

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ashida K. y M. Michiue "An Investigation of River Bed Degradation Downstream a Dam". XIV Congress IAHR. Paris, 1971.
- Ayala L., Brown E., Cabrera G. y A. López "Estudio de la Degradación del Río Maule Aguas Abajo de la Presa Colbún". Centro de Recursos Hidráulicos, Universidad de Chile, 1981a.
- Ayala L., Brown E., Cabrera G. y A. López "Predicción de la Degradación de un Lecho Fluvial. II Aplicación del Modelo de Simulación al Río Maule" V Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica. 1981b.
- Chow V.T. "Open Channel Hydraulics". Mc Graw-Hill. 1959.
- Komura S. y D.B. Simons "River Bed Degradation Below Dams". Journal of the Hydraulics Div., ASCE. Vol. 93(4), 1967.
- Lane E.W. "Retgression of Levels in Riverbeds Below Dams". Engineering News Record. 1934.
- Mostafa G. "River Degradation Below Large Capacity Reservoirs". Transactions ASCE, Proceeding Paper 788. Vol. 81, 1955.
- Nicolet G. y M. Uan "Ecoulements Permanents a Surface Libre en Lits Composés". La Houille Blanche N° 1, 1979.
- Pemberton E. "Channel Changes in the Colorado River Below Glen Canyon Dam". Proceedings of the Third Inter Agency Sedimentation Conference. 1976.
- Ramette y Heuzel "Le Rhône à Lyon : Etude de l'entraînement des Galets a l'aide de Traceurs Radioactifs". La Houille Blanche N° 1, 1962.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA V CONGRESO NACIONAL

PREDICCIÓN DE LA DEGRADACION DE UN LECHO FLUVIAL II. APLICACION DEL MODELO DE SIMULACION AL RIO MAULE

Luis Ayala R.
Ernesto Brown F.
Guillermo Cabrera F.
Alejandro López A.

RESUMEN

Se presenta la aplicación de un modelo matemático de simulación de la degradación de un lecho fluvial al caso particular del río Maule aguas abajo de la presa Colbún.

Primeramente se describe la metodología adoptada y la información recopilada necesaria para la aplicación del modelo, y luego, se analizan y discuten los principales resultados obtenidos. Dichos resultados permiten establecer las características más relevantes del proceso de degradación del río Maule, a saber, el orden de magnitud de los descensos acumulados del lecho y la extensión y escala de tiempo del proceso.

Ingenieros Civiles, Profesores e Investigadores del Centro de Recursos Hidráulicos de la Universidad de Chile.

1.- INTRODUCCION

La implantación de la presa Colbún alterará el régimen sedimentológico natural del río Maule, esperándose que ocurra una degradación del lecho del río aguas abajo de la presa. La determinación de la magnitud de tal degradación y el efecto del fenómeno sobre obras existentes en el río o que se instalarán a futuro, reviste singulares características en el caso del Maule. Esto porque, a la vez que el mecanismo de degradación es aún poco conocido, las hipótesis generalmente adoptadas para el cálculo de dicha degradación no corresponden a las características del Maule en la zona comprometida. En efecto, el Maule presenta aquí un lecho inestable y divagante, conformado por material de granulometría gruesa y extendida, y con fuertes pendientes. El régimen de caudales es altamente variable, situación que continuará aún después de construída la presa.

El presente trabajo tiene por objeto mostrar la aplicación del modelo matemático descrito en la Parte I, al caso particular del río Maule, incluyendo la metodología general adoptada, los antecedentes requeridos para operar el modelo, el análisis de los resultados obtenidos, y finalmente establecer las conclusiones y recomendaciones que se derivan del estudio realizado.

Cabe indicar que al igual que la Parte I, el presente trabajo está basado en el estudio denominado "Estudio de la Degradación del Río Maule Aguas Abajo de la Presa Colbún" (Ayala et. al, 1981), realizado por el Centro de Recursos Hidráulicos de la Universidad de Chile para ENDESA. Esta institución financió íntegramente el estudio y entregó todos los antecedentes requeridos para la aplicación del modelo de simulación.

2.- METODOLOGIA ADOPTADA PARA LA APLICACION DEL MODELO AL RIO MAULE

2.1 Consideraciones generales

Como se indicó anteriormente, el río Maule en la

zona en estudio presenta características peculiares que impiden la aplicación de métodos convencionales de cálculo de la degradación que es posible encontrar en la literatura. Ello en razón que dichas características, invalidan hipótesis básicas sobre las cuales se sustentan dichos métodos tales como, prismaticidad y homogeneidad de las secciones de escurrimiento, y uniformidad del flujo y permanencia de los caudales.

Lo anterior y la necesidad de hacer estimaciones más realistas de la magnitud de la degradación, obligaron por un lado, a elaborar el modelo de simulación descrito en la Parte I y por otro, a desarrollar una metodología específica de aplicación de dicho modelo.

La metodología desarrollada consideró las limitaciones propias de los datos disponibles y las características del modelo, evitándose conscientemente orientar la predicción hacia el cálculo de valores exactos y definitivos de la degradación. Se estimó impropio buscar una solución al problema por este camino, considerándose más realista la vía alternativa de analizar la sensibilidad del sistema, operándolo en forma simulada bajo diversas condiciones.

