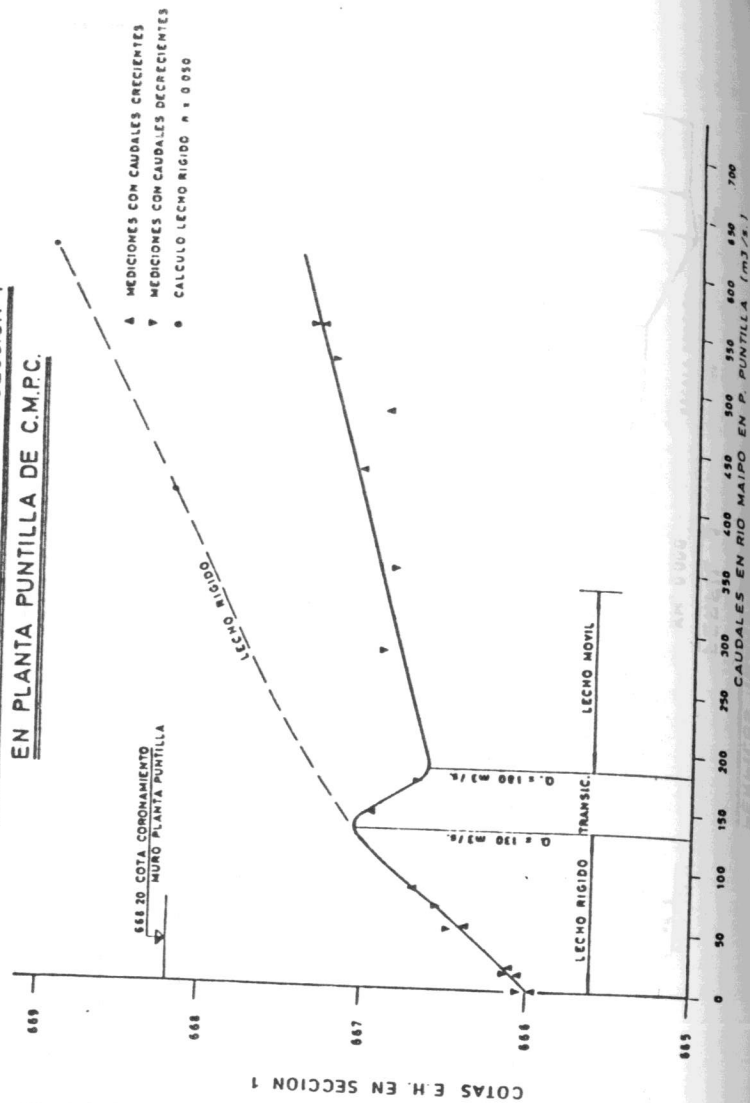


FIGURA 3

**CURVA DESCARGA RIO MAIPO EN SECCION 1
EN PLANTA PUNTIILLA DE C.M.P.C.**



**CRITERIOS DE CALCULO DE EJES HIDRAULICOS EN LECHO MOVIL Y SU
VERIFICACION POR MEDICIONES EN EL RIO MAIPO.**

SOLANO VEGA VISCHI*

RESUMEN

Con motivo de las crecidas de 1986, se observó un aumento de casi 2.0 m en el nivel de sedimentos en estiaje en el río Maipo, en el sector de Planta Puntilla de CMPC.

La aplicación de criterios desarrollados por el autor, confirmados por mediciones de cotas de agua para caudales crecientes y decrecientes, que se presentan en otro estudio complementario en el actual Congreso, (VEGA, 1989), demuestra los gruesos errores de considerar un curso natural como rígido al calcular ejes hidráulicos con caudales que exceden de un cierto valor crítico. Ese caudal, es característico de cada cauce, según sus condiciones morfológicas y granulométricas.

Basado en las características de escurrimiento del Maipo en el sector de Planta Puntilla, se ha estudiado hidráulicamente un tramo de 1.400 m en lecho móvil, con los criterios del autor presentados en otros trabajos, confirmando el nuevo perfil de equilibrio permanente en el tramo, después de una crecida de deshielo particularmente importante.

