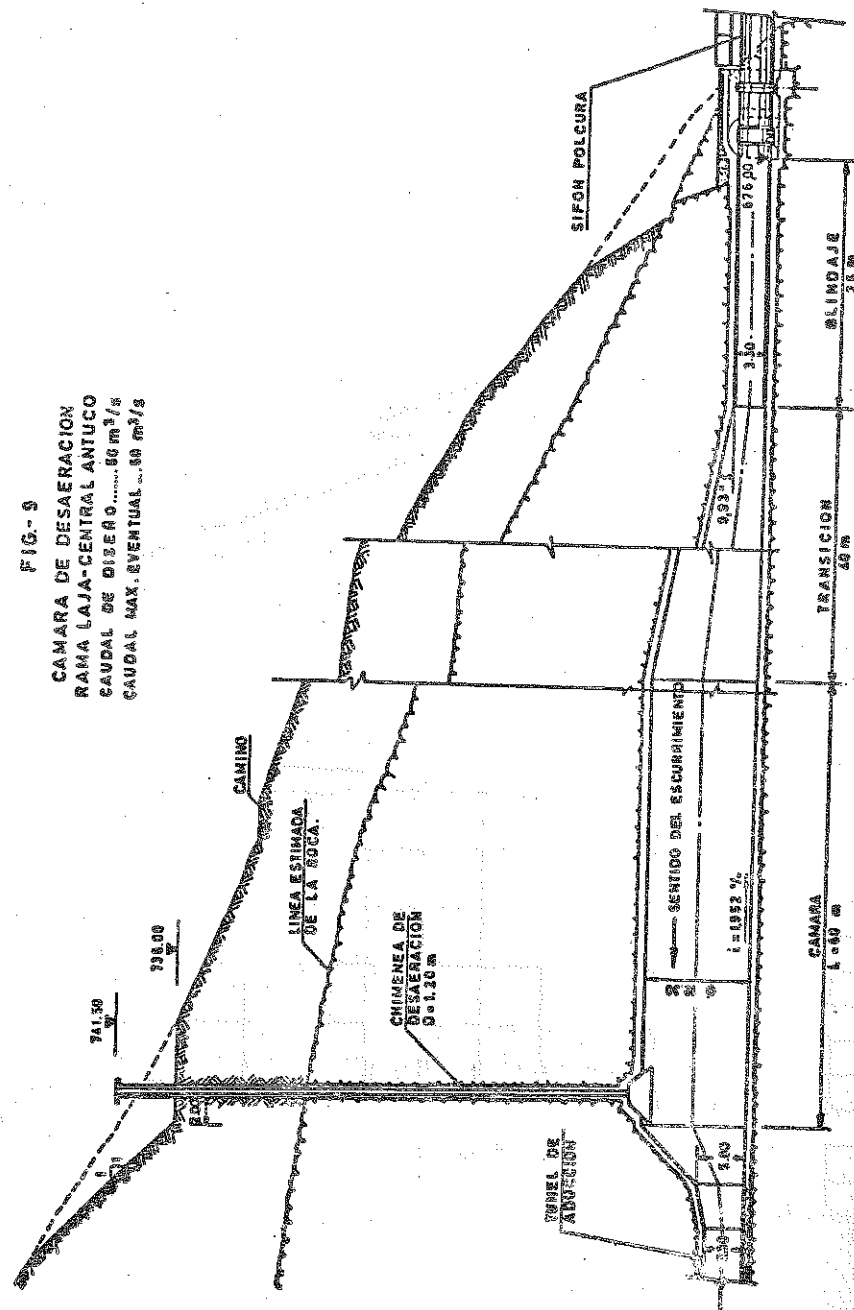


FIG. 9
CAMARA DE DESAERACION
RAMA LAJA-CENTRAL ANTUCO
CAUDAL DE DISEÑO 80 m³/s
CAUDAL MAX. EVENTUAL 90 m³/s



COEFICIENTES DE RUGOSIDAD EN TUNELES REVESTIDOS CON
HORMIGON QUE ESCURREN EN PRESION

Lincoln Alvarado M. (1)

René Neger S. (2)

RESUMEN

El ingeniero proyectista de obras hidráulicas se encuentra frecuentemente enfrentado al problema de escoger el coeficiente de rugosidad que debe utilizar en los cálculos ya sea de capacidad, energéticos o de regímenes transitorios en túneles revestidos con hormigón que escurren en presión. En la literatura técnica aparecen gran cantidad de valores medidos en túneles con diámetros que van desde valores inferiores a los 3 m hasta 14 m; sin embargo no se tenían antecedentes de coeficientes de rugosidad medidos en túneles construidos en Chile. Se muestra en el trabajo los resultados de medidas de pérdida de carga efectuadas en los túneles de aducción de las centrales El Toro y Antuco de ENDESA, túneles construidos con moldaje metálico y de diámetros equivalentes iguales a 5,79 m y 7,06 m respectivamente, concluyéndose que los valores obtenidos (n ó f) son mayores que los mejores obtenidos por los americanos para túneles construidos en condiciones similares.

- (1) Ingeniero Civil Jefe División Estudios Hidráulicos ENDESA. Profesor Auxiliar Escuela de Ingeniería U. de Chile.
(2) Ingeniero Civil División Estudios Hidráulicos ENDESA.

