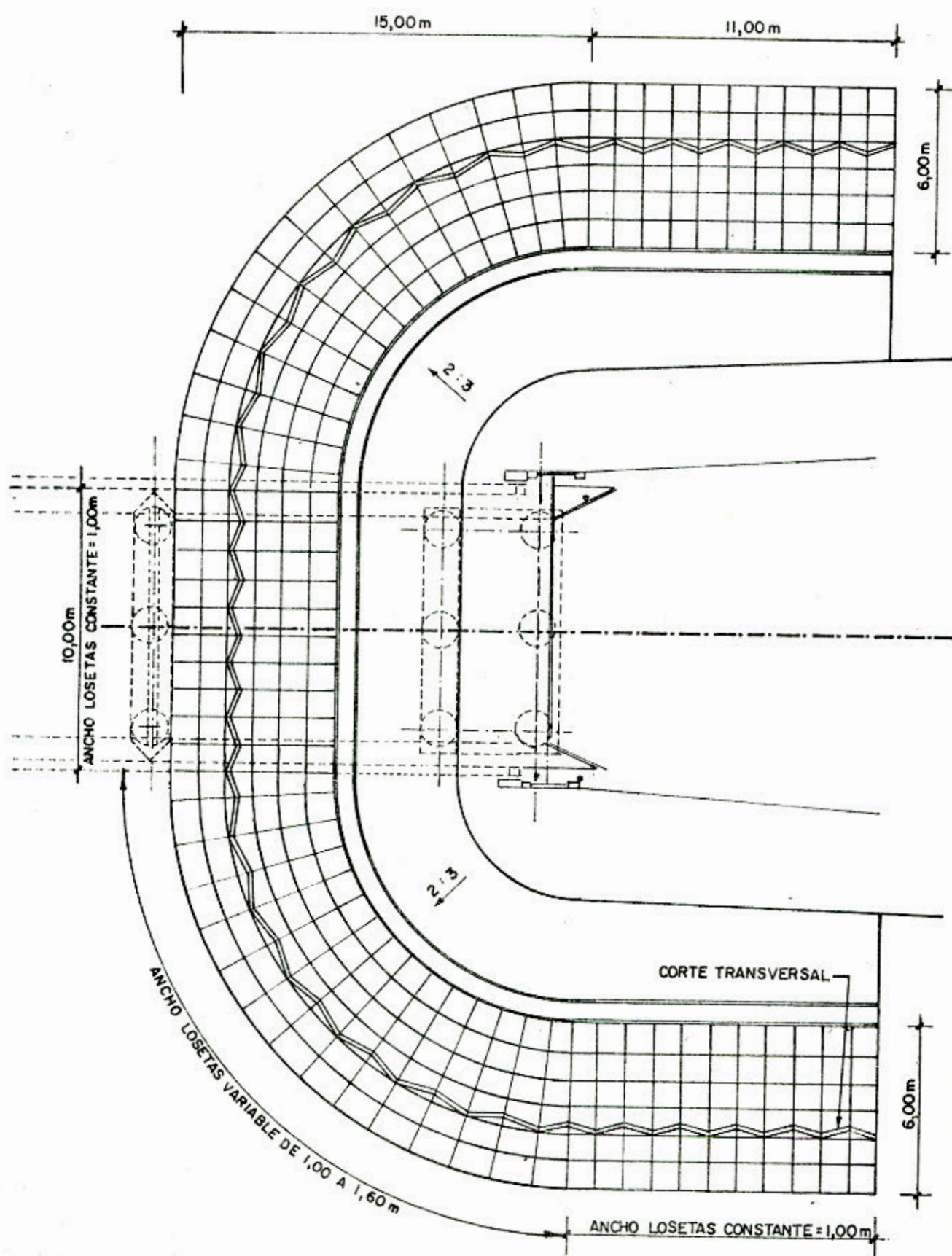


Fig. 6

CORTE POR EJE LONGITUDINAL DEL PUENTE

