

RESISTENCIA HIDRAULICA DE CAÑERIAS DE ASBESTO  
CEMENTO TIPO ALCANTARILLADO

por : Nancy Cepeda Rodríguez (')  
Fernando Hidalgo Tapia (")

A.- INTRODUCCION.-

Se ha realizado un estudio general de las propiedades de las cañerías de asbesto cemento, tipo alcantarillado, y uno de los aspectos principales que se ha considerado es el de la resistencia hidráulica, tanto en cañerías nuevas como antiguas.

Para este efecto se realizó una serie de experiencias en un modelo a escala natural y en una instalación con dos años de uso, obteniéndose, además de los parámetros de rugosidad, algunas consideraciones importantes sobre escurrimientos de aguas servidas.

B.- PLAN DE EXPERIMENTACION PARA CAÑERIAS NUEVAS.-

Para la determinación experimental de la resistencia hidráulica se programó una serie de ensayos en cañerías de diámetros de 200, 250 y 300 mm., con diversas pendientes y gastos, y con alturas de escurrimiento entre un 20% del diámetro y boca llena; la longitud de los tubos fue de 5 mts. y se realizó una serie adicional de ensayos para  $D = 200$  mm. con una longitud de tubos de 2,5 mts.

B.1.- DISPOSITIVOS PARA LAS EXPERIENCIAS.-

La exigencia de hacer experiencias que presentaran la mejor similitud con una instalación habitual de alcantarillado requirió la construcción de un laboratorio que tenía las siguientes características:

- Captación de aguas servidas desde un emisario, con una capacidad máxima de 80 lts/seg.
- Cámara de carga, con altura de agua regulable.
- Tramo de cañería en ensaye, con una longitud de 100 mts.
- Estanque de medición del gasto.
- Reintegro del líquido al emisario.

(') Ingeniero Civil. I.C.I. N° 5956

(") Ingeniero Civil. I.C.I. N° 5961

//.-

## 3.2.- ENSAYOS Y SU INTERPRETACION.-

Los ensayos consistieron en establecer un régimen permanente de gasto de aguas servidas a través del tramo de cañería convenientemente alineado y con una pendiente uniforme, que se podía variar entre 0% y 2%.

Una vez establecido el régimen, se medía la profundidad del escurrimiento en 10 secciones, provistas de tres tomas piezométricas cada una; además, se tomaba nota de la temperatura del agua, con el objeto de determinar la viscosidad del líquido para el cálculo del número de Reynolds.

El total de ensayos realizados alcanzó a 125, pero se debió desechar algunos, debido a que se estimó que no tenían las condiciones de escurrimiento uniforme requeridas.

Para la interpretación de los resultados se supuso que los escurrimientos eran efectivamente uniformes, y que disponiendo del gasto, pendiente del eje hidráulico y sección transversal, eran aplicables las diversas fórmulas que rigen el escurrimiento uniforme.

A fin de hacer válidas estas suposiciones, se tuvo cuidado de proyectar un dispositivo regulador de gasto de buena eficiencia, y un vertedero triangular para medir dicho gasto, el que se acondicionó para trabajar con aguas servidas.

Por otra parte, se adoptó un criterio matemático para desechar experiencias en las cuales los puntos medidos del eje hidráulico no conformaron una recta aceptable y exigiéndose, además, que esta recta resultara paralela al fondo de la cañería.

Como elemento de referencia para cada ensayo, se calculó en cada caso el número de Reynolds y de Froude; con este objeto se ha medido la temperatura, a fin de calcular, por medio de tablas, la viscosidad del agua servida. Esta asimilación entre la viscosidad del agua limpia y el agua servida fue confirmada por experiencias.

De acuerdo con lo indicado, se tabularon los resultados para cada experiencia válida, indicándose el valor del coeficiente de pérdida de carga  $\lambda$ , el "n" de Manning y la rugosidad equivalente k.

El paso siguiente en la interpretación de las experiencias se realizó a través del estudio de una serie de gráficos que permitieron relacionar las variables determinadas en las experiencias con las características de pendiente, gasto, diámetro y altura de escurrimiento; de esta manera ha sido posible comparar los resultados con lo que ha sido considerado habitual en el comportamiento hidráulico de cañerías.

### B.3.- RESULTADOS.-

Los resultados obtenidos se pueden clasificar en resultados cuantitativos y resultados cualitativos.