1. INTRODUCCION.

Para calcular las pérdidas friccionales en túneles revestidos con hormigón, que escurren en presión, ha sido costumbre usar la fórmula de Manning por la relativa simplicidad en la evaluación del coeficiente de rugosidad n . Un valor de $n = 0,013$ es comunmente usado en los cálculos. Medidas efectuadas en prototipo [1] muestran que para números de Reynolds muy altos ($\sim 10^8$) se han medido coeficientes de rugosidad $n \approx 0,010$ en un túnel muy bien terminado y donde las protuberancias resultantes de las puntas de los moldajes han sido pulidas.

Esto ha llevado al uso de la fórmula de Darcy - Weisbach y el ábaco de Moody para la determinación de las pérdidas friccionales. El problema radica entonces en la correcta elección de la rugosidad (ϵ).

Esta dificultad nos ha llevado a presentar en este artículo los resultados de las medidas de pérdidas de carga realizadas, por ENDESA, en los túneles de las centrales El Toro y Antuco.

2. ANTECEDENTES DISPONIBLES EN LA LITERATURA TECNICA.

2.1 Desarrollo histórico de las fórmulas de pérdidas friccionales

a) Los precursores.

Los esfuerzos para establecer una relación entre las pérdidas friccionales y las características físicas de un conducto datan de 1775 cuando Chezy propuso la siguiente fórmula:

$$P_f = \frac{1}{C^2} \frac{L}{R} V^2 \quad (1)$$

siendo

P_f = pérdida de carga friccional

R = radio hidráulico

L = longitud del conducto

V = velocidad media

C = coeficiente de rugosidad (dimensional)

A mediados del siglo 19, Darcy y Weisbach sugirieron una ecuación basada en la hipótesis que el esfuerzo tangencial medio en el perímetro es proporcional a la energía media del flujo. La relación puede escribirse como:

$$P_f = f \frac{L}{4R} \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

siendo f un factor de fricción adimensional. Las ecuaciones 1 y 2 fueron las precursoras de los esfuerzos para evaluar las pérdidas friccionales.

b) Fórmulas exponenciales.

A medida que los antecedentes experimentales se acumularon se hizo notorio que tanto " C " como " f " variaban no sólo con las características rugosas del conducto sino también con " V " y " R ".

Esto llevó al desarrollo de expresiones empíricas tales como las de Kutter para expresar ' C ' en términos de V y R . La expresión propuesta por Manning como una simplificación de la propuesta por Kutter se popularizó, en ella.

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (3)$$

en la cual n es el coeficiente de Manning

La combinación de las ecuaciones 1 y 3 lleva a la conocida expresión de Manning

$$V = \frac{R^{2/3}}{n} J^{1/2}$$

siendo $J = \frac{P_f}{L}$ (pendiente del plano de carga)

La fórmula de Manning sirvió de modelo para otras fórmulas exponenciales entre las cuales se pueden citar las de Scobey y Hazen-Williams que aunque son dimensionalmente inconsistentes han sido útiles en el rango para el cual fueron desarrolladas.

c) El procedimiento racional.

Usando la fórmula de Darcy - Weisbach como base, los investigadores emprendieron la búsqueda de la explicación física de la fricción en los fluidos. La teoría de la capa límite propuesta por Prandtl en 1904 fué la base en la cual se apoyaron los estudios.

Es así como Blasius sugirió que " f ", para tuberías lisas, dependía del N° de Re solamente. Hopf mostró que, en general, " f " variaba también con la rugosidad relativa. Davis y White, en 1929, mostraron la diferencia entre tuberías hidráulicamente lisas y rugosas.

El efecto de la viscosidad fué mostrado por las clásicas experiencias de Nikuradse en tuberías lisas. Con ellas demostró que " f " varía con Re. Von Karman y Prandtl, basándose en dichas experiencias,

desarrollaron la ecuación para tuberías lisas.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log Re \sqrt{f} - 0,8$$

Las experiencias de Nikuradse en tuberías rugosas fueron básicos para determinar el efecto de la rugosidad relativa ($\frac{ks}{D}$). La ecuación propuesta por Von-Karman - Prandtl para tuberías rugosas es:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{D}{2k_s} + 1,74$$

La zona de transición, entre tuberías lisas y rugosas, fué resuelta por Colebrook y White, los que basándose en sus propias experiencias llegaron a que

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{ks}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

Finalmente Moody, en 1944, construyó un gráfico basándose en los antecedentes antes mencionados y en experiencias realizadas en cañerías comerciales. Este gráfico es conocido hoy en día con su nombre.

2.2. Antecedentes proporcionados por el "United States Army Engineer".

El U.S. Army Engineer Waterways Experimental Station (WES) ha realizado medidas de pérdida de carga en un gran número de obras construidas. Antes de las mediciones se ha tomado una impresión, mediante moldes con goma dental, de la rugosidad absoluta de las paredes.

En la publicación de la referencia [1] se incluyen los siguientes antecedentes obtenidos de medidas en prototipo:

Túneles construidos con moldaje metálico.

Proyecto	Forma	Tamaño m	ks mm	Obs.
Denison	circular	6,10	0,0366	
Ontario	achatada	5,49	0,0030	alisado a mano
Chelan	circular	4,27	0,183	
Adam Beck	circular	13,72	0,0549	radier concretado con maestra.
Fort Peck	circular	7,53	0,0427	

Túneles construidos con moldaje de madera.

Proyecto	Forma	Tamaño m	ks mm	Obs.
Oahe	circular	5,08	0,01	untas pulidas
Enid	circular	3,36	0,49	
Pine Flat (52)	Rectangular	1,52 x 2,75	0,31	moldaje con tablas
Pine Flat (56)	Rectangular	1,52 x 2,75	1,21	longitudinales.