ESCALA 1:50

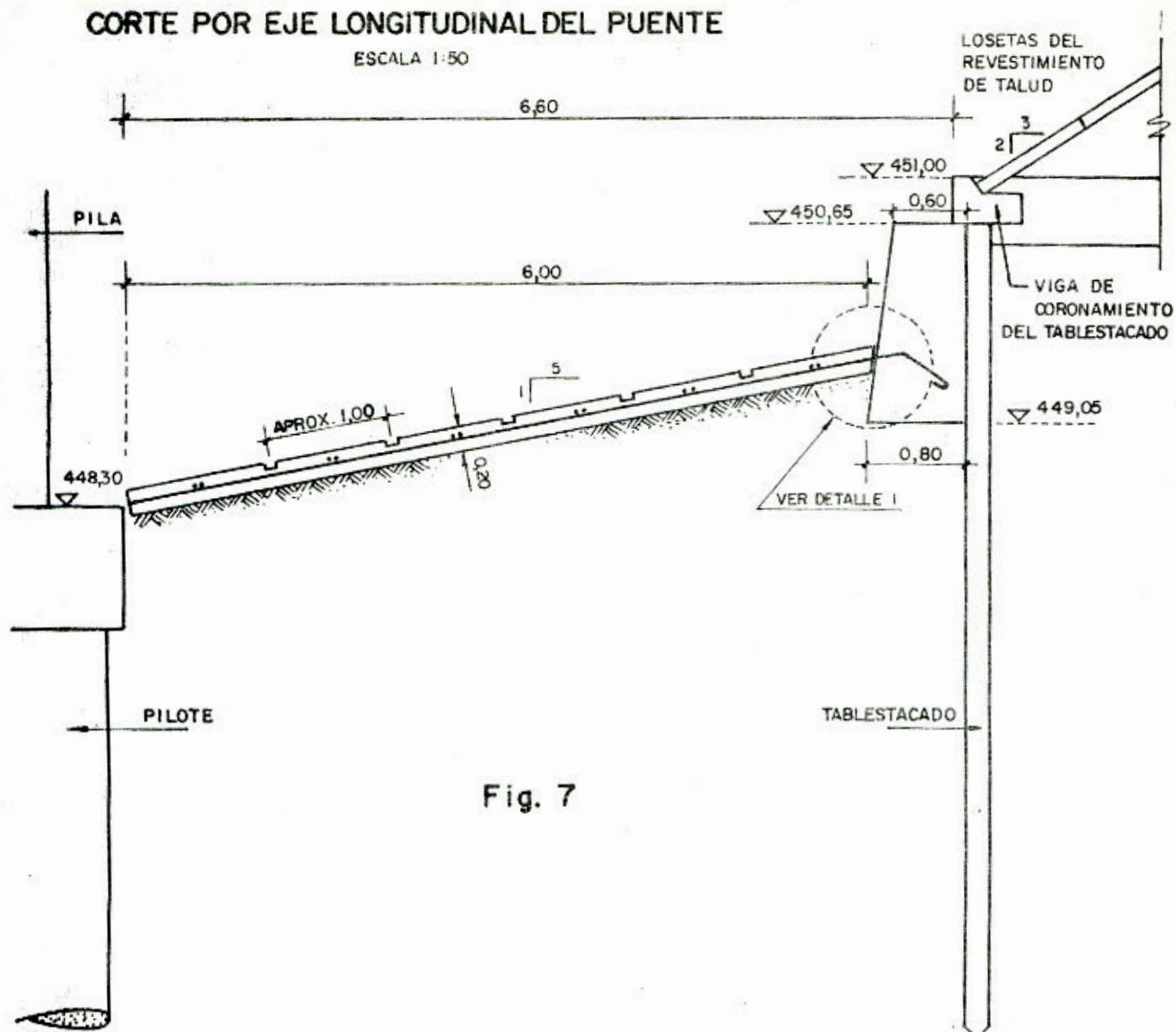
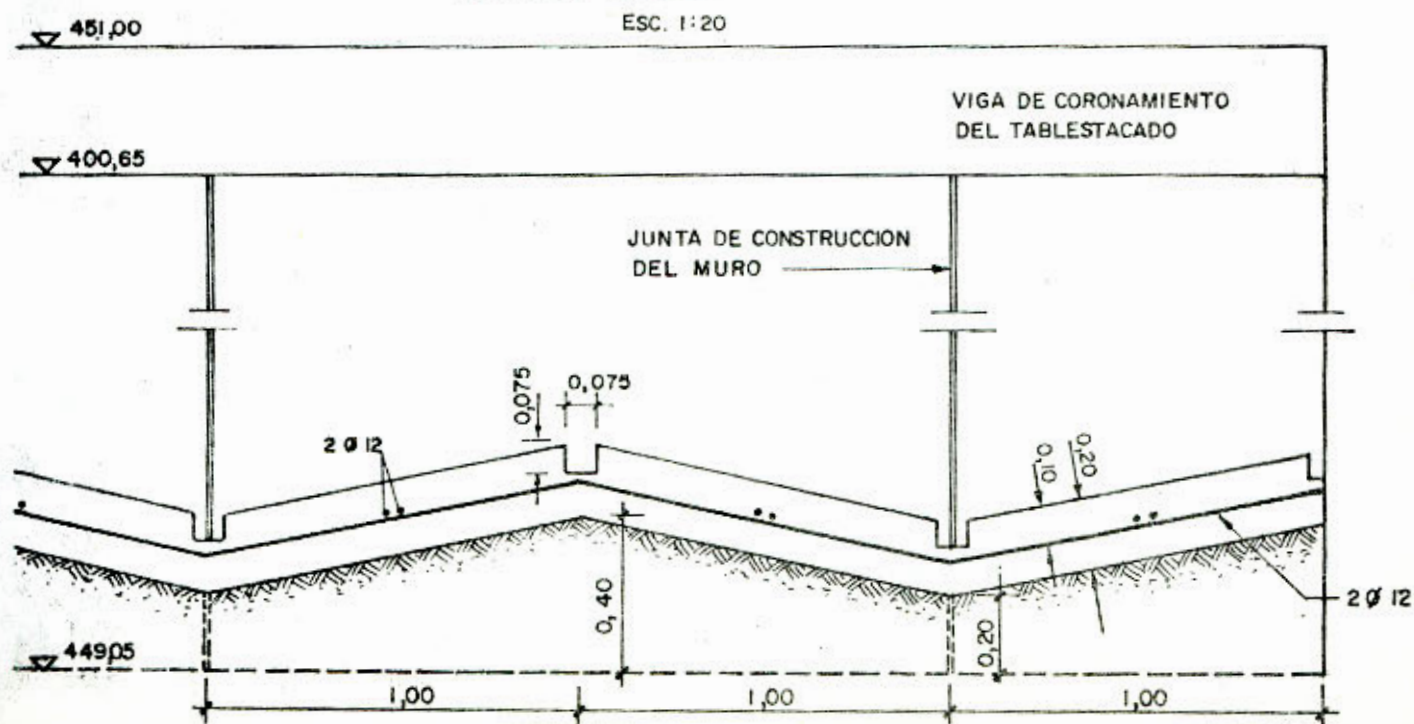