El análisis de sensibilidad se centró en torno a tres aspectos. Uno de ellos se refiere al efecto del ordenamiento de las solicitaciones hidrológicas sobre la degradación; el otro concierne a la influencia de la descarga concentrada de caudales provenientes de la Central Machicura y el último, al efecto de acorazamiento del lecho el cual constituye un elemento estabilizador del proceso de degradación.

Cada uno de los aspectos indicados se analizó en forma separada considerando diversas situaciones o alternativas, para luego someter los resultados finales a un análisis de tipo global comparativo del cual se extrajeron conclusiones y recomendaciones relativas al orden de magnitud y escala de tiempo.

2.2 Efecto del Ordenamiento de las Series Hidrológicas

El análisis del efecto del ordenamiento de las series hidrológicas se realizó mediante la operación simulada del sistema, utilizando tres series de igual longitud. Dos de las series se generaron a partir de la tercera (la serie histórica) considerando a esta última como una "cadena sinfín". Se consiguió así contar con series homogéneas de igual longitud e idénticos parámetros estadísticos, pero con caudales individuales ordenados de otra forma por el simple expediente de desplazar el origen de la serie histórica.

El análisis del efecto del ordenamiento de las series hidrológicas se hizo con el objeto de determinar la representatividad de los resultados obtenidos a partir de la serie histórica y la sensibilidad del sistema a cambios en el orden de ocurrencia de los caudales individuales.

2.3 Aportes Concentrados Provenientes de la Central Machicura

Los aportes concentrados provenientes de la Central Machicura producirán una degradación del lecho aguas abajo de la sección de descarga, la cual se superpondrá a la degradación producida por la implantación de la presa Colbún.

A objeto de analizar la magnitud de la degradación en el sector de la descarga, el modelo de simulación se operó suponiendo que los descensos del lecho provocados por los aportes de Machicura podían considerarse independientes de la degradación del río propagada desde aguas arriba. Bajo esta hipótesis, la condición de borde que corresponde imponer en la sección inicial del tramo en estudio (sección de descarga de los aportes de Machicura) es la de gasto sólido conocido e igual al gasto sólido del río asociado con el caudal afluente. Para estos efectos se utilizó la información obtenida de la operación simulada del río, específicamente la serie de gastos sólidos me-

dios diarios generados, sin los aportes de Machicura, es decir, considerando sólo la serie de caudales efluentes del embalse Colbún.

2.4 Acorazamiento del Lecho

El estudio del efecto del acorazamiento se realizó operando el sistema utilizando distintas granulometrías de lecho.

Para un primer análisis del problema, se adoptaron tres curvas granulométricas representativas de otros tantos sectores del río. Las curvas granulométricas adoptadas fueron las correspondientes a los estratos más gruesos muestreados en los pozos de cada sector (capa 1 del pozo N° 1 y capa 2 de los pozos N° 4 y 5). Estas curvas se consideraron representativas de tendencias históricas de acorazamiento del río para los caudales más importantes, aún cuando sus dispersiones granulométricas indicaran que en estricto rigor no se trataba de corazas típicas.

Puesto que este análisis no es lo suficiente - mente completo, se consideró necesario estudiar el efecto de una coraza típica que se formaría en un tramo de 4 Km de longitud aguas abajo del muro de Colbún. Dicha coraza se generó en forma teórica usando el método de Gessler en la zona indicada. Para la aplicación del método se consideró la curva granulométrica originalmente adoptada para el tramo y un caudal dominante de 800 m³/s. Con la curva resultante se procedió a operar el modelo de simulación.

3.- INFORMACION UTILIZADA

3.1 Información Obtenida

La información básica requerida por el modelo de simulación, consiste en información granulométrica y de propiedades del sedimento, topográfica, hidráulica e hidrológica.

3.1.1 Topografía

Se dispuso de la siguiente información de la zona en estudio:

- Planchetas del Instituto Geográfico Militar, en escala 1:50.000
- Restituciones aerofotogramétricas en escala 1:10.000 y 1:2.000
- 24 Perfiles transversales al río
- 1 Perfil longitudinal del eje hidráulico del río aguas abajo de Colbún

En el croquis de la Fig. 1 se muestra un esquema de la planta del tramo en estudio, en donde se indica la ubicación aproximada de los perfiles transversales. Dieciséis de los perfiles fueron tomados en el tramo comprendido entre el lugar de emplazamiento de la presa y unos 4 Km hacia aguas abajo, mientras que los ocho perfiles restantes abarcaron un tramo de 6,5 Km a partir del Km 21 aguas abajo de la presa Colbún.

3.1.2 Sedimentos

Para obtener información sedimentológica se construyeron 6 pozos a lo largo del río. Las dimensiones de estos pozos fueron de 2 m x 1 m en planta hasta una profundidad máxima de 2 m. La excavación de los pozos fue ejecutada manualmente por capas de 0,50 m de espesor; cada capa constituyó una muestra.

Se ubicaron 3 pozos entre el sitio de emplazamiento de la presa y el Morro (unos 3,5 Km aproximadamente). Los restantes pozos se distribuyeron en zonas de interés particular. La elección del sitio de excavación se decidió en terreno, conciliando la representatividad del pozo respecto a los sedimentos del lecho del cauce principal del río con la facilidad de acceso.