En la primera categoría se incluyen los valores numéricos de los coeficientes de resistencia hidráulica. Entre éstos, se destacan los valores del  $n$  de Manning a boca llena, que pueden ser fácilmente comparados con lo indicado en textos; los valores obtenidos son los siguientes:

	$i = 3\%$	;	$n = 0.01075$
$l = 5 \text{ m.}$	$i = 2\%$	;	$n = 0.01078$
$D = 200 \text{ mm.}$			
	$i = 2\%$	;	$n = 0.01166$
$l = 2,5 \text{ m.}$			

En cañerías similares, vale decir, de asbesto cemento, con  $D = 8''$  y una longitud de 13 pies, Bloodgood y Bell reportan valores de  $n$  entre 0.00995 y 0.01079, pero en experiencias con agua limpia. Estos valores, según los autores mencionados, tienen una certeza del 95%.

Como consecuencia, sería apropiado emplear un valor de  $n$  igual a 0.011 para los tubos similares a los ensayados, en condiciones de boca llena y pendientes no inferiores al 2%. A este valor de  $n$  corresponde  $k = 0,4 \text{ mm.}$

Este resultado copa el objetivo primitivo del estudio y las conclusiones adicionales que se ha obtenido reportan un beneficio directo derivado de las experiencias.

El segundo grupo de resultados se denominaron cualitativos por cuanto en ellos se evidencian ciertos comportamientos de interés, y que no fueron profundizados en su estudio por requerir instalaciones especiales, y probablemente, requerir trabajos de mayor alcance que el referido.

Las conclusiones referidas son las siguientes:

- a) Existe dependencia de la rugosidad con respecto a otras características distinta del material de la cañería, como son la pendiente de la cañería, su diámetro y la altura de escurrimiento. Este hecho no es nuevo en sí, y es conocido que un valor de  $n$  queda representado en un diagrama  $\lambda - N^\circ$  de Reynolds por una recta independiente del  $N^\circ$  de Reynolds, lo que difiere de la curva descendente al principio y asintótica a una horizontal al final que es característica;



no obstante, en este caso se ha verificado que el valor de  $k$ , que sí debería ser constante, varía apreciablemente según las condiciones de escurrimiento en una misma cañería.

Dentro de estos comportamientos el mayor efecto es imputable a la altura relativa de escurrimiento, a la pendiente y al diámetro, en orden de importancia.

- b) Para escurrimientos en superficie libre en cañerías, Camp ha indicado una curva que da valores de  $n$  en función de la altura relativa de escurrimiento, los que se refieren al valor  $n_0$  en boca llena. Esta curva es de uso universal en los proyectos de alcantarillado.

A partir de las experiencias realizadas, se ha encontrado buen ajuste con dicha curva de Camp para valores de altura relativa superiores a 0,5; para menores alturas de escurrimiento, se han obtenido valores de  $n/n_0$  que aumentan indefinidamente al disminuir la altura. Camp indica que el máximo de  $n/n_0$  se tiene para altura 0,20, y es un 28% mayor que a boca llena, y que para alturas tendiendo a cero,  $n/n_0$  tiende a 1.

- c) En relación directa con lo anterior, se ha determinado que para bajas alturas de escurrimientos se presenta un crecimiento desmesurado de la resistencia hidráulica de los conductos; este aumento es inversamente proporcional a la profundidad, y se manifiesta con menor importancia en escurrimiento con número de Reynolds altos.

Al respecto se ha pensado que esta anomalía sería causada por la presencia, en el líquido cloacal, de partículas sedimentables, las que encontrarían condiciones favorables para su depósito en el fondo del conducto con escurrimientos de baja energía, reduciendo así el área transversal efectiva del escurrimiento. En este caso podría no ser necesario que el depósito sedimento totalmente, y bastaría que se formase una distribución o estratificación del sedimento para que esto tenga efectos notables en la capacidad hidráulica de las cañerías.

El hecho de que este comportamiento no haya sido puesto en relieve en los diversos estudios sobre pérdida de carga puede tener su origen en el que, habitualmente, éstas se realizan con aguas limpias.

Será interesante y conveniente considerar un nuevo estudio que permita establecer un conocimiento más cabal del fenómeno, indicando su importancia para el diseño de redes y cañerías destinadas a aguas servidas.

- 1) Las experiencias hechas con cañería de longitud reducida a 2,5 metros muestran también ciertos aspectos notables.