Fig. 7

CORTE TRANSVERSAL

ESC. 1:20



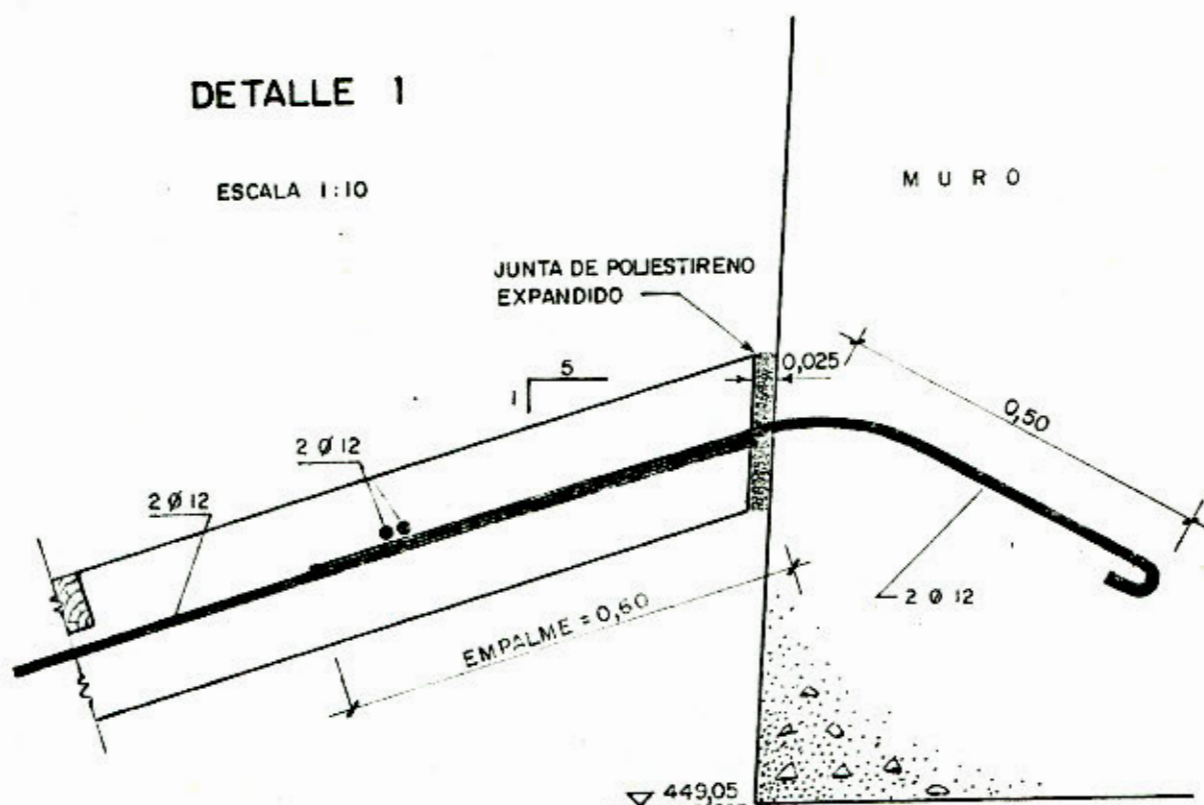


Fig. 8

la socavación; baste para ello, tener presente la comparación de los resultados experimentales de socavación para márgenes verticales o con talud 3 : 2, según surge al cotejar iguales valores del parámetro h/h_e en los Gráficos Nº 1 y Nº 2.