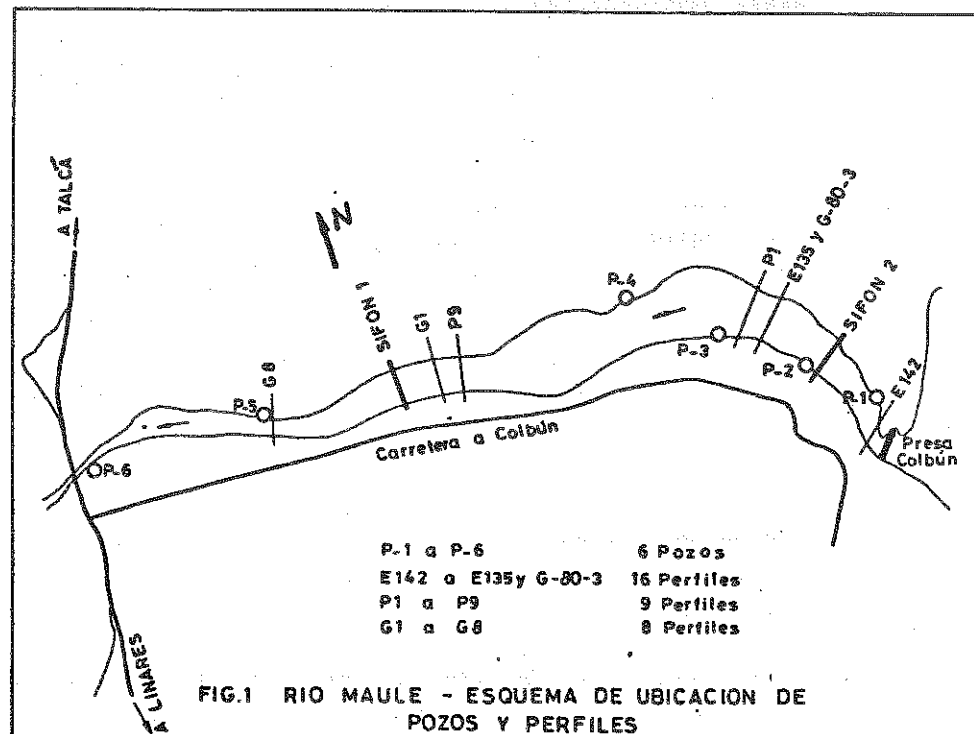


FIG.1 RIO MAULE - ESQUEMA DE UBICACION DE POZOS Y PERFILES

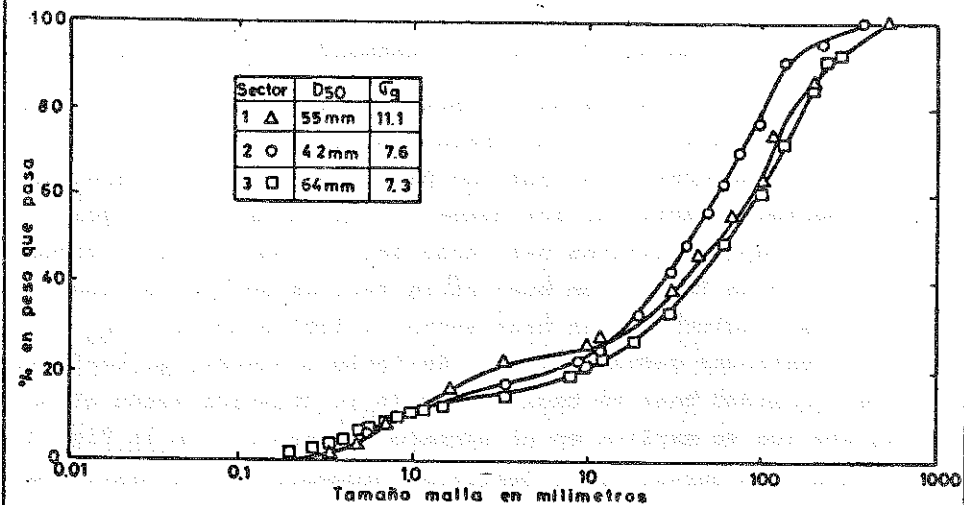


FIG. 2 CURVAS GRANULOMETRICAS PROMEDIO DE CADA SECTOR

3.1.3 Antecedentes Fluviométricos y de Operación del Embalse Colbún

Los antecedentes utilizados fueron:

- Gastos medios diarios de las estaciones Maule en Colbún y Maule en Armerillo. En las Tablas 1 y 2 se presentan valores típicos del régimen fluviométrico registrados en dichas estaciones.
- Resultados de la operación simulada del sistema Embalse y Central Colbún - Embalse y Central Machicura - Central Chiburgo. Esta operación proporciona, a nivel mensual, la siguiente información:
 - Gastos de aporte neto al Embalse Colbún, - Estado de almacenamiento en Colbún, - Gastos de rebalse en Colbún, - Caudal generado en la Central Colbún, - Aportes medios mensuales no generables del Embalse Colbún al sector de riego y - Caudal generado en la Central Chiburgo.

La operación simulada abarcó el período histórico comprendido entre Abril 1941 y Mayo 1978.