Los datos (f, Re), que han dado origen a los valores antes mencionados, se han colocado en un gráfico de Moody el que se muestra en la figura N° 1.

Como valores conservadores de diseño, para el cálculo de capacidad de túneles, se propone usar:

- conductos circulares ks = 0.6 mm
- conductos rectangulares ks = 0.9 mm

2.3 Antecedentes proporcionados por el United States Department of the Interior. Bureau of Reclamation.

En la publicación "Friction Factors for Large Conduits Flowing Full" [3] se recopilan los antecedentes de numerosas mediciones hechas en conductos revestidos con hormigón. Se incluyen a continuación y en la figura N° 2 los datos de aquellos túneles, construidos con moldaje metálico, cuyo diámetro es mayor de 3 metros.

N°	Proyecto	D m	L m	Obs.
1	Chelan	4,27	2814	
2	Engle wood	3,30	217	
3	Melones	3,66	1363	rugosidades superficiales
4	Ontario	5,49	1982	alisado a mano
5	Partidor	3,05	910	alisado a mano
6	Pit Dam N°1	4,17	3099	terminación con brocha
7	Rondout	4,42	2776	untas abruptas
8	Apalachia	5,49	6520	
9	Newer	3,05	7579	radier concretado con maestra
10	Weber Cocille	4,47	1720	buen alineamiento de juntas
11	Tunel N°1 Niagara Water Supply	13,72	3367	} radier concretado con maestra y alisado.
12	Bersimis N° 1	9,46	11956	

Basándose en los antecedentes medidos en prototipo, se propone los siguientes valores de la rugosidad efectiva ks para túneles revestidos con hormigón.

Características de la superficie	ks (m m)
Inusualmente rugosa	
Moldaje en madera sin cepillar	
Erosión en el concreto	0,6 a 3,0
Mal alineamiento de juntas	
Rugosa	
Erosión provocada por el paso de material abrasivo	
Marcas visibles de los moldajes de madera	0,4 a 0,6
Descascaramiento de la lechada superficial	
Granular	
Moldaje de madera cepillada o superficie pintada en buenas condiciones	0,18 a 0,4
Juntas bien alineadas	
Concreto suave - nuevo o casi nuevo	
Moldaje metálico - mano de obra media	0,06 a 0,18
Poros de aire visibles en la superficie	
Juntas pulidas	
Concreto inusualmente suave-nuevo	
Moldaje metálico - mano de obra de primera clase	0,015 a 0,06
Juntas pulidas	

3. MEDIDAS REALIZADAS EN EL TUNEL DE ADUCCION DE LA CENTRAL EL TORO

La Central Hidroeléctrica El Toro forma parte del Aprovechamiento Hidroeléctrico del Río Laja desarrollado por ENDESA (ver figura N°3)

El agua utilizada por la central (Q = 97 m³/s) es captada en una bocatoma profunda ubicada en el Lago Laja, desde allí es conducida por un túnel de 5,7 m de diámetro y 9070 m de largo hasta la Chimenea de equilibrio. El túnel continúa hasta la caverna de válvulas desde donde nacen 2 turbinas subterráneas las que alimentan 4 turbinas Peltón (100 000 kW cada una) ubicadas en la Caverna de Máquinas. El agua se entrega posteriormente al río Polcura mediante un corto túnel acueducto. (ver figura N°4)

El túnel de aducción presenta en su trazado 7 curvas en planta cuyas características pueden encontrarse en la figura N° 4.

El revestimiento de hormigón del túnel se realizó utilizando moldaje metálico aceitado. El moldaje fué construído con plancha de acero de 6 mm de espesor, cada tramo estaba constituido por 5 sectores de 1,80m de largo cada uno. El radier fué hormigonado aparte mediante maestra metálica.

3.1 Mediciones

Durante las pruebas de puesta en servicio, el año 1973, se realizaron mediciones para determinar las pérdidas de carga en el túnel de aducción.

Las medidas se efectuaron, mediante sonda eléctrica, en la zona de captación (Lago Laja) y en el pique de la chimenea de equilibrio. Se trató que durante el transcurso de las medidas, el régimen de operación de la central fuese lo más estable posible, de manera tal que la variación del caudal fuese mínima. El caudal se determinó en forma indirecta mediante la curva Q/\sqrt{H} vs abertura de los inyectores. Esta curva fué determinada en el prototipo durante las medidas de rendimiento. (aforos precisos realizados con molinetes).

3.2 Análisis y Resultados.

En total se realizaron 7 mediciones con caudales que fluctuaron entre 8 y 71 m³/s. Se descartaron las 3 primeras medidas por corresponder a caudales bajos lo que hace poco precisa la medición de la pérdida de carga.

A continuación se incluye un cuadro con los valores medidos y los coeficientes de rugosidades de Manning (n) y factor de fricción (f) resultantes. Para realizar el análisis de los valores medidos se han tenido en cuenta los siguientes datos y antecedentes:

- longitud entre los puntos de medida L=9070 m
- Area del túnel A=26,3 m²
- Diámetro equivalente D=5,787 m
- viscosidad cinemática $1,38 \times 10^{-6}$ s/m²
- pérdidas en las curvas calculadas teóricamente de acuerdo a lo indicado en el libro Internal Flow [4]
- pérdidas en la toma, pique de compuerta y pique de reja estimada en 1 altura de velocidad del túnel.