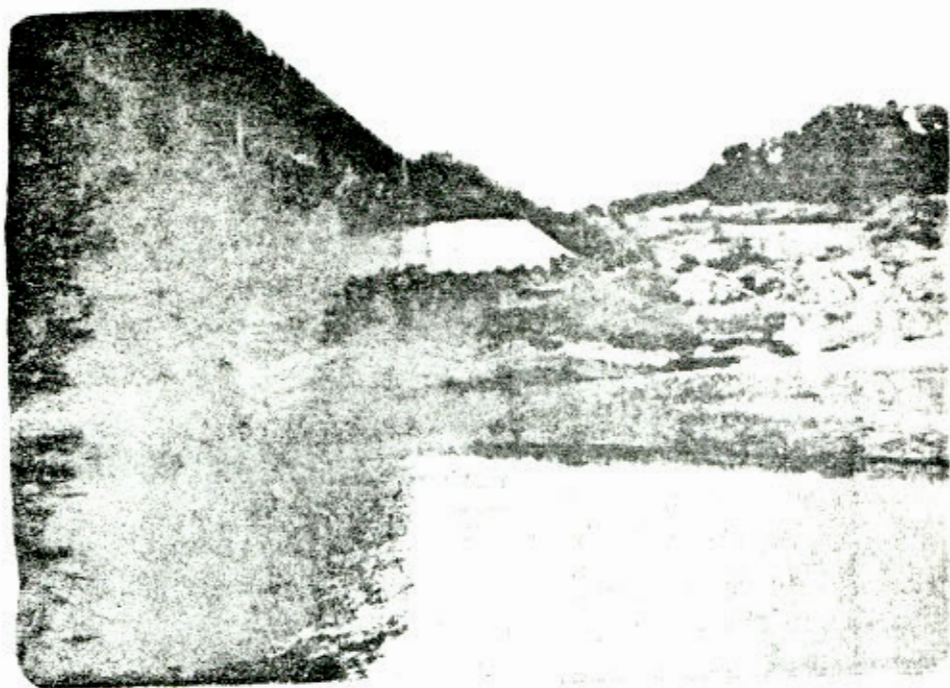
Ejecutada esa obra, el estribo norte, a comienzos del año 1984, presentaba el aspecto de la fotografía Nº 13. El material de arrastre ha cubierto la alfombra y ha crecido la vegetación. Sólo quedan a la vista las losetas del recubrimiento del talud con pendiente 2:3.

La creciente de ese año, en febrero, actuó sobre la "alfombra", con los resultados que muestran las fotografías Nº 14 a 16. En ellos se observa la zona de aguas arriba (Nº 14) donde la cubierta se ha "enterrado" parcialmente, como estaba previsto. Pero ese efecto ha quedado en parte desvirtuado, pues por defectos constructivos (incorrecta posición de las armaduras), parte del revestimiento se desprendió y fue arrastrado por la corriente. En la fotografía Nº 15 se notan las armaduras retorcidas, correspondientes a la parte desprendida, que así dejó al descubierto el suelo subyacente, que en consecuencia fue removido. La zona de aguas abajo (Nº 16) quedó en su posición inicial.

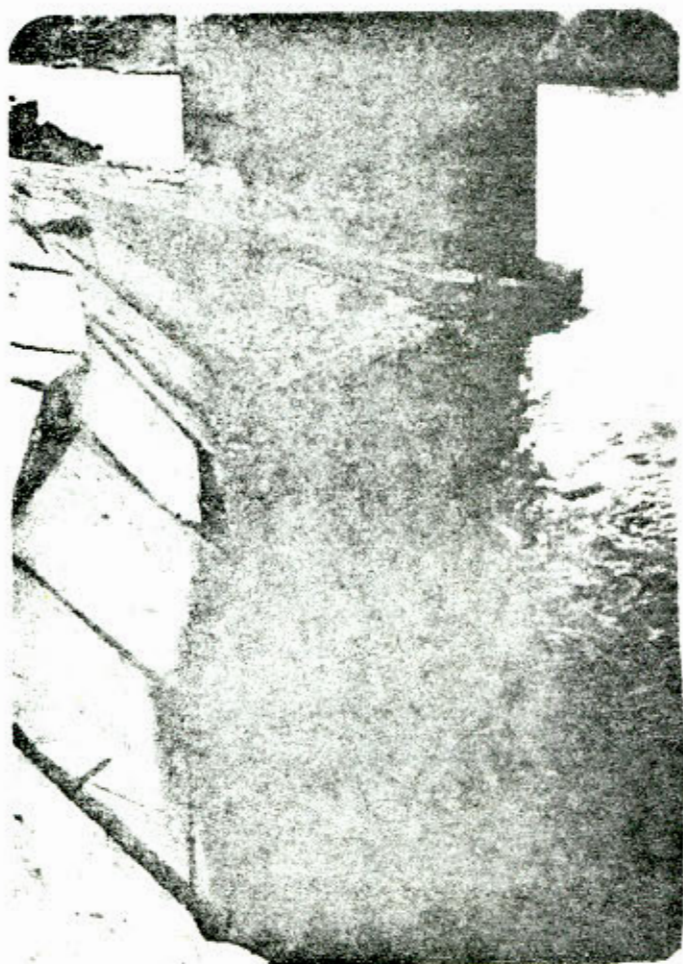
Posteriormente, continuaron la obra de destrucción de la "alfombra", que falta de una oportuna reparación, presentaba en septiembre de 1987, el aspecto que muestran las fotografías Nº 17 a 22.