3.2 Procesamiento de la Información

3.2.1 Granulometría y Propiedades de los Sedimentos

Con los datos obtenidos se sectorizó el río de acuerdo a las características granulométricas encontradas. Se definieron 3 sectores y en cada uno de ellos una curva granulométrica promedio, a partir de los datos de las capas de cada pozo consideradas representativas del lecho del río en el tramo correspondiente. En la Tabla 3 se muestra la sectorización efectuada, con los pozos involucrados en cada sector y los parámetros D_{50} y desviación estándar geométrica σ_g . Se incluye además, el coeficiente de rugosidad base de cada sector (n_o), obtenido según el procedimiento que se explica en el párrafo siguiente. En la Fig. 2 se presentan las curvas granulométricas promedio de los distintos sectores.

Tabla 1.- Valores característicos del régimen fluviométrico en Maule en Colbún

MES	CAUDALES (m ³ /s)				
	MEDIO MENSUAL			MEDIO DIARIO	
	MIN.	MEDIO	MAX.	MIN.	MAX.
Enero	91.8	255.6	623.0	71.3	900.0
Febrero	86.0	158.6	273.0	60.7	336.0
Marzo	67.1	118.1	244.0	35.7	411.0
Abril	44.5	128.4	415.0	10.0	1680.0
Mayo	61.0	224.0	621.0	43.3	2330.0
Junio	81.9	290.3	566.0	54.3	2101.0
Julio	86.6	315.6	650.0	64.6	1828.0
Agosto	99.1	282.2	584.0	72.0	2230.0
Septiembre	93.4	239.8	364.0	72.2	554.0
Octubre	93.4	318.7	539.0	53.6	2059.0
Noviembre	95.3	403.3	691.0	67.5	1295.0
Diciembre	92.5	364.2	643.0	35.0	970.0

Tabla 2.- Valores característicos del régimen fluviométrico en Maule en Armerillo

MES	CAUDALES (m ³ /s)				
	MEDIO MENSUAL			MEDIO DIARIO	
	MIN.	MEDIO	MAX.	MIN.	MAX.
Enero	50.5	218.2	591.0	39.8	810.0
Febrero	40.8	131.0	292.0	35.8	681.0
Marzo	32.0	87.9	171.0	28.7	405.0
Abril	31.7	98.2	363.0	15.0	1280.0
Mayo	43.4	185.9	541.0	32.5	2095.0
Junio	44.1	238.7	748.0	41.0	1970.0
Julio	84.8	256.3	609.0	62.0	2095.0
Agosto	99.5	239.9	693.0	68.0	2648.0
Septiembre	92.2	250.7	533.0	76.0	1870.0
Octubre	90.1	333.5	568.0	54.0	2527.0
Noviembre	87.8	451.9	823.0	70.0	1314.0
Diciembre	82.6	395.3	927.0	27.0	1200.0

TABLA 3.- Características granulométricas y de Rugosidad de los sectores

Sector	Tramo	Longitud	Pozos N°	D ₅₀ mm	σ _g	n _o
1	Muro-Perfil E 140 A	1.103	1	53	11.1	0.031
2	Perfil 139-Taco Gral.	9.870	2 y 3	42	7.6	0.029
3	Aguas Abajo Taco Gral.	35.580	4 y 5	64	7.3	0.030

En cuanto a las propiedades físicas de los sedimentos, en base a determinaciones de laboratorio, se encontró que el peso específico de los sólidos variaba entre 2.57 y 2.63 Ton/m³, la densidad aparente entre 1.9 y 2.1 Ton/m³ y la porosidad entre 0.18 y 0.28.

3.2.2 Información Hidráulica

La información hidráulica utilizada en el modelo de simulación la constituyó las pendientes del eje hidráulico y los coeficientes de rugosidad. Las primeras se obtuvieron del perfil longitudinal, adoptándose pendientes medias por sector que oscilaron entre el 4.5% y el 6.1%. Se consideraron cinco sectores.

Los coeficientes de rugosidad se determinaron para los mismos sectores indicados en la Tabla 3 y fueron estimados usando un coeficiente base n_o definido por la relación de Strickler, agregándole a éste, coeficientes aditivos que toman en cuenta las características propias de cada sección, según el procedimiento recomendado por Cowan (Chow 1959). El coeficiente base se determinó por la relación:

$$n_o = 0.030 D_{90}^{1/6} \quad (1)$$

3.2.3 Información Hidrológica

La información hidrológica utilizada consistió en una estadística de caudales medios diarios, deducida de la estadística media en Maule en Armerillo y de la operación simulada

del Embalse Colbún realizada por ENDESA. El procedimiento de cálculo de los caudales fue el siguiente:

- Transformación de los gastos diarios de Armerillo de modo que los valores mensuales coincidieran con el aporte neto a Colbún utilizado por el modelo de simulación de ENDESA.
- Balance a nivel diario en el embalse para determinar caudales vertidos por Colbún a partir de la ecuación

$$V_i - V_{i-1} = Q_{AFi} - Q_{GCI} - Q_{GCHI} - R_{ebi} \quad (2)$$

siendo V_{i-1} y V_i el volumen embalsado al inicio y término del día i, Q_{AFi} el caudal afluente a Colbún, Q_{GCI} y Q_{GCHI} los caudales generados en Colbún y Chiburgo, respectivamente, y R_{ebi} rebalse de Colbún.