Pérdidas de carga

Q m ³ /s	Total m	Singular m	Friccional m	Re	n	f
33,2	2,140	0,106	2,034	5,3 x 10 ⁶	0.0152	0.0159
46,9	3,864	0,211	3,653	7,5 x 10 ⁶	0.0144	0.0144
57,5	5,495	0,317	5,178	9,1 x 10 ⁶	0.0139	0.0135
71,3	8,389	0,487	7,902	11,0 x 10 ⁶	0.0139	0.0135

Los valores de f vs Re se han colocado en los gráficos de las figuras N° 1 y 2 donde pueden compararse con otras mediciones realizadas en prototipo.

4. MEDIDAS REALIZADAS EN LOS TUNELES DE LA CENTRAL ANTUCO.

La central hidroeléctrica "Antuco" es la tercera y última integrante del Aprovechamiento hidroeléctrico del río Laja desarrollado por ENDESA (ver figura N° 3).

La figura N° 5 muestra un esquema del sistema de túneles en presión de la central Antuco. El agua es captada fundamentalmente en 2 puntos, la Bocatoma Polcura en el río del mismo nombre capta aproximadamente el 75% del gasto de plena carga mientras que la Bocatoma Laja capta el 25% restante. En el esquema sólo aparece la última parte de la aducción Laja, que corresponde a un túnel en presión (túnel Laja 2).

El túnel Polcura y el túnel Laja 2 se juntan en el punto denominado VC1, continuando desde allí el túnel común 1 que atraviesa el río Pichipolcura mediante un sifón metálico de 6,30 m de diámetro llegando al punto VC4 donde se encuentra la chimenea secundaria, desde allí continúa el túnel común 2 hasta el punto VC 7 donde se encuentra la chimenea de equilibrio principal, desde allí el túnel continúa en un pequeño tramo de 25 m donde se bifurca en 2 tuberías de presión de 5 m de diámetro cada una que conducen el agua finalmente hasta las unidades generadoras de 150 MW cada una.

El revestimiento de hormigón de los túneles se realizó utilizando también moldaje metálico aceitado pero con una plancha de mayor espesor ($e=9$ mm) que en la central El Toro y un molde mucho más rígido para evitar los problemas de ondulación que se registraron en "El Toro". Se utilizaron en esta oportunidad paños formados por 4 sectores de 1,80 m de largo cada uno. El radier fué hormigonado con posterioridad mediante maestra metálica.

4.1 Puntos de medida e instrumentación.

Durante la puesta en servicio de la central se realizaron 2 series de medidas que coinciden respectivamente con la entrada de las unidades N° 1 y 2 en Abril y Junio de 1981. La primera serie comprende 5 pruebas con gastos bajos realizadas con la unidad N° 1 en servicio exclusivamente y la rama Laja fuera de servicio, separada de la aducción Polcura y Común mediante un tapón metálico. La segunda serie comprende 3 pruebas reali-

zadas con ambas unidades en servicio y la rama Laja conectada a la aducción principal pero sin gasto afluente.

Se utilizaron diversos métodos de medidas de acuerdo al lugar que se estaba registrando. La cota en la Bocatoma Polcura se registró mediante una lectura limnimétrica. En las ventanas 1 y 4 se registró la presión interior mediante manómetros conectados a tomas de presión que se habían dejado instaladas precisamente con ese objeto. La cota piezométrica en la Chimenea secundaria se registró en la Ventana 2 mediante un traductor de presión que midió la presión en ese punto (V6) y dejaba una inscripción en un gráfico especial. El nivel del agua dentro de la chimenea de equilibrio se medía mediante un limnógrafo eléctrico que registraba la cota permanentemente y que había sido previamente calibrado mediante una sonda eléctrica.

En la segunda serie de medidas, cuando la rama Laja estaba conectada pero sin gasto afluente, se pudo registrar también la presión en el nudo de encuentro del túnel Polcura y túnel Laja 2 (punto VC 1) mediante un manómetro instalado en un arranque del sifón Polcura. Todos los manómetros habían sido previamente contrastados.

Para determinar el gasto en cada prueba se midió la presión a la entrada de la tubería con un manómetro de pesas con dispositivo de lectura automática de la fábrica NEYRPIC, la abertura de los álabes de la turbina se leyó a través de la lectura en una regleta ubicada en el foso de turbinas que mide la carrera del servomotor, la cota de agua en el canal de evacuación era registrada mediante otro limnógrafo eléctrico. Con todos estos antecedentes de terreno y además 2 curvas entregadas por el fabricante (Hitachi) que son: "Relación entre la carrera del servomotor y apertura de álabes" y "Relación entre el término Q/\sqrt{H} y el % de apertura de álabes" (obtenida a través de experiencias en el modelo de la turbina), se pudo calcular el gasto total.

La experiencia nos ha demostrado que el gasto así calculado no suele diferir en más de un 2% con el determinado mediante aforo con molinetes.

4.2 Resultados obtenidos.

De las 8 mediciones realizadas, se han descartado las 3 primeras, que corresponden a los gastos más bajos debido a que los errores

en las medidas se hacen relativamente más importantes en ese caso y además la curva Q/\sqrt{H} no está bien definida para aperturas pequeñas, de este modo se han considerado 5 pruebas como válidas. Las mediciones en cada prueba duraban aproximadamente media hora, tiempo en el cual se mantenían las condiciones de potencia de la central lo más estable posible. En algunas pruebas en las cuales las condiciones experimentaron leves variaciones, los valores adoptados corresponden al valor medio durante el lapso de medición.