Como conclusión, se puede decir que cualquier sistema de defensa, aún el mejor, construido con deficiencias y no conservado o reparado, tarde o temprano será destruido, y sin por ello, poder verificar su comportamiento y acopiar experiencias para el futuro.

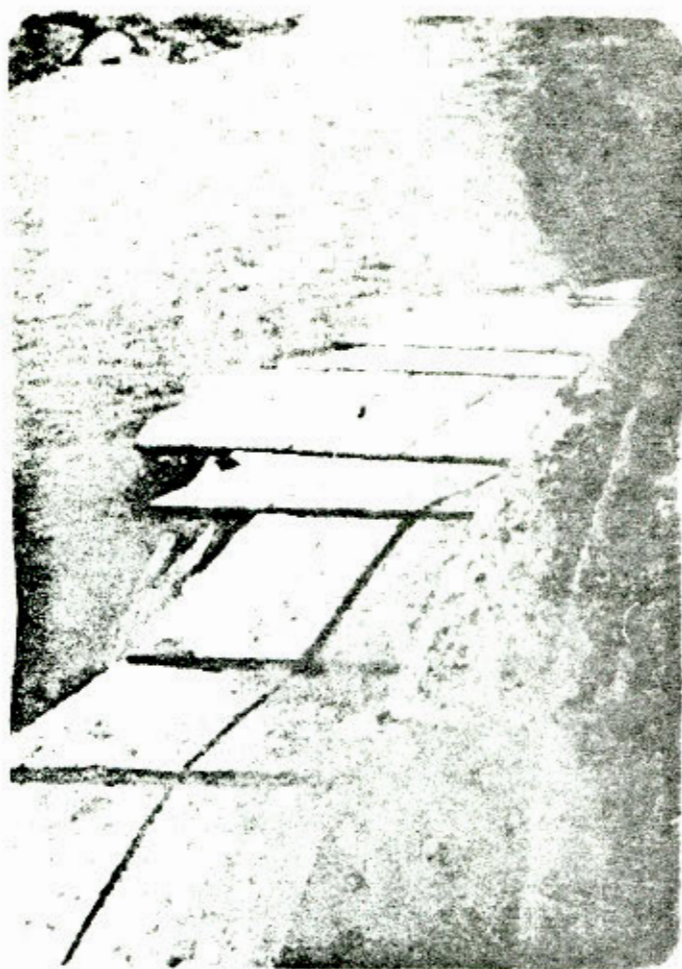
Fotografía N° 13
Vista del estribo Norte
a principios de 1984



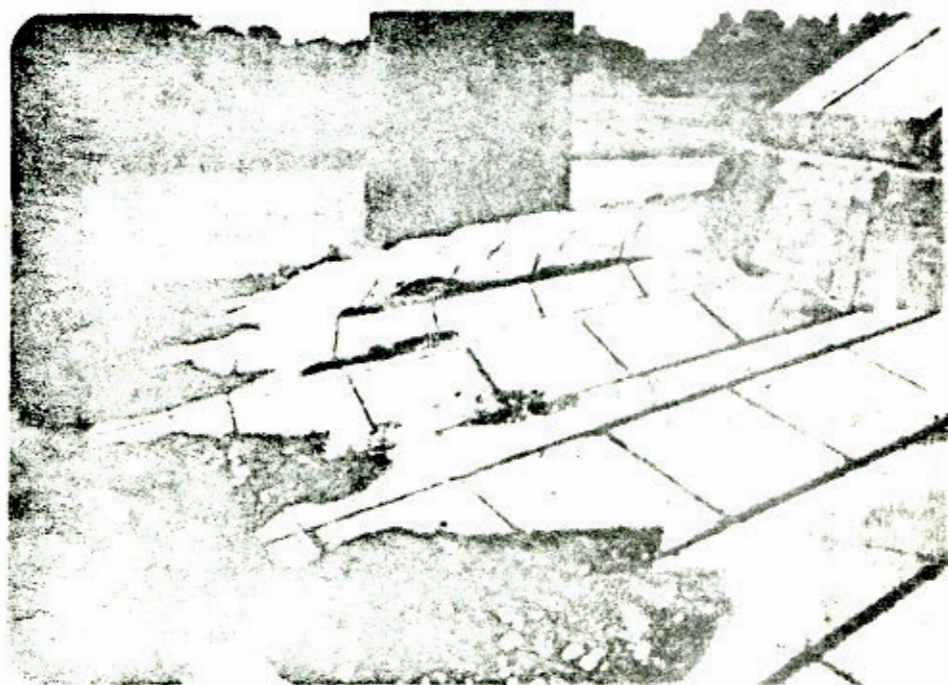
Fotografía N° 14
"Alfombra elástica".
Vista desde aguas
arriba, en febrero
de 1984.