Durante la crecida analizada se produjeron importantes socavaciones del lecho durante los caudales máximos, y su posterior relleno con caudales decrecientes, alcanzándose al final del proceso las mismas cotas del lecho observadas al comienzo de éste.

En cuanto a las rugosidades que se utilizaron para hacer consistentes los ejes hidráulicos calculados con los observados, resulta que la rugosidad en lecho rígido ($n = 0,050$), es mayor que en lecho móvil ($n = 0,040$).

Lo anterior es conceptualmente explicable, ya que siendo móvil el lecho, las velocidades relativas entre el escurrimiento y el lecho, disminuyen, y por lo tanto, la menor pérdida de carga, se puede considerar representada por una rugosidad menor.

* Ingeniero Civil. SOLANO VEGA Y ASOCS. INGENIEROS CONSULTORES

ECUACIONES DE EQUILIBRIO EN LECHOS DE GRANULOMETRIA GRUESA Y
EXTENDIDA EN REGIMEN DE RIO.

El perfil longitudinal del lecho de un tramo de río con granulometría gruesa y extendida varía según el caudal de las crecidas máximas anuales, durante ésta, volviendo al perfil inicial al término de ella. Lo anterior ocurre, si la crecida analizada es menor que la máxima producida en años anteriores, dentro de un período histórico comprobable con obras permanentes que permitan medir los cambios ocurridos.

Crecidas sostenidas (deshielo), de baja frecuencia, cambian el perfil de equilibrio base, al permitir que el proceso selectivo de arrastre establezca una nueva coraza a cotas inferiores o superiores al perfil existente según la tendencia de cada tramo a socavar o rellenar según las condiciones de aguas abajo.

Crecidas de corta duración (pluviales), de baja frecuencia, crean las condiciones para gran producción de arrastre de sedimentos desde sus tributarios, a cuyos volúmenes se suman los subyacentes a la coraza formada en crecidas precedentes, de mayor frecuencia, al producirse la ruptura de esa coraza.

Los sedimentos depositados en el proceso de corta duración en el tramo considerado, si éste es depositante, (VEGA, 1988), no tienen tiempo para acorazarse, y quedan a la espera de la próxima crecida de larga duración para alcanzar el nuevo perfil de equilibrio.

De acuerdo a los criterios del autor, los dos tipos de crecidas (corta y larga duración) presentan tratamientos diferentes.

A.- Ecuaciones de cambio de perfil con equilibrio sedimentológico en régimen de río correspondiente a formación de coraza.

Esta situación corresponde a crecidas suficientemente sostenidas para producir el arrastre selectivo para formar coraza, según criterios presentados en otras publicaciones. (VEGA, 1973, 1979).

Las ecuaciones de equilibrio energético para el cálculo del eje hidráulico de sección a sección, deben necesariamente considerar la condición de lecho móvil, con socavaciones o rellenos consistentes con el equilibrio sedimentológico. Esto implica que los tamaños críticos en cada sección (o tramo) tienen que ser iguales ($d_c = 10RJ$), y por lo tanto, se impone como condición de socavación o relleno, que en cada sección correspondiente

$$R_i J_i = R_j J_j = R_k J_k$$

El equilibrio precedente, implica que los tamaños menores que el crítico que entran al comienzo del tramo, salen al final de éste.

En base a las ecuaciones de constancia del RJ, se definen a partir de la sección inicial "i", las cotas de socavación o relleno de cada sección del tramo, las que fijan el $R_i J_i$ de equilibrio hacia aguas arriba.

Las profundidades de socavación están limitadas por los máximos fijados en función de las características granulométricas del lecho. (VEGA, 1973)

B.- Ecuaciones de cambio de perfil con equilibrio sedimentológico, en régimen de río, sin acorazamiento desarrollado.