- Suma de caudales vertidos por Colbún y los sobrantes de riesgo obtenidos de los listados del modelo de operación simulada de Colbún.

4.- PRESENTACION E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

4.1 Degradación para Distintas Series Hidrológicas

Para efecto de este análisis se adoptaron 3 series hidrológicas de 38 años de duración. En la Tabla 4 se indican las principales características de estas series. La serie 1 corresponde a la serie histórica mientras que las series 2 y 3 corresponden a las series generadas sintéticamente.

TABLA 4.- Características generales de las Series Hidrológicas adoptadas

Serie N°	Año		Tipo de Caudales	
	Comienzo 1° Enero	Fin 31 Dicbre.	Comienzo Serie	Término Serie
1	1941	1978	Altos	Altos
2	1956	1993	Bajos	Altos
3	1972	2009	Altos	Bajos

La serie 1 muestra la particularidad de presen-

tar caudales altos al comienzo y al final del período. La serie 2 en cambio, se eligió de modo de conseguir caudales altos al comienzo y bajos al final. La serie 3 corresponde a la situación inversa con caudales iniciales bajos y finales altos.

Los resultados de la operación del modelo para 1 y 38 años de simulación se han graficado en la Fig. 3a) y b). En estas figuras se muestra el descenso acumulado a lo largo del tramo en estudio para cada una de las series hidrológicas adoptadas. Un análisis comparativo de estos resultados permite concluir lo siguiente:

- Los resultados finales de la degradación después de 38 años de operación simulada del sistema no se ven prácticamente afectados por el ordenamiento de las series, si bien la serie 1 arroja descensos acumulados levemente superiores a los de las otras series.
- El ordenamiento de las series determina diferencias sustanciales en ciertos períodos del proceso, específicamente cuando los caudales altos se concentran al comienzo de la serie. La serie 3 resulta más desfavorable durante los primeros 10 años del proceso.
- La degradación del río Maule después de 38 años alcanza a un máximo del orden de 11 m al pie de presa y de 1 m en secciones ubicadas a 4 o 5 Km aguas abajo de la presa Colbún.
- Aguas abajo de las secciones señaladas, el modelo de simulación entrega descensos acumulados que fluctúan entre 0.5 m y 1.0 m. Estos valores sin embargo, son más propiamente atribuibles a desbalances locales producto de diferencias entre gastos sólidos de salida y entrada en los distintos subtramos del río, los cuales son inherentes a los datos utilizados y por lo tanto representan situaciones de carácter transitorio en el río.

La Fig. 4 ilustra el avance del proceso de degradación en el tiempo para la serie hidrológica 1, para dos secciones del río (perfiles Endesa 136 y 137) ubicados en la zona de posible cruce del Sifón 1, unos 3 Km aguas abajo de la presa