En primer lugar, se aplicó a sus resultados las ecuaciones de H. Morris, que determinan la variación del coeficiente de pérdida de carga  $\lambda$  de una cañería a partir de las singularidades que se presenten en su interior, consideran-

do la geometría de estas singularidades. Aquí se tenía como única singularidad a las uniones del tipo Simplex, espaciadas 5 metros entre sí en un caso, y 2,5 en el otro, y en ambos casos con igual diámetro (200 mm.) y pendiente (2%), con escurrimiento a boca llena.

Con este método se puede predecir, con suficiente exactitud, los resultados para  $l = 2,5$  mts. partiendo de las experiencias para  $l = 5$  mts. que en la práctica fue un aumento de  $\lambda$  en un 4%.

La importancia del método no radica en sus planteamientos, que son lógicos y, en cierta forma, evidentes, sino que se ha logrado poner en evidencia cuantificable la incidencia del espaciamiento de las uniones. Así, se pudo prever que si el espaciamiento fuera de sólo un metro, el valor de  $\lambda$  aumentaría en un 20%, para iguales condiciones que las de las experiencias reseñadas.

### C.- EXPERIENCIAS EN CAÑERÍAS CON DOS AÑOS DE USO.-

Como complemento de las experiencias realizadas en un modelo, y con cañerías nuevas, se llevó a cabo una serie de medidas de pérdida de carga en un tramo de cañería de asbesto-cemento de la red de alcantarillado del Aeropuerto Pudahuel, que, a la fecha de las experiencias, tenía dos años de antigüedad.

El objeto de estas pruebas era obtener algún indicio del envejecimiento que afectaría a las cañerías de alcantarillado de aguas servidas, y que, según algunas referencias, haría que la resistencia hidráulica de los conductos tendiera a un valor único, independiente de su material o características primitivas de rugosidad.

Las experiencias en terreno presentan un grado de dificultad considerable con respecto a las hechas en un modelo, y ellas se derivan de que el acceso al escurrimiento sólo puede hacerse en las cámaras de inspección. De ahí que debió recurrirse al método de la medida de gasto por medio de isótopos como trazadores, a la determinación de la altura de escurrimiento a la pasada de éste por las referidas cámaras, y a la medición de la pendiente como la razón entre la distancia y desnivel entre cámaras.

Si bien la medición del gasto realizada es de una precisión igual o superior que la obtenida en un vertedero, no se podría decir que los resultados generales obtenidos sean de una certeza igual a los ya analizados en la primera parte.

#### C.1. ENSAYOS REALIZADOS.-

Se logró perfeccionar tres experiencias plenamente satisfactorias, en cañería de asbesto-cemento de  $D = 400$  mm. y pendiente de 1,32 ‰, las que se resumen en el siguiente cuadro:



EXPERIENCIA	Y/D	a (1/seg)	n	k (mm.)
1	0,1387	2,4	0,017	6,0
2	0,949	103,5	0,010	0,662
3	0,14	2,7	0,015	3,76

La experiencia 1 corresponde a un ensayo hecho con el escurrimiento natural del sistema; la experiencia 2 se hizo aumentando el gasto considerablemente con agua proveniente de un estanque, y la número 3, con gasto natural nuevamente, pero con posterioridad al lavado que significó la experiencia número 2.

#### C.2.- COMENTARIO.-

Se destaca en primer lugar que las condiciones normales de funcionamiento de la instalación indican que este opera en la zona en que, como se estableció anteriormente, pueden esperarse valores extremadamente altos de la rugosidad; en este caso fue evidente que el lavado de la experiencia 2 despejó el conducto de obstrucciones, originadas en la poca capacidad de arrastre del escurrimiento.

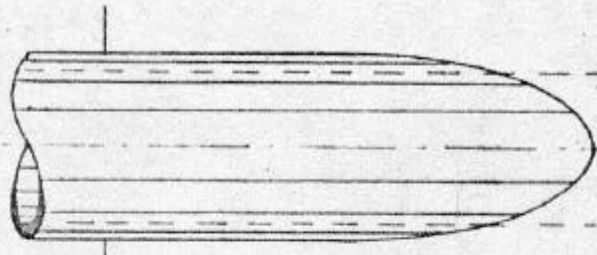
La experiencia número 2 puede ser analizada como equivalente a una en boca llena, pero no es directamente comparable con las realizadas en el modelo en esa condición. No obstante, colocando el punto correspondiente en el gráfico de  $n$  en función de  $Re$  para las experiencias del modelo, se observa que este queda sobre la extensión de la curva para valores de  $Re$  que no eran posibles en el modelo. Esta elucubración indicaría que el valor de  $n=0.010$  sería predecible a través del gráfico mencionado, y que, consecuentemente, no habría habido variación apreciable de rugosidad en el lapso de 2 años.