Se aplican a crecidas de baja frecuencia y corta duración, en que la masa de sedimentos no está expuesta durante un tiempo suficiente al proceso selectivo de arrastre para formar coraza, pero con el tiempo suficiente para establecer equilibrio sedimentológico; es decir, los volúmenes de sedimentos que entran al tramo (o sección), son iguales a los volúmenes que salen de él. En este caso, a las ecuaciones de equilibrio energético entre tramos para el cálculo del eje hidráulico, se imponen las de equilibrio sedimentológico (VEGA, 1988), dado por las igualdades:

$$R_i J_i^2 = R_j J_j^2 = R_k J_k^2$$

con lo que se obtienen las cotas del perfil de equilibrio sin acorazamiento.

Estas cotas son transitorias, hasta que se produzca la crecida de larga duración (deshielo), y se acorace el lecho de acuerdo a las ecuaciones del caso A. En todo caso debe tenerse presente que el perfil transitorio permite calcular las cotas de escurrimiento en lecho móvil para esa condición de escurrimiento.

Igual que para el caso A, las condiciones iniciales fijarán un $R J^2$ que deberá ser mantenido en todas las secciones, además de cumplir con el equilibrio energético, como en el cálculo de cualquier eje hidráulico.

VERIFICACION DE CRITERIOS DE EQUILIBRIO APLICADO EN EL RIO MAIPO EN UN TRAMO DE 1.400 M.

Un proyecto preparado para restituir las cotas originales del lecho del río Maipo en el tramo Planta Puntilla - Banco Arenero Ready Mix, (VEGA, 1988), ha sido parcialmente utilizado en esta presentación. Ese proyecto ha implicado una caracterización topográfica y granulométrica de un tramo más amplio que el nombrado anteriormente, para tener presente las condiciones de aguas abajo, y además aplicar los criterios del autor verificados y complementados por las mediciones en otra presentación. (VEGA, 1989)

En figura 1 se presenta parte de la planta topográfica utilizada, y en figura 2 algunos perfiles transversales del tramo de interés.

En esta presentación se ha hecho el cálculo para una crecida de deshielo del orden de la máxima del período 1987-1988, obteniendo el perfil de equilibrio con socavaciones en lecho móvil, y el eje hidráulico asociado. Lo anterior apoyándose en los perfiles obtenidos con caudales muy bajos en el río.

En el cálculo, se considera que los taludes son rígidos por la existencia de obras de defensa del canal Los Bajos, en ribera derecha; y por obras de la Planta Puntilla y borde en roca o material cementado en ribera izquierda. Solamente el lecho del río es móvil, que por lo demás es lo que más influencia tiene en el escurrimiento.

Se ha calculado el E.H. y el perfil de equilibrio del lecho para $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ (lecho móvil), y el relleno sobre este lecho socavado para $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ (lecho rígido). Como término de comparación, se ha calculado el E.H. considerando el lecho rígido para $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$. (500 m^3/s es un caudal semejante al máximo de deshielo en temporada 1987-1988).

Las ecuaciones de equilibrio energético en lecho móvil consideran una rugosidad $n = 0,040$, para hacer consistente cálculo con las mediciones; y coeficientes de 0,50 y 0,10 para pérdidas de expansión y contracción respectivamente.

Para la situación de lecho rígido, se extrapolan los valores de rugosidad resultantes para caudales menores de $130 \text{ m}^3/\text{s}$, $n = 0,050$ y se usan los mismos coeficientes de pérdidas para expansión y contracción que en lecho móvil.

En figura 3 se presentan los perfiles de lecho iniciales y finales con $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$, y el E.H. resultante. Al comparar los resultados con la hipótesis de lecho rígido, se aprecia el grueso error de estimación que se produce de considerar rígido el lecho más allá del caudal crítico de movilidad del lecho.

Al reducirse el caudal hacia el fin del deshielo, se comienzan a rellenar los sectores previamente socavados, debido a la disminución de las fuerzas tractivas, alcanzándose finalmente el perfil inicial del lecho.

Si bien el cálculo se inicia, como en todo régimen de río, desde la sección 21, más lejana aguas abajo, considerando que esa sección fija el RJ que debe mantenerse aguas arriba, se muestra solamente el sector de interés entre secciones 1 y 9.