Tomando en primer lugar la pérdida de carga total entre la Bocatoma Polcura y la chimenea de equilibrio principal y restando las pérdidas de carga singulares, evaluadas de acuerdo con las expresiones de la referencia [5] (5 curvas en planta cuyas características aparecen en la figura 6, algunas transiciones y 234 m de tubería metálica) se obtiene la pérdida friccional, la que a su vez, mediante la fórmula de Manning aplicada a cada tramo con sus respectivas características geométricas, da origen al coeficiente "n" de Manning que aparece en la tabla. Si se hace lo mismo con la fórmula de Darcy Weisbach, se puede despejar el factor de fricción "f" ya que todos los demás parámetros son conocidos. El número de Reynolds que también aparece, fué calculado con un diámetro equivalente para toda la aducción de 7,06 m, una sección equivalente de 39,14 m² y una viscosidad cinemática

$$\nu = 1.38 \times 10^{-6} \text{ s/m}^2 \text{ (para } t = 8^\circ\text{C)}$$

Prueba N°	Q (m ³ /s)	Pérdida total (m)	Re	n	f
1	84.8	5.76	11,1 x 10 ⁶	0,0136	0.0125
2	91.2	6.91	11,9 x 10 ⁶	0,0139	0.0130
3	118.8	10.42	15,5 x 10 ⁶	0,0130	0.0114
4	140.5	14.86	18,4 x 10 ⁶	0,0132	0.0117
5	178.8	22.83	23,4 x 10 ⁶	0,0128	0.0110

Si se toma en cuenta las medidas realizadas en la chimenea secundaria y se evalúa la pérdida entre ese punto y la chimenea principal, resultan coeficientes de rugosidad "n" y de fricción "f" netos del túnel Común 2 dados por la tabla siguiente

Prueba N°	Q (m ³ /s)	Pérdida (m)	Re	n	f
1	84.8	sin medida	10,8 x 10 ⁶	- - -	- - -
2	91.2	2.55	11,6 x 10 ⁶	0,0130	0.0110
3	118.8	4.27	15,1 x 10 ⁶	0,0129	0.0109
4	140.5	6.25	17,8 x 10 ⁶	0,0132	0.0114
5	178.8	10.38	22,7 x 10 ⁶	0,0134	0.0117

Los valores de f vs Re se han colocado también en los gráficos de las figuras N° 1 y 2.

Las medidas realizadas con manómetros en las ventanas 1, 4 y Sifón Polcura no han sido consideradas principalmente por 2 razones: la ventana 1 se encuentra directamente en el lado exterior de una curva, el punto VC 1 está también inmediatamente aguas abajo de una curva y los registros obtenidos en la Ventana 4 (que no está en una curva) arrojan resultados erráticos debido a la poca sensibilidad de los manómetros. Por esta razón se ha considerado para el análisis los puntos de medida donde no se utilizaron manómetros.

5. CONCLUSIONES

1. De acuerdo con las mediciones realizadas se puede decir que con N°s de Re que están en el límite de las tuberías rugosas los coeficientes de rugosidad de Manning resultan:

- Túnel de aducción Central El Toro n = 0.0140
- Túnel Común 2 Central Antuco n = 0.0132

Estos coeficientes toman en cuenta además de la rugosidad absoluta de las paredes del revestimiento los posibles desalineamientos de los moldajes.

2. La diferencia entre los valores medidos en los túneles de El Toro y Antuco puede ser explicada en parte por la diferencia de espesor de la plancha metálica con que fueron construidos los moldajes. El espesor usado en El Toro (6 mm) dió lugar a que durante el transcurso del hormigonado del revestimiento, el moldaje se fuera deformando lo que provocó ondulaciones en el revestimiento. En Antuco esto fué subsanado aumentando el espesor de la plancha metálica y rigidizando el moldaje.

3. Considerando los valores de "n" obtenidos en estas mediciones y los indicados en la referencia [6] para el túnel Apalachia (n = 0,0135) se puede decir que para túneles de un tamaño similar a los mencionados (D = 6,0 m) revestidos con hormigón realizado con moldaje metálico y para caudales que determinen N°s de Re mayores que 10⁷, en cálculos de capacidad debe usarse un coeficiente de rugosidad de Manning mínimo igual a 0.0135. Las pérdidas de carga singulares deben ser evaluadas separadamente.

4. En lo referente a la rugosidad efectiva (k_s) las mediciones permitieron determinar los siguientes valores:

- Túnel de aducción Central El Toro $k_s = 1,1 \text{ m m}$
- Túnel Común 2 Central Antuco $k_s = 0,5 \text{ m m}$