#### D.- RECONOCIMIENTOS.-

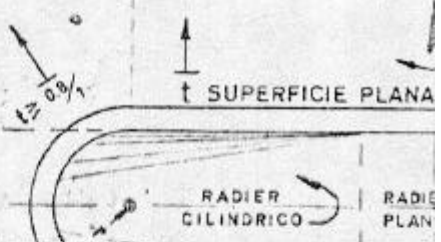
Los trabajos reseñados fueron realizados en los años 1968 y 1969, en la Sección Ingeniería Sanitaria del Departamento de Obras Civiles de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, siendo dirigidos por los Ingenieros Srs. Isaac Faignenbaum y Pablo Schifini, a quienes los autores reconocen los esfuerzos y preocupación constante por el buen éxito de la tarea realizada.

E.- BIBLIOGRAFIA.-

- 1.- Peter Ackers: "The Hydraulic Resistance of Drainage Conduits" Londres, The Institution of Civil Engineers, 1961.
- 2.- Don E. Bloodgood and John M. Bell: "Manning's Coefficient Calculated from Test Data" Journal of the Water Pollution Control Federation, Febrero 1961.
- 3.- Henry M. Morris: "Design Methods for Flow in Rough Conduits", Journal of the Hydraulic Division, Proceedings of the ASCE, Julio 1959.