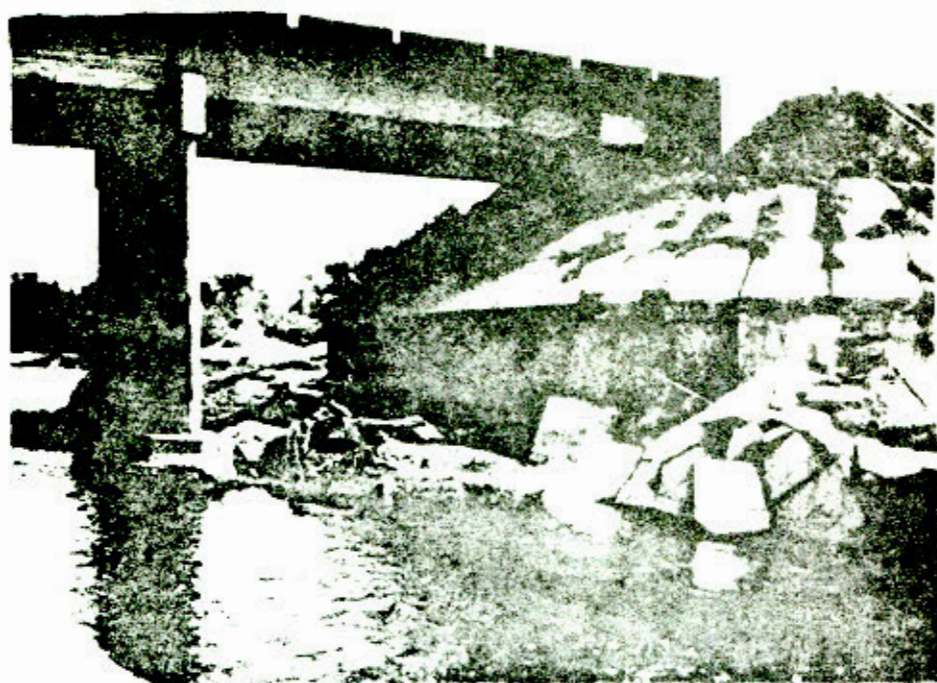
Fotografía N° 15
"Alfombra elástica"
Vista hacia aguas
arriba, en febrero
de 1984.



Fotografía N° 16
"Alfombra elástica"
Lado aguas abajo
en febrero de 1984.



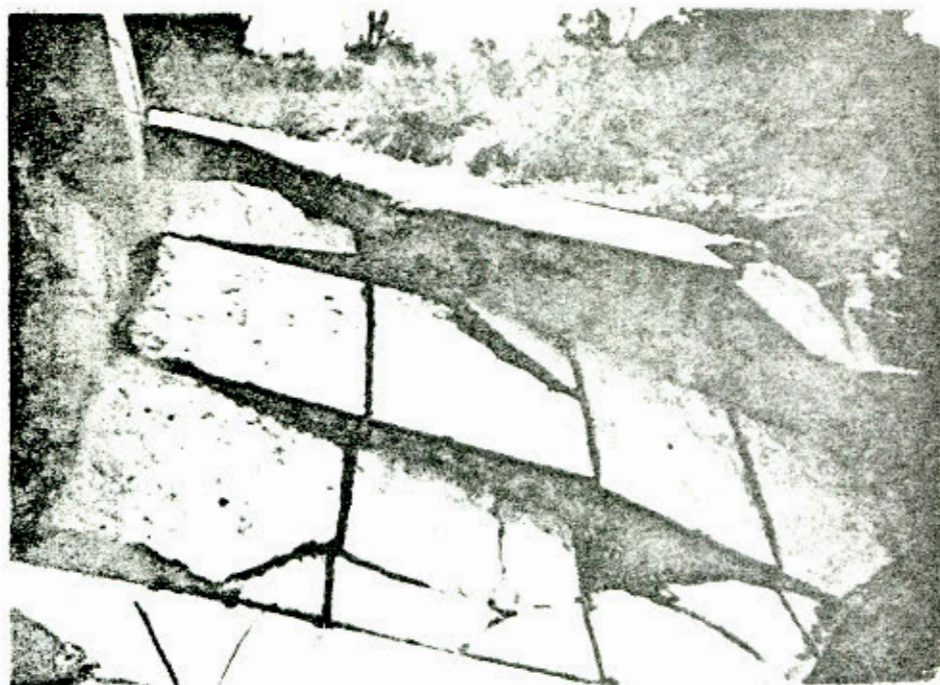
Fotografía N° 17
 "Alfombra elástica"
 Vista frontal en
 septiembre de 1987