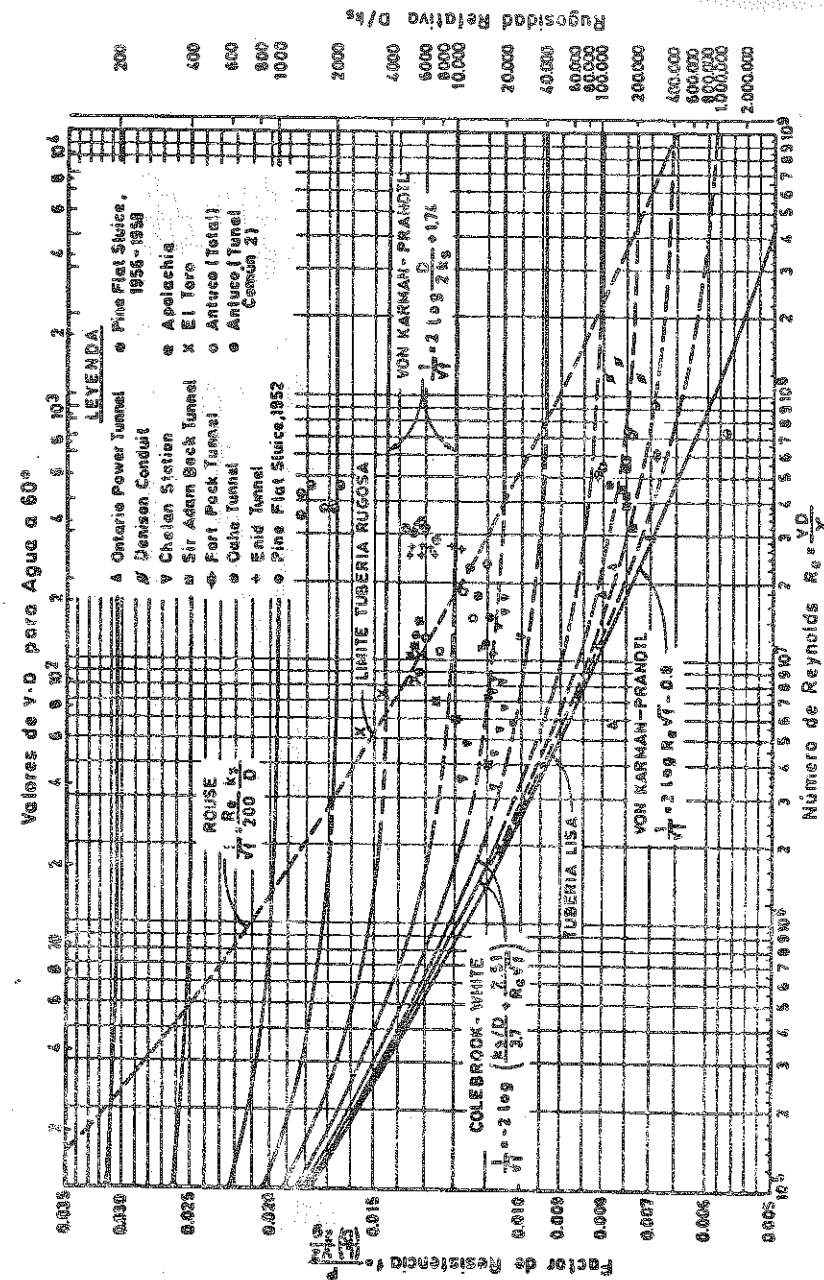
5. Comparando los valores de k_s determinados en estas mediciones con aquellos mencionados en la referencia [1] y [3] se llega a la conclusión que ellos superan ampliamente los allí citados. Dado que la terminación de la textura del revestimiento no puede diferir mucho ya que todos los casos comparados se construyeron con moldaje metálico, la diferencia debe ser atribuida al alineamiento de los moldajes.

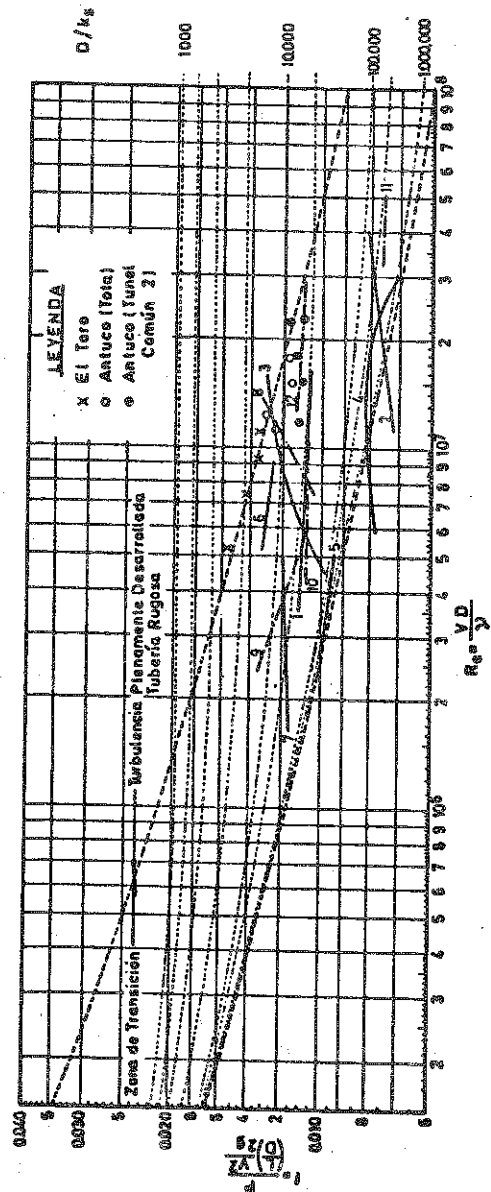
6. Sería interesante analizar en futuros túneles, sobre todo en aquellos que alimentan a una central hidroeléctrica, la conveniencia de mejorar el coeficiente de rugosidad poniendo especial cuidado en el alineamiento de los moldajes. El mayor costo que esto involucra puede ser recuperado con creces con la mayor energía generada.