PLANTA

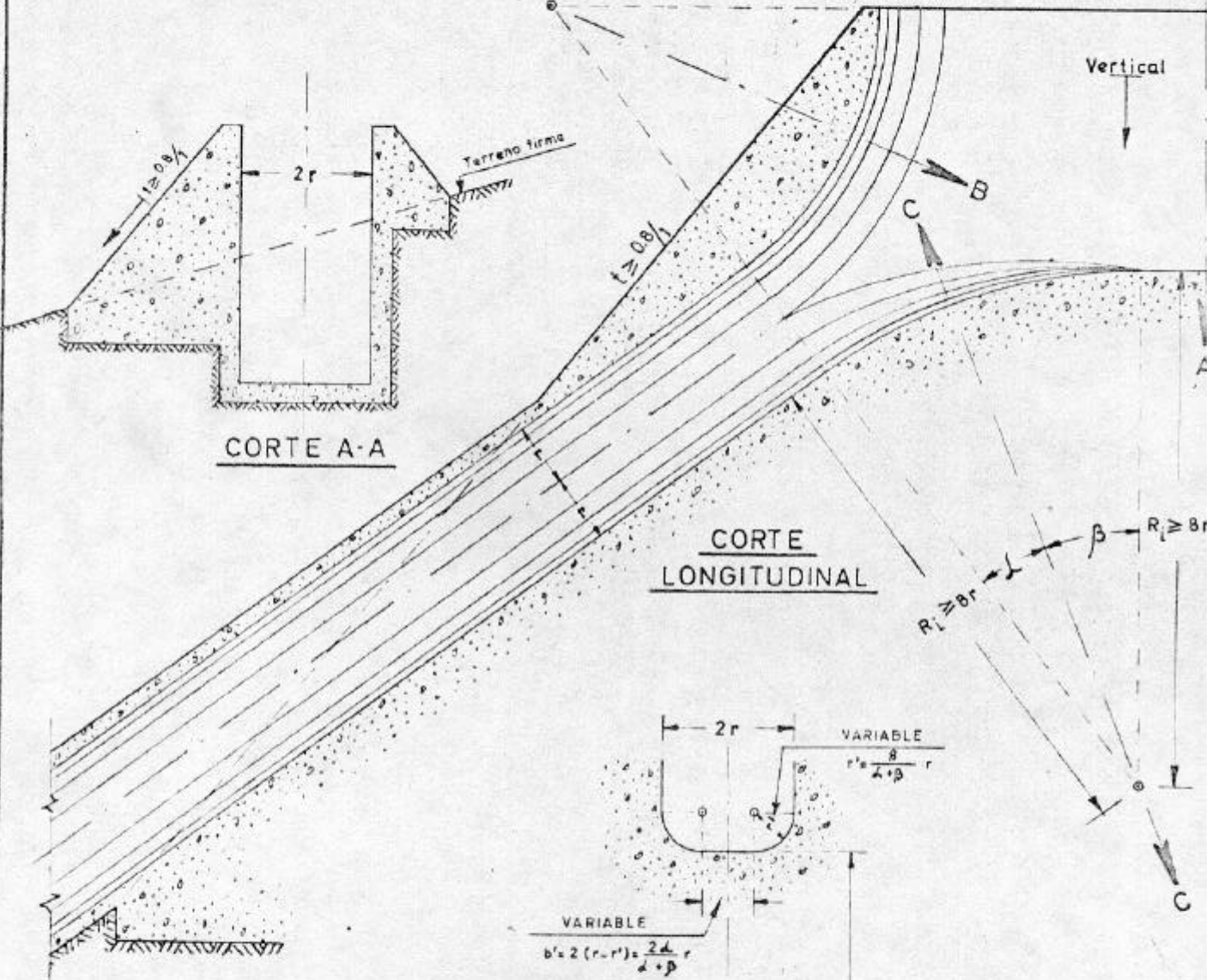


SUPERFICIE PLANA

RADIE CILINDRICO RADIE PLAN

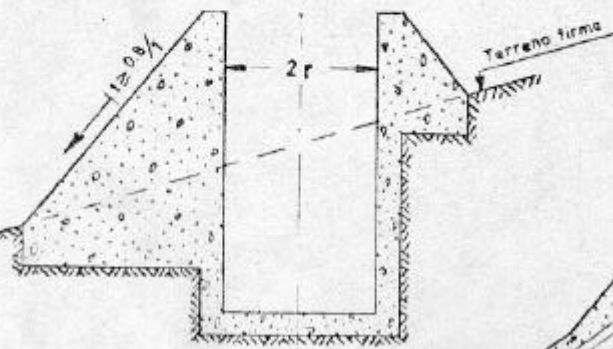
SUPERFICIE CONICA

$R_s \geq 5r$

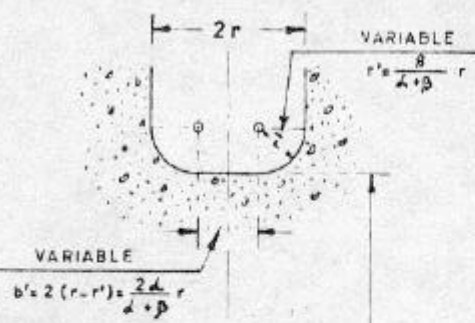


CORTE LONGITUDINAL

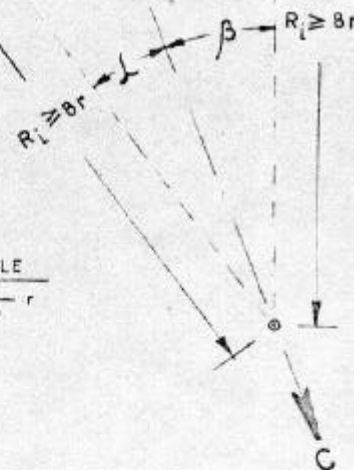
Vertical



CORTE A-A

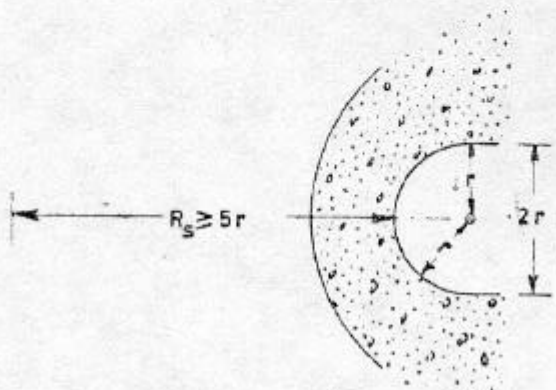


VARIABLE  $b = 2(r-r') = \frac{2d}{d+\beta} r$



$R_i \geq 8r$

$R_i \geq 8r$



CORTE B-B



CORTE C-C

DISEÑO G. SCHWARZENBERG C.  
V. B.  
DIRECTOR SUBROGANTE

21 - Febrero - 1964

Nº 4615