CONCLUSIONES

Tanto los perfiles de lecho, como los de E.H. presentados, demuestran el error de considerar rígidos los lechos móviles a partir de un cierto caudal crítico, característico de cada cauce según sus condiciones morfológicas y granulométricas.

Los criterios previamente desarrollados por el autor para lechos móviles, han recibido, a lo menos para este cauce, la comprobación experimental de hacer consistentes los valores calculados con los medidos en la sección de control adoptada.

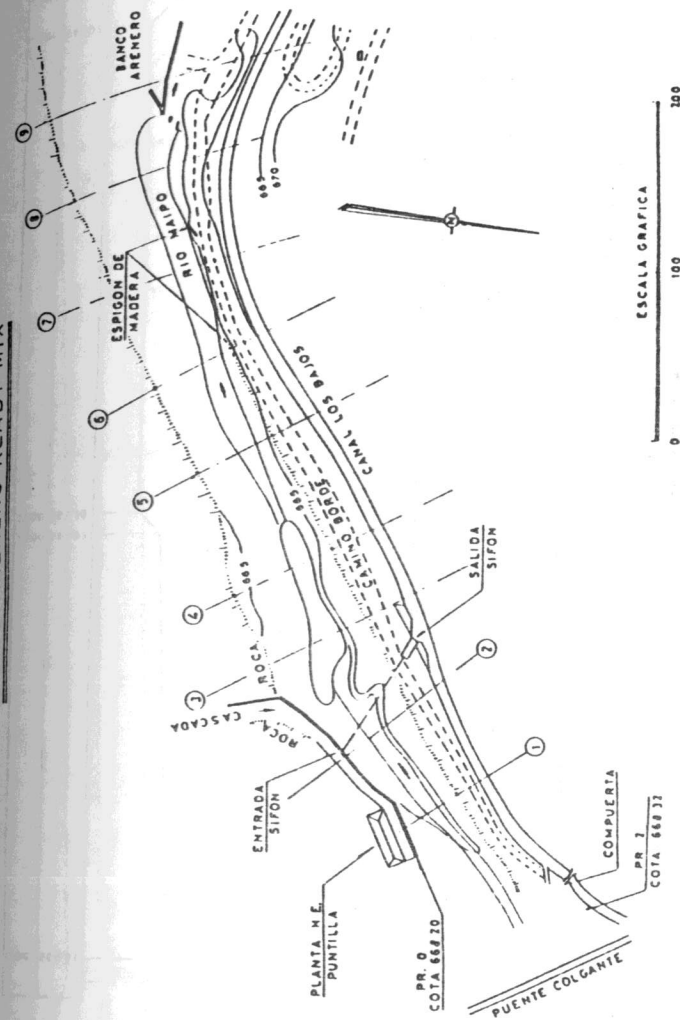
Sería de gran interés comprobar con mediciones en otro lechos naturales, las ecuaciones utilizadas en este caso, ya que el autor no conoce otra metodología publicada para el cálculo de E.H. en lechos móviles de granulometría gruesa y extendida. Las mediciones deberían considerar además de las crecidas de larga duración (deshielo), las pluviales, mayores en caudal y de corta duración.

REFERENCIAS

- Vega V. Solano (1989) "Medición de Curva de Descarga en una Sección del río Maipo en Condiciones de Lecho Rígido, Transición y Lecho Móvil" IX Congreso Nacional de Hidráulica.
- Vega V. Solano (1988) "Perfiles de Equilibrio en Lechos de Granulometría Gruesa y Extendida en Régimen de Río" Revista de la Soc. Chilena de Ing. Hidráulica, Vol 3 No. 1, pags. 17-38.
- Vega V. Solano (1973) "Modelo Teórico de Socavación General y Local en Lechos Granulares Gruesos" II Congreso Nacional de Hidráulica, pags. 1.41-1.52
- Vega V. Solano (1979) "Transporte de Sedimentos en Lechos Granulares Gruesos en Equilibrio" IV Congreso Nacional de Hidráulica, pags. 3.59-3.70
- Vega V. Solano (1988) "Estudios en Lecho Móvil para Reconstituir Perfil Original del río Maipo en Sector Planta Puntilla - Banco Arenero Ready Mix". Ready Mix S.A.

