

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA
VIII CONGRESO NACIONAL

ESTUDIO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD EN EL CANAL DE DEVOLUCION
DE LA CENTRAL MACHICURA

SOLEDAD ZENTENO R. (*)

RESUMEN

El Canal de Devolución que restituye el agua generada por la central Machicura al río Maule, tiene una longitud aproximada de 22 kilómetros y un caudal de diseño de 280 m³/s, siendo sin duda el canal revestido más grande en Chile.

En este canal se realizaron medidas del eje hidráulico tendientes a determinar los valores del coeficiente de rugosidad de Manning y las revanchas disponibles. Se compararon los valores usados en el diseño con los obtenidos en el prototipo.

Se hace mención también al método constructivo usado en el hormigonado de taludes y radier por ser éste especialmente interesante dado lo poco conocido que es en nuestro país.

(*) Ingeniero Civil. Empresa Nacional de Electricidad S.A. (ENDESA)

1.- INTRODUCCION

Las centrales Colbún y Machicura pertenecen a la "Empresa Eléctrica Colbún Machicura S.A." y fueron proyectadas por ENDESA. Estas son dos centrales dispuestas en serie hidráulica y están ubicadas en la séptima región.

La central Colbún capta el agua del río Maule y la entrega a la central Machicura. Esta, a su vez, usa el agua y la restituye luego al río mediante el llamado "Canal de Devolución". Este canal mide 21,933 kilómetros y termina en un vertedero, en la obra de distribución terminal. El canal es seguido por otro, sin revestir de 1,4 kilómetros de largo que entrega al río Maule.

En el Canal de Devolución se midieron ejes hidráulicos a objeto de comparar entre el proyecto y el prototipo algunos parámetros, como son el coeficiente de rugosidad de Manning y las revanchas.

2.- DESCRIPCION DEL CANAL

El canal de Devolución tiene una longitud aproximada de 22 kilómetros y su caudal de diseño es de 280 m³/s. Es de sección trapecial y está revestido en hormigón. A lo largo de su recorrido tiene tres tramos con secciones distintas.

| | | | |
|-----------|-------------|---|-----------|
| Tramo 1 : | km 0,000 | → | km 2,605 |
| | ancho basal | = | 25 m |
| | taludes H/V | = | 1,5/1 |
| | pendiente i | = | 0% |
| Tramo 2 : | km 2,785 | | km 11,300 |
| | ancho basal | = | 16 m |
| | taludes H/V | = | 1,5/1 |
| | pendiente i | = | 0,32 % |
| Tramo 3 : | km 11,312 | | km 21,000 |
| | ancho basal | = | 20 m |
| | taludes H/V | = | 1,5/1 |
| | pendiente i | = | 0,32 % |

El canal presenta las siguientes obras especiales:

- Obra de toma del canal de Restitución de Riego Sector Sur 1 (CRRSS1) y del futuro canal Linares (ver figura N° 2). Esta obra se ubica entre los kilómetros 2,605 y 2,785 y tiene un vertedero.
- Cuatro puentes ubicados en los siguientes kilometrajes: 2,330; 8,530; 11,285 y 17,700.

- Transición en el kilómetro 11,300 debido al cambio de ancho basal del canal, de 16 m a 20 m.
- Obra de distribución terminal. Es un conjunto de obras ubicado en el kilómetro 21,700 en la que se encuentran la obra de toma del sifón Río Maule y de la futura central San Ignacio, un vertedero frontal, una caída con un colchón dissipador de energía y las entregas a los canales de Restitución de Riego Sectores Sur 2 (CRRSS2) y Sur 3 (CRRSS3) (ver figura N° 2).

3.- ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DEL CANAL (ORELLANA I, J.L. (1986))

La construcción de este canal en lo que se refiere a sistema de drenaje y revestimiento se realizó a medida que se iba ejecutando el perfilado de la excavación. Primero se instalaban los tubos colectores rodeados de filtro para luego revestir los taludes en tramos alternados de aproximadamente 2,00 (m). Luego se revestía el radier una vez que los dos taludes estaban hormigonados.

En los taludes se usó un equipo repartidor y una pavimentadora complementada con puentes de trabajo. El equipo repartidor estaba constituido básicamente por una tolva receptora, una cinta transportadora y un carro deflector de descarga que depositaba el hormigón en forma de cordones al ascender por el talud. Una vez colocado el hormigón, pasaba la pavimentadora. Esta estaba constituida por una viga reticulada que sostenía un carro móvil que tenía los elementos necesarios para nivelar, compactar y dar la terminación adecuada al hormigón: tornillo sinfín, vibrador de placa, rodillo y una placa para dar la terminación de la superficie.

Todo este equipo iba colocando fajas transversales de hormigón por lo que se desplazaba en el sentido longitudinal en intervalos de 0,35 m. La pavimentadora disponía de un disco para realizar en el hormigón fresco las juntas de contracción transversales. Las juntas longitudinales se realizaron con discos fijos ubicados en los puentes de trabajo de manera tal que su acción se realizaba al avanzar la estructura en el sentido longitudinal.