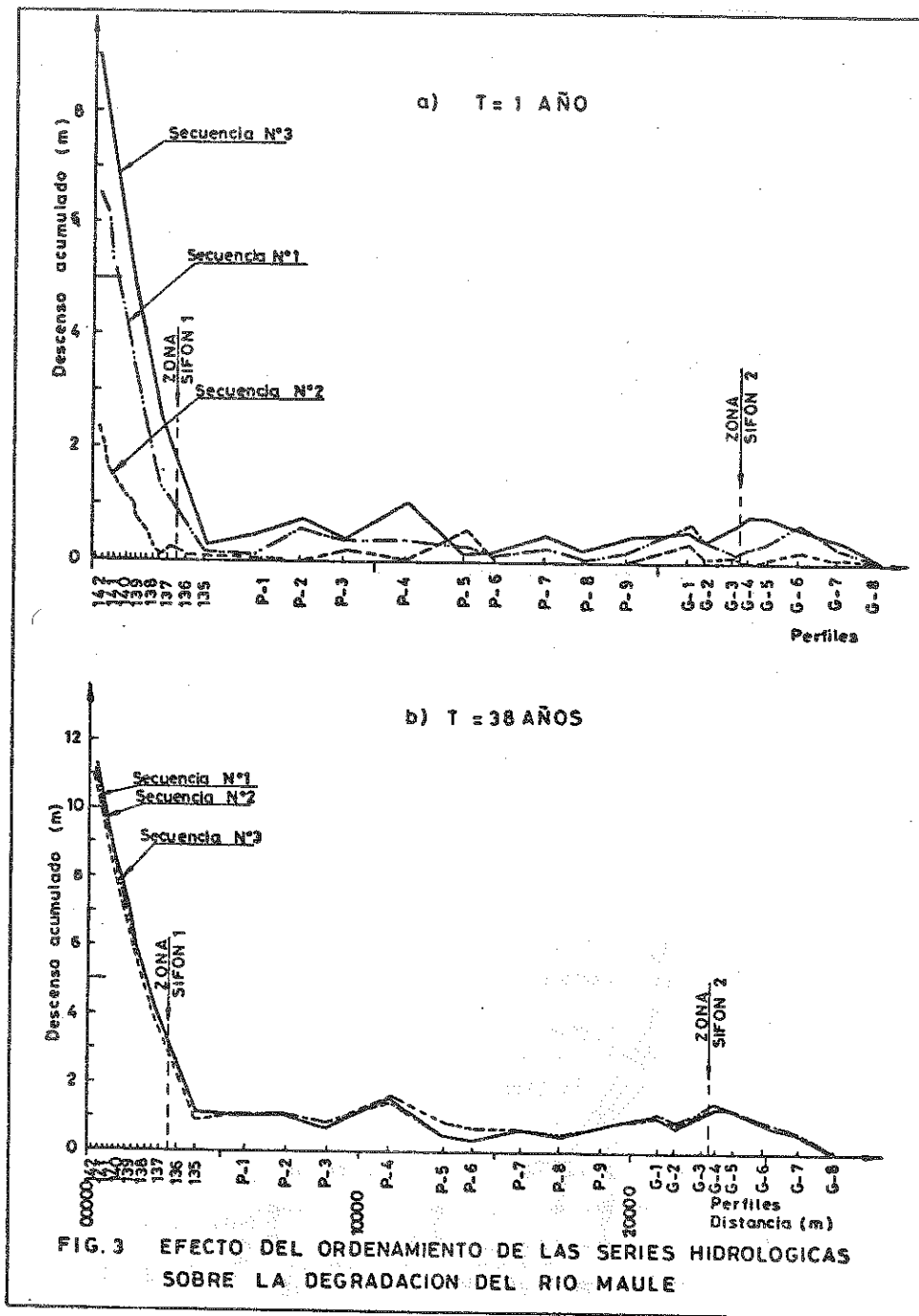


FIG. 3 EFECTO DEL ORDENAMIENTO DE LAS SERIES HIDROLOGICAS SOBRE LA DEGRADACION DEL RIO MAULE

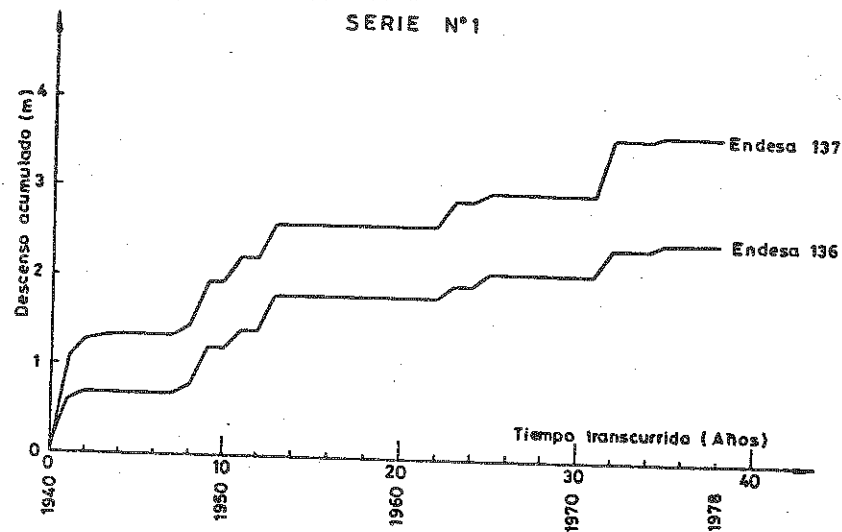


FIG. 4 DEGRADACION EN FUNCION DEL TIEMPO EN ZONA DEL SIFON 1

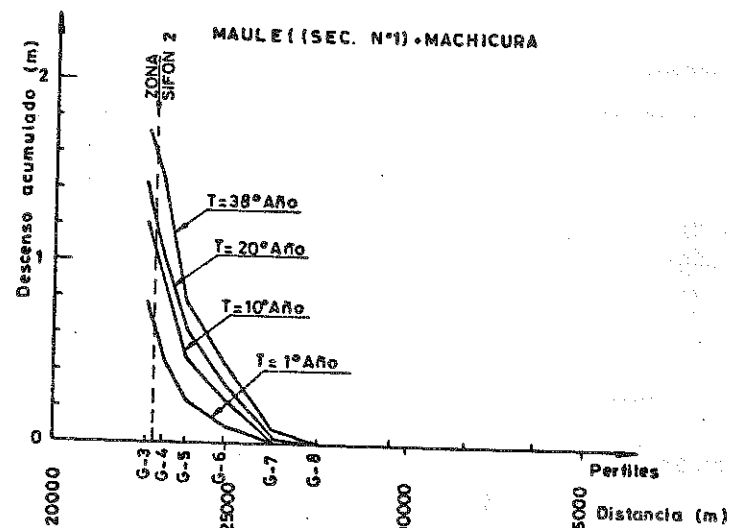


FIG. 5 DEGRADACION ORIGINADA POR APORTES CONCENTRADOS PROVENIENTES DE MACHICURA

Colbún. Puede apreciarse de esta figura que en general el proceso es discontinuo, produciéndose incrementos importantes en los descensos acumulados sólo en los períodos de caudales altos. De acuerdo a lo consignado en la figura, la degradación en este sector del río Maule oscilará entre 2.8 y 3.6 m.