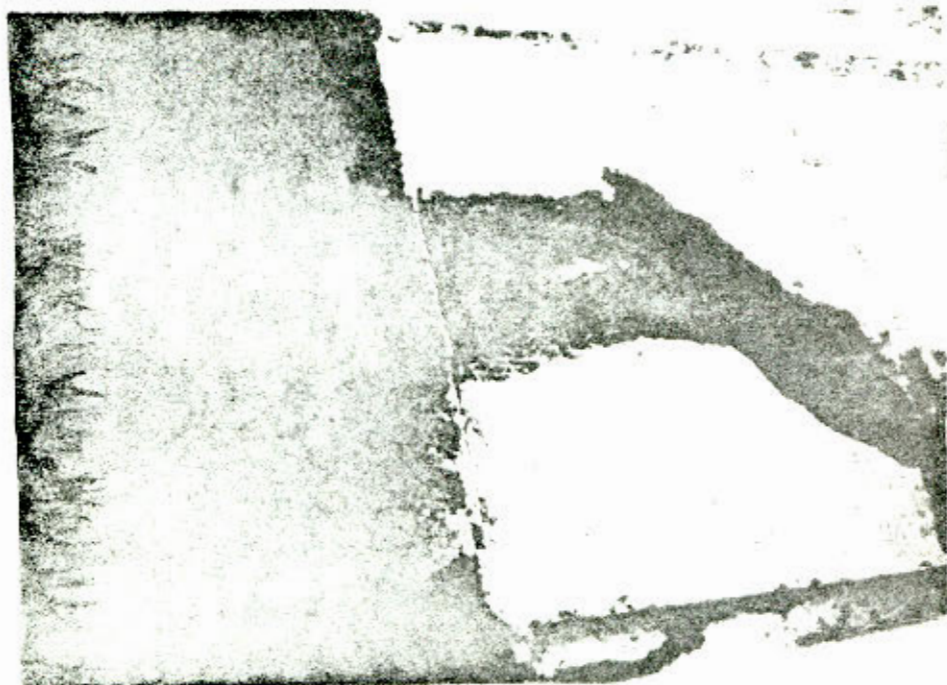
Fotografía N° 18
 "Alfombra elástica"
 Vista general del
 lado aguas abajo,
 en septiembre de 1987



Fotografía N° 19
"Alfombra elástica"
Vista parcial del lado
aguas abajo, en
septiembre de 1987.



Fotografía N° 20
"Alfombra elástica"
Detalle de la fotografía
anterior (ángulo superior
izquierdo) en septiembre
de 1987.



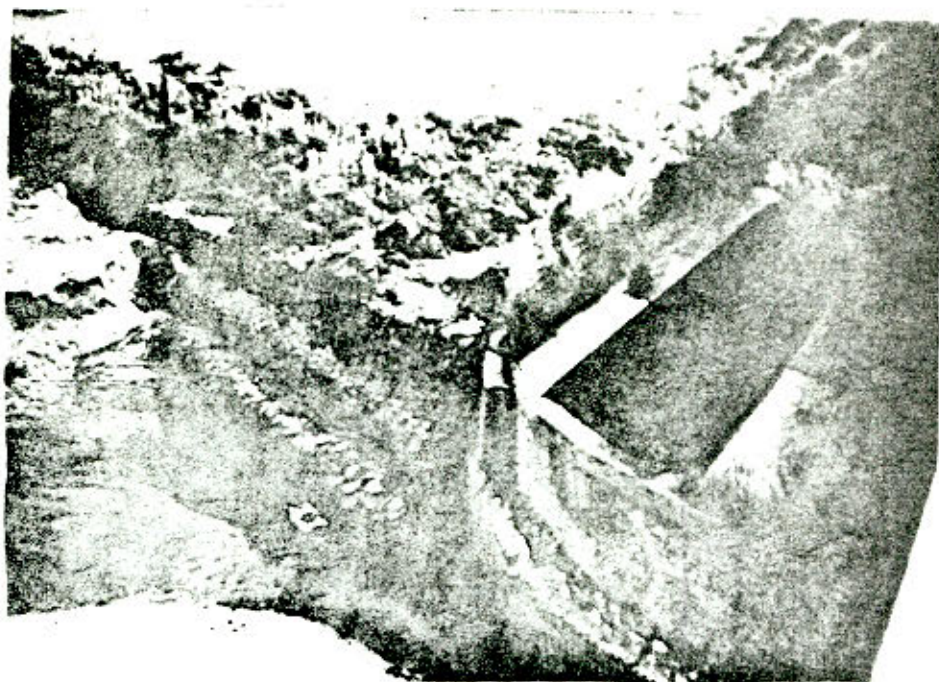
Fotografía N° 21

Vista del estribo norte,
lado aguas arriba.