FIGURA 1

PLANTA RIO MAIPO
ENTRE PLANTA PUNTILLA Y
BANCO ARENERO READY MIX

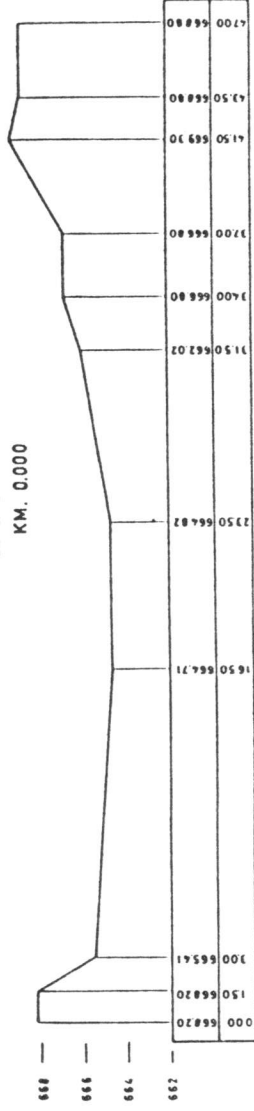


PERFILES TRANSVERSALES 1:200

FIGURA 2

PERFIL 1

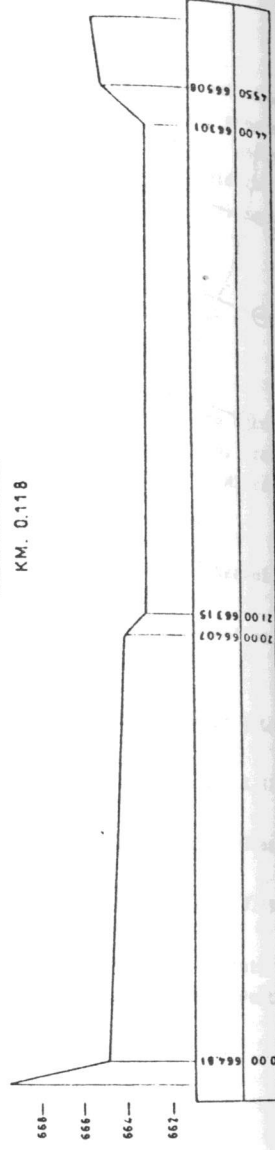
KM. 0.000



106

PERFIL 3

KM. 0.118

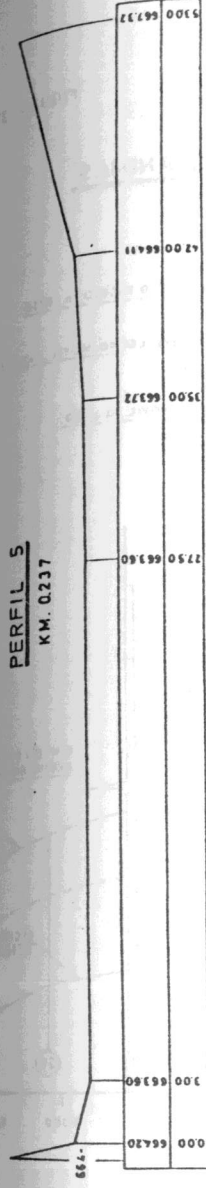


PERFILES TRANSVERSALES 1:200

FIG. 2 (Continuation)