4.2 Degradación por Efecto de los Aportes Concentrados de Machicura

Los caudales conducidos por el Canal de Devolución de Machicura descargarán al río Maule en una sección ubicada a unos 22 a 23 Km aguas abajo de la presa Colbún.

En la Fig. 5 se muestran los resultados obtenidos de la operación del modelo con la secuencia hidrológica formada por la superposición de los caudales del río Maule (serie 1) y de la Central Machicura. Se muestran aquí los descensos acumulados en el río a partir del perfil G3, para 1, 10, 20 y 38 años de operación simulada del modelo. Según estos resultados la degradación máxima ocurre en el perfil G3 y alcanza un valor de 1.7 m. A partir de este perfil, se produce un descenso paulatino de la degradación hasta alcanzar unos pocos centímetros en el perfil G8 ubicado a 5 Km de distancia del perfil G3.

En la Fig. 6 se ilustra en forma gráfica la superposición de efectos derivados de la implantación de la presa Colbún y de las descargas de Machicura. Puede apreciarse que las degradaciones son independientes y como tal no se interfieren dentro del período de 38 años analizado. Cabe señalar que la degradación de Colbún a partir del perfil 135 corresponde a una "tendencia suavizada" dibujada a partir del gráfico de la Fig. 3.

4.3 Degradación con Acorazamiento del Lecho

El primer caso analizado corresponde a la de una tendencia general acorazante del lecho en todo el tramo en estudio. Los datos granulométricos utilizados en esta etapa se consignan en la Tabla 5. Estos datos corresponden a los sedimentos

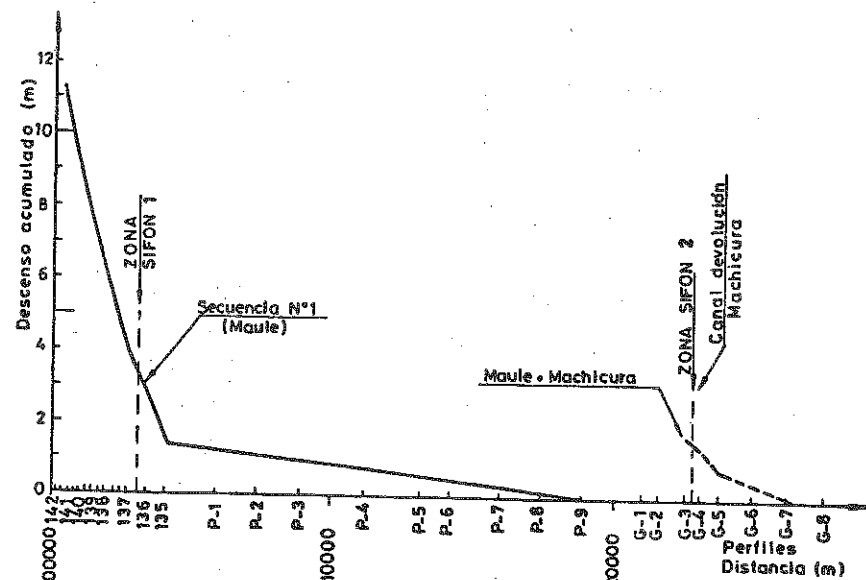


FIG. 6 SUPERPOSICION DE EFECTOS. DEGRADACION PROVOCADA POR PRESA COLBUN Y POR DESCARGAS DE MACHICURA

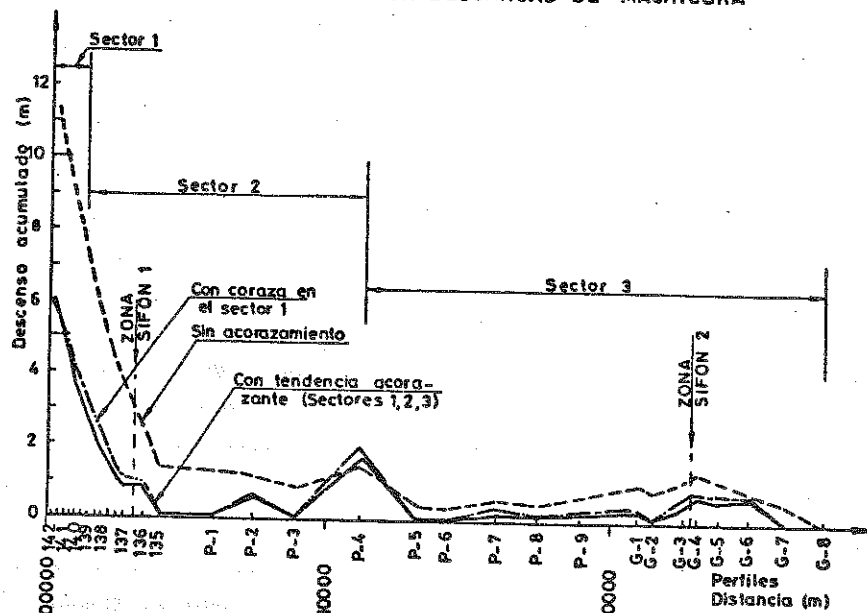


FIG. 7 EFECTO DE ACORAZAMIENTO DEL LECHO

más gruesos muestreados en los pozos considerados representativos de los diversos sectores analizados.