Ha desaparecido la alfombra elástica, se ha socavado el terraplén, y hundido las losetas de recubrimiento.

Se observan las nuevas defensas construidas paralelamente al eje del puente.

Septiembre de 1987.

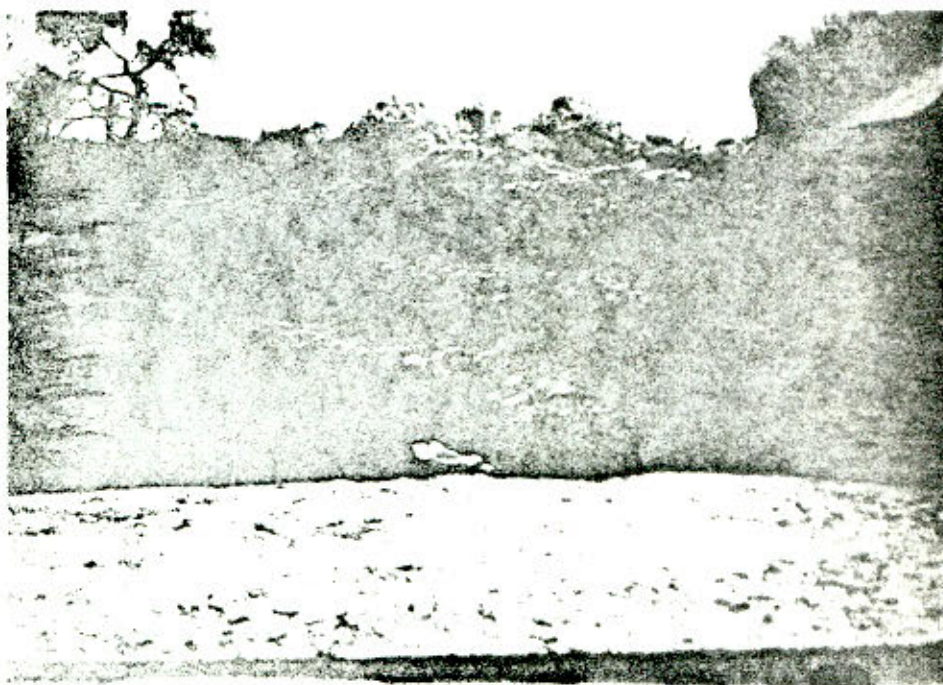


Fotografía N° 22

Detalle de las nuevas defensas,
del lado aguas arriba.

La longitud "L" (gráfico N° 5) irá aumentando por avance del meandro, lo que agravará la socavación.

Septiembre de 1987.



NUEVOS ELEMENTOS DE PROTECCION DE MARGEN

Los tradicionales "embolsados de piedra", ampliamente usados entre nosotros desde larga data, han sido objeto del interés industrial, y así desde una veintena de años han ido apareciendo en el mercado mundial, bajo nombres más o menos atractivos, a veces amparados por patentes o registros de diseño, numerosas variantes de esa idea original.

Así el "gavión" original, (jaulón; en italiano: gabbione)(*) empleado por primera vez por Leonardo da Vinci (1514) en obras de ingeniería militar, y aplicado luego a la ingeniería civil por él mismo, al desvío del Arno, fue evolucionando hasta incorporar como estructura envolvente las mallas de alambre tejido galvanizado, en los últimos años del siglo XIX.

Variantes del gavión original, son los colchones, o alfombras flexibles, introducidas posteriormente (mitad del siglo XX) que incorporan los nuevos materiales producidos por las industrias petroquímicas: las plásticas.

En efecto éstas aparecen:

- * ya sea como revestimiento de los alambres (Macaferri, y otros)
- * o bien formando la malla en sí que contiene las piedras del gavión (Netlon)
- * o bien en forma de redes de cables compuestos por (poliamidas en general) que sujetan piezas premoldeadas de hormigón liviano o normal (Petralflex)
- * o bien a través de la incorporación de los geotextiles en reemplazo de los filtros de agregados pétreos.

Hay que hacer notar que la incorporación de los colchones flexibles, sobre todos aquellos dispuestos con su eje mayor transversalmente a la corriente, requiere la conformación de un perfil más o menos tendido, con la parte inferior penetrando casi horizontalmente en el cauce. Como hemos visto (recordar Gráficos Nº 2 y Nº 3) es notable la influencia en la reducción de la socavación, que tienen estos parámetros: pendiente de la margen y solera de pie.

(*) Gavión 1 (de gavia 1) 2: Cesto relleno de tierra o piedra que sirve en obras hidráulicas.

Gavia 1 (lat.: cavea = hoyo y jaula)

1 : jaula