BIBLIOGRAFIA

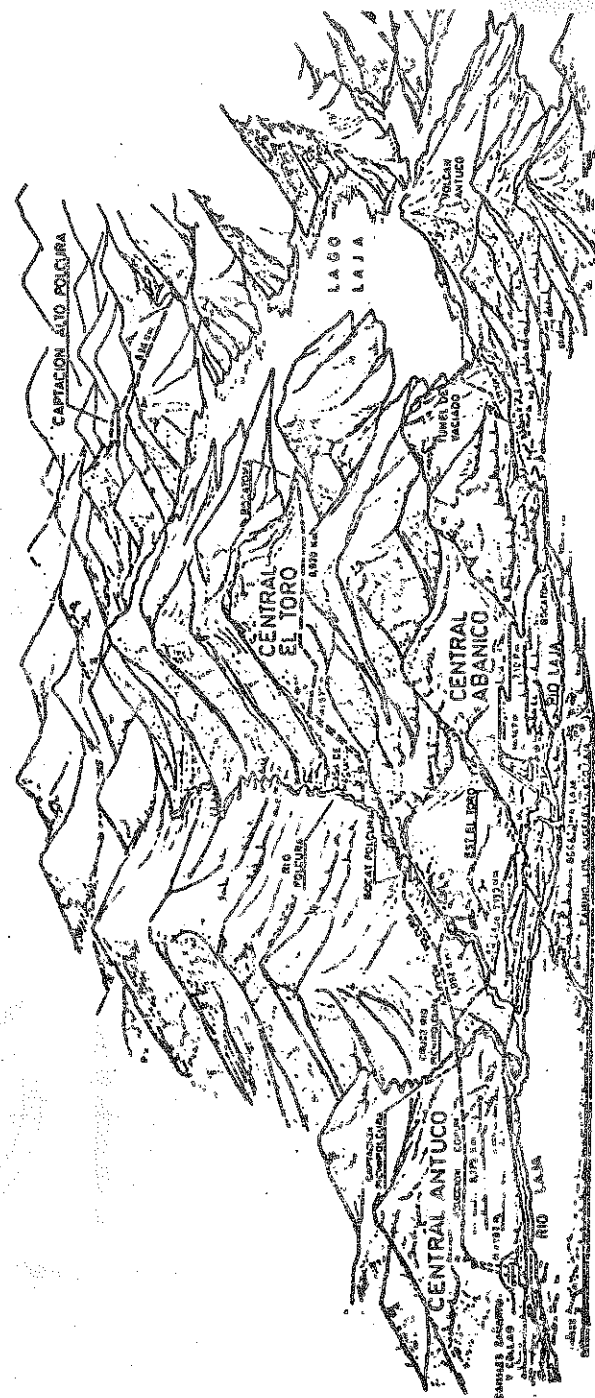
1. Corps of Engineers. Hydraulic Design Criteria. Sheet 224-1 Revised 3-73.
2. Task Force on Flow in Large Conduits. Factor Influencing Flow in Large Conduits. Journal of the Hydraulic Division. ASCE Noviembre 1965.
3. United States Department of the Interior. Bureau of Reclamation Friction Factor for Large Conduits Flowing Full. 1965.
4. Donald S. Miller Internal Flow British Hydromechanics Research Association. 1971
5. I.E. Idel'cik. Memento des Partes de Charge. Eyrolles. 1969.
6. American Society of Civil Engineers Friction coefficients in a large tunnel April 1947

FIGURA N° 1

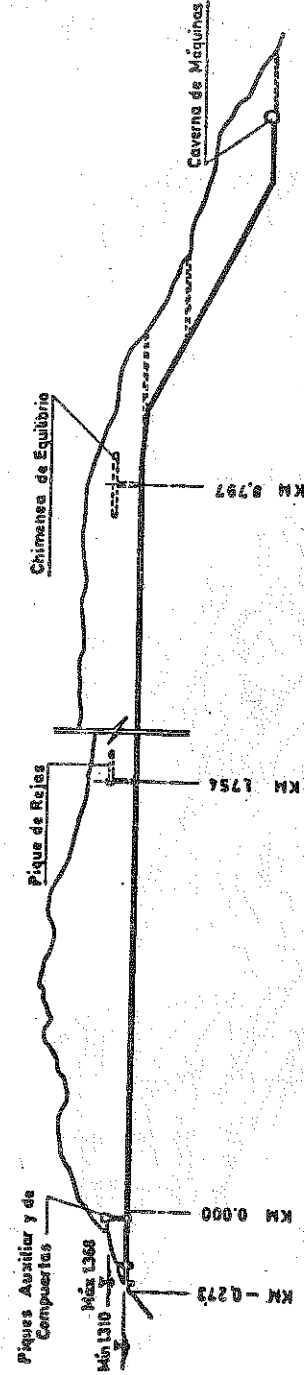




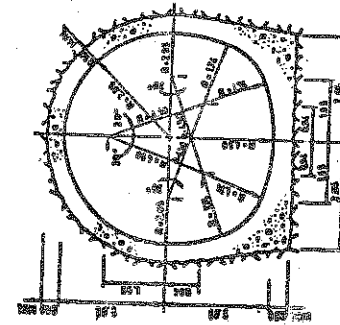
APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DEL RIO LAJA



**CENTRAL EL TORO
PERFIL LONGITUDINAL**



SECCION TUNEL DE ADUCCION



**CARACTERISTICAS DE LAS
CURVAS EN PLANTA**

VERTICE	ANGULO gr. sex.	RADIO m
AI	60° 54' 35,1"	30
AII	15° 52' 15,9"	50
AIII	28° 13' 37,4"	50
AIV	39° 48' 50,3"	50
AV	8° 14' 32,2"	50
AVI	33° 45' 42,2"	50
AVII	57° 24' 51,1"	50