TABLA 5.- Sedimentos Apropriados para Caracterizar Tendencia General Acorazante

Sector	Sedimento Pozo	Representativo Capa	D ₅₀ (mm)	σ_G
1	1	1	100	8.8
2	4	2	86	5.6
3	5	2	84	6.8

El segundo caso analizado corresponde al de acorazamiento completo en uno de los sectores del río. Para este caso se adoptó como curva granulométrica la perteneciente a una coraza calculada en forma teórica a través del método de Gessler. El sector con acorazamiento completo considerado fue el sector más encauzado del río, el cual corresponde al tramo inmediatamente aguas abajo de la presa Colbún, de aproximadamente 1.200 m de longitud. Cabe indicar que tanto en este caso como en el anterior, se hizo uso de la serie 1 como sollicitación hidrológica de simulación.

Los resultados obtenidos para 38 años de simulación, por las dos situaciones analizadas, se muestran en la Fig. 7. En dicha figura se ha incluido además la curva correspondiente al caso "sin acorazamiento" a fin de ilustrar la importancia que tiene este fenómeno sobre los resultados finales del proceso de degradación. En efecto, puede apreciarse que la coraza del lecho representa un importante elemento inhibitor del proceso de degradación que se manifiesta a través de una clara disminución de los descensos acumulados a lo largo del tiempo.

La Fig. 7 muestra que para las situaciones con acorazamiento analizadas, los mayores descensos (pie de presa) disminuyen a 6 m lo cual corresponde al 55% del valor obtenido sin acorazamiento del lecho. En la zona del Sifón 1 se alcanzan descensos acumulados apenas superiores a 1.1 m, los cuales comparados con los 3 m promedio obtenidos antes (Fig. 4), re-

presentan sólo algo más del 35% de este último valor.

4.4 Análisis y Discusión Global de los Resultados

El análisis de sensibilidad llevado a cabo ha permitido establecer la importancia relativa de los distintos factores que condicionan la degradación del río Maule. Ha quedado claro que el aspecto más importante del problema se centra en torno al acorazamiento del lecho, el cual según lo demostraron los resultados presentados, tiene una influencia decisiva sobre la magnitud de los descensos acumulados.

La posibilidad cierta que se forme una coraza o capa acorazante, especialmente en el tramo de 4 a 5 Km ubicado inmediatamente aguas abajo de Colbún donde el río se presenta mejor encauzado, lleva a concluir que la degradación difícilmente alcanzará el límite más desfavorable indicado en la Fig. 3. Más bien, cabría esperar que el proceso se asemeje más a los casos ilustrados en la Fig. 7, denotados como "con coraza en Sector 1" y "con tendencia acorazante". De acuerdo con esta conclusión, la degradación del río Maule dará origen a descensos del lecho que alcanzarán del orden de 6 m al pie de presa los cuales disminuirán paulatinamente a valores prácticamente nulos a 5 Km de la presa Colbún.

De los otros dos aspectos analizados, el de menor importancia relativa concierne al ordenamiento de los caudales en las series hidrológicas, puesto que ello determina diferencias que pueden calificarse sólo de temporales o transitorias en el proceso.

En relación a los aportes concentrados provenientes de Machicura, éstos originan una degradación a partir de la sección de descarga (perfil G3) que es independiente de la degradación causada por la presa Colbún y de una magnitud y extensión muy inferior a la de esta última, que no sobrepasarán los 2 m de descenso acumulado ni los 5 Km de longitud.

5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- a) La aplicación del modelo de simulación matemática efectuada mediante un análisis de sensibilidad de parámetros permite obviar el problema de utilizar métodos teóricos de predicción inaplicables al río Maule, al mismo tiempo que entrega órdenes de magnitud, extensión y escala de tiempo de la degradación asociada con la implantación de la presa Colbún en el río.
- b) La degradación en el río Maule, proceso que se caracteriza por ser de rápido avance inicial que se estabiliza gradualmente en el tiempo, no se ve afectada por el ordenamiento de las series hidrológicas sino transitoriamente.
- c) La magnitud de la degradación máxima al pie de presa estará comprendida entre 11 y 6 m dependiendo del acorazamiento del lecho. Esta degradación disminuirá a valores entre unos pocos metros y unos pocos centímetros en secciones ubicadas a 4 o 5 Km de la presa Colbún, según esté ausente o presente el acorazamiento en el lecho, respectivamente.
- d) La degradación originada por la descarga de caudales de la Central Machicura, calculada sin considerar acorazamiento alcanzará a valores cercanos a 2 m en la zona de descarga y disminuirá gradualmente hasta hacerse nula a unos 5 Km aguas abajo de este punto.
- e) En la interpretación de los resultados del estudio conviene tener presente que la degradación calculada mediante el uso del modelo de simulación matemática, corresponde a descensos medios a las secciones y no a descensos máximos. Estos descensos máximos pueden no estar determinados únicamente por el fenómeno de degradación, sino también por fenómenos locales propios del río y no son tomados en cuenta por el modelo de simulación.

BIBLIOGRAFIA

Ayala L., Brown E., Cabrera G., y López A., 1981 "Estudio de la Degradación del Río Maule Aguas Abajo de la Presa Colbún" Centro de Recursos Hidráulicos, Universidad de Chile. Pub. CRH 81 - 7 E.