PERFIL 5

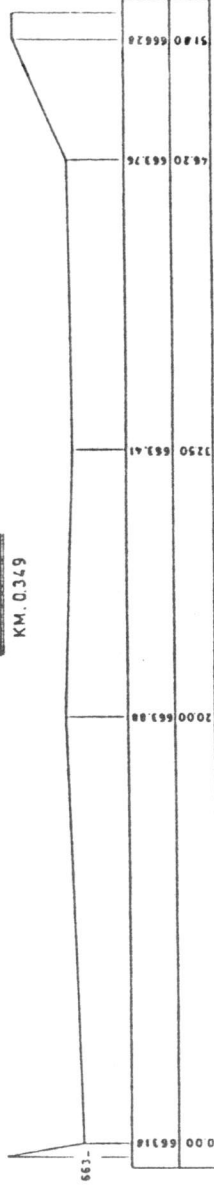
KM. 0.237



107

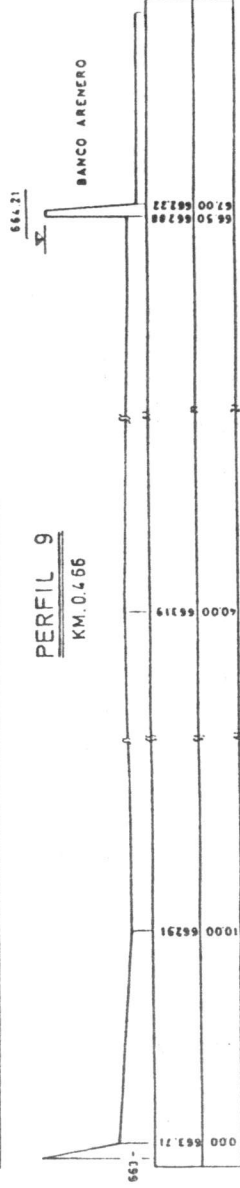
PERFIL 7

KM. 0.349



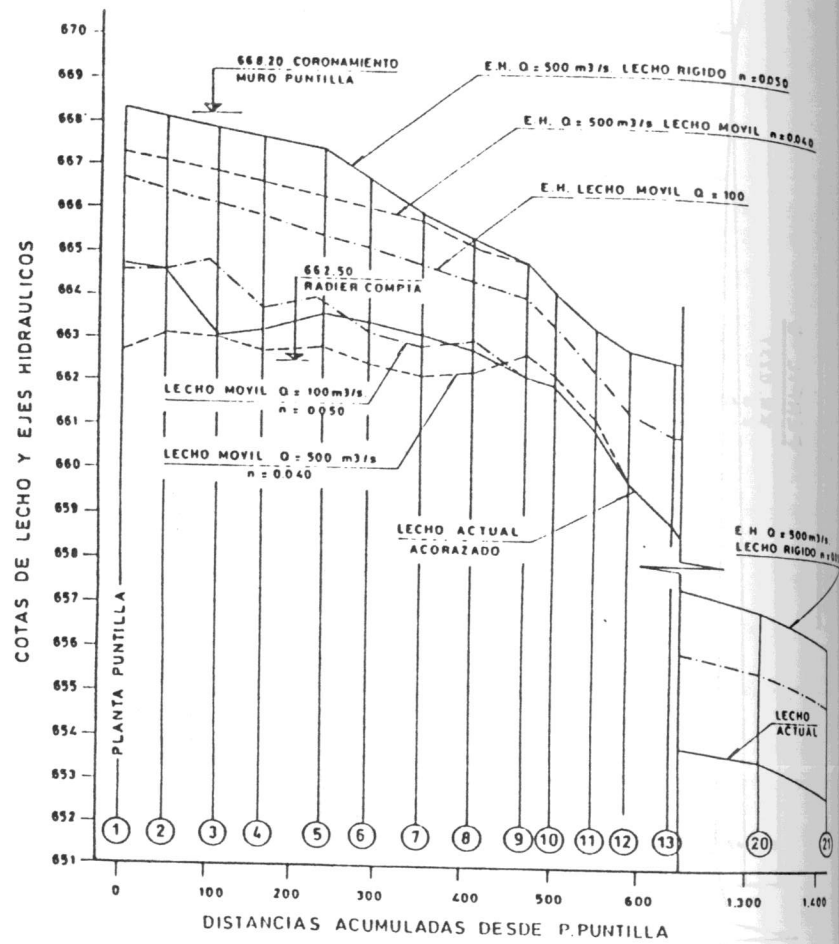
PERFIL 9

KM. 0.466



RIO MAIPO
SECTOR : PLANTA PUNTILLA - LAS ANIMAS

FIGURA 3



1:4

TEMA 2

HIDRAULICA FLUVIAL Y MARITIMA