FIGURA N° 4

**CENTRAL ANTUCCO
ESQUEMA DEL SISTEMA DE TUNELES EN PRESION**

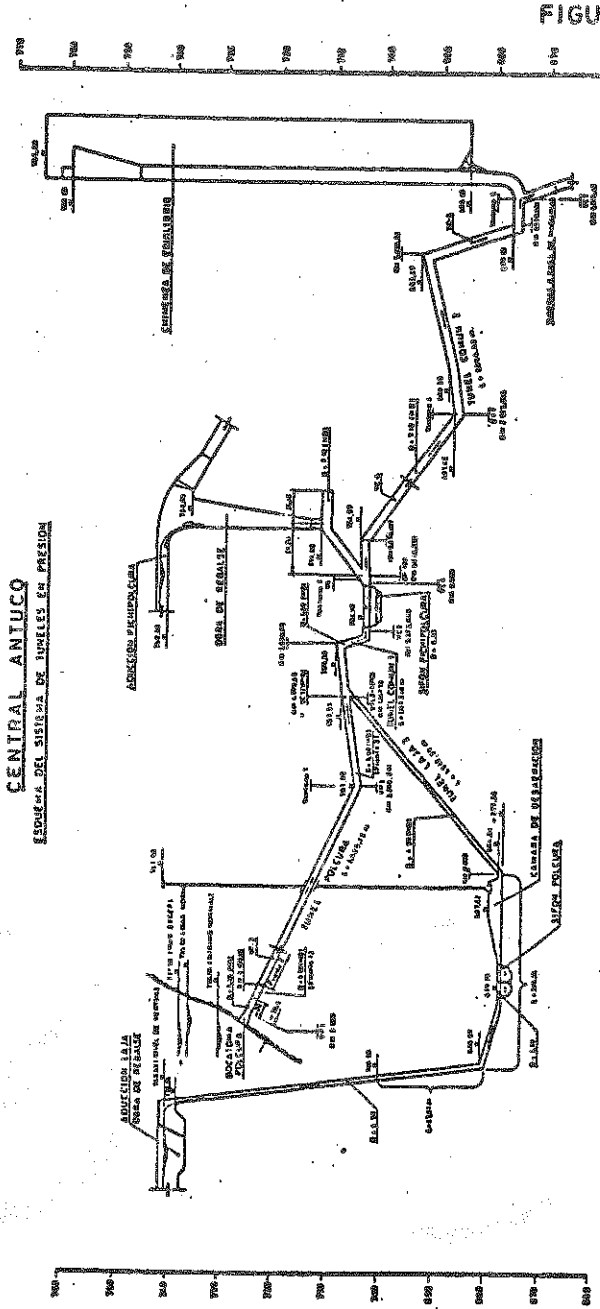
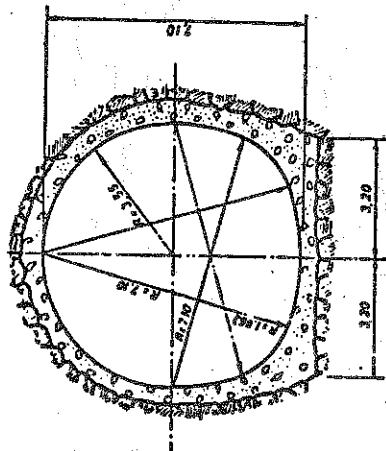


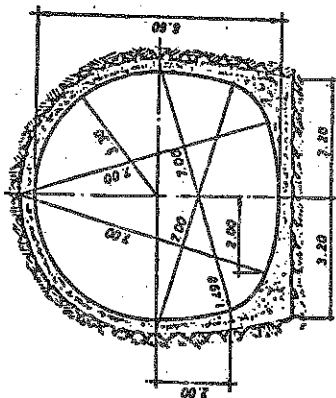
FIGURA N° 5

CENTRAL ANTUCO
SECCIONES TRANSVERSALES PRINCIPALES

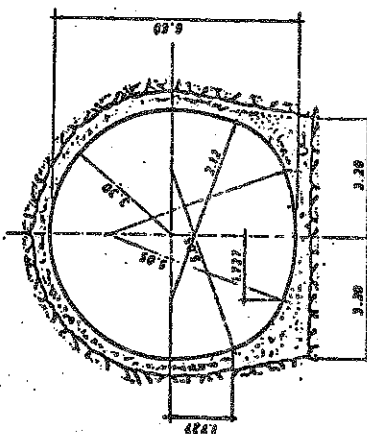
TUNEL COMUN 2



TUNEL POLCURA (FRENTE 2)
Y TUNEL COMUN 1



TUNEL POLCURA (FRENTE 1)



CARACTERISTICAS DE LAS
CURVAS EN PLANTA

VERTICE	ANGULO gr. sex.	RADIO m	ADUCCION
VP2	47° 20'	450	POLCURA
VP3	40° 50'	70	
VP6	25° 5'	100	
VC5	15° 28'	100	COMUN 2
VC6	52° 6'	100	

FIGURA N°6

DETERMINACION DE LA DISTRIBUCION DE VELOCIDADES EN
EL PLANO DE REJAS DE UNA BOCATOMA

Alberto Sepúlveda Vera (*)

RESUMEN

Un problema básico, al que se enfrenta el proyectista de las rejjas de protección de una bocatoma, ya sea superficial o profunda, es el de conocer la distribución de velocidades en el plano de las rejjas.

El objetivo de este trabajo es el de realizar una comparación entre medidas de velocidades efectuadas, ya sea en un prototipo o en un modelo hidráulico, con los valores calculados mediante la composición de dos redes ortogonales de líneas de corriente, calculadas por el método de los elementos finitos.

En conclusión podemos afirmar que la metodología de cálculo aquí indicada, para aplicar el método de los elementos finitos, es lo suficientemente confiable para efectos prácticos. Además, se llama la atención sobre algunas simplificaciones, y otras causas, que originan imprecisiones en la determinación de las velocidades.

(*) Ingeniero Civil, Sección Obras Hidráulicas ENDESA.