Estos equipos eran autopropulsados y se desplazaban sobre tubos rieles. (ver foto N° 1).

El revestimiento del radier se construyó con equipos análogos a los utilizados en los taludes que se apoyaban sobre tubos rieles emplazados en el arranque de radier hormigonado junto a éstos. Estos equipos per-

mitían trabajar a lo ancho de todo el radier en tramos cuya longitud estaba determinada por la extensión revestida de los taludes (ver foto N° 2).

4.- DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD

4.1 MEDIDAS REALIZADAS

Durante la etapa de pruebas, con fechas 20.05.85, 13.06.85 y 6.10.85, se tomaron medidas de eje hidráulico en el Canal de Devolución a fin de verificar revanchas y de obtener los datos necesarios para un estudio de su coeficiente de rugosidad de Manning "n".

4.2 DETERMINACION DE CAUDALES

Los caudales se determinaron en base a lecturas limnométricas y curvas de descarga teóricas. Estos limnómetros fueron:

- limnómetro ubicado en el embalse Machicura.
- limnómetro ubicado en la zona de la toma del canal CRRSSI (ver figura N°2)
- limnómetro ubicado a la entrada del sifón Maule (ver figura N° 2).

Por su parte, las curvas de descarga utilizadas fueron:

- curva de descarga de las compuertas radiales del vertedero del embalse Machicura (figura N° 3)
- curva de descarga del vertedero ubicado en la zona de la obra de toma del canal de Restitución de Riego Sector Sur 1 (figura N° 3).
- curva de descarga del vertedero en la obra de distribución terminal (figura N° 3).

Las lecturas efectuadas y los caudales resultantes se muestran a continuación:

TABLA N° 1

Fecha : 20.05.85. Central Machicura fuera de servicio

| hora | ubicación limnómetro | lectura (m) | Q(m ³ /s) |
|-------------|----------------------|-------------|----------------------|
| - | entrada sifón Maule | 211,72 | 82 |
| 9:45 11:15 | embalse Machicura | 255,90 | 85 |
| 11:45 14:15 | embalse Machicura | 256,00 | 88 |

Fecha : 13.06.85. Central Machicura fuera de servicio

| hora | ubicación limnómetro | lectura (m) | Q(m ³ /s) |
|-------|----------------------|-------------|----------------------|
| 11:30 | entrada sifón Maule | 212,02 | 135 |
| - | toma canal Linares | 218,75 | 133 |
| 9:45 | embalse Machicura | 257,10 | 124 |

Fecha : 6.10.85

| hora | ubicación limnómetro | lectura (m) | Q(m ³ /s) |
|-------|----------------------|-------------|----------------------|
| 12:28 | toma canal Linares | 219,67 | 278 |
| | entrada sifón Maule | 212,62 | 280 |

En base a los datos indicados en la tabla N° 1 se determinaron para el cálculo, los siguientes caudales, correspondientes al promedio de los valores.

TABLA N° 2

| Fecha | Q usado en el cálculo (m ³ /s) |
|----------|---|
| 20.05.85 | 85 |
| 13.06.85 | 130 |
| 6.10.85 | 280 |

4.3 METODO DE CALCULO

Para el cálculo del coeficiente de rugosidad se ha usado la ecuación de Manning, obteniéndose un valor de "n" cada dos secciones sucesivas. Estas secciones estaban distanciadas 500 metros entre sí. El valor final encontrado, para cada uno de los tres tramos, es un promedio ponderado de los valores de "n" entre los kilometrajes sucesivos.

4.4 ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.4.1 Coeficiente de rugosidad "n"

Se ha graficado el coeficiente de Manning "n" versus el radio hidráulico "R_H" en la figura N° 4 (Mery M.H. (1977)).

Para este efecto se han considerado los siguientes valores medios:

TABLA N° 3

| Tramo | Q(m ³ /s) | R _H (m) | n |
|-------|----------------------|--------------------|---------|
| 2 | 85 | 1,78 | 0,0137 |
| | 130 | 2,26 | 0,01495 |
| | 280 | 3,27 | 0,016 |
| 3 | 85 | 1,94 | 0,0139 |
| | 130 | 2,35 | 0,01497 |
| | 280 | 3,29 | 0,01614 |

En lo que respecta al primer tramo, no se realizaron cálculos, puesto que esta zona presentaba muchas fluctuaciones de nivel debido a la forma en que estaba operando el canal, de manera que el error producido en la lectura era comparable con la pérdida de carga. Por lo tanto, se concluyó que en esta zona los datos obtenidos no eran suficientemente confiables.

En la figura 4 se aprecia la influencia del radio hidráulico en el coeficiente de rugosidad: a mayor radio hidráulico, mayor coeficiente de rugosidad.

La curva resultante "n versus R_H " tiene una pendiente mayor que la dada por los diferentes valores de ϵ . La explicación puede encontrarse en los siguientes factores:

- dispersión en la determinación de los gastos: esta dispersión es apreciable especialmente en las realizadas los días 13.06.85 y 6.10.85. En las primeras, los caudales máximo y mínimo registrados tienen una diferencia de 11 m³/s entre sí, lo que representa alrededor de un 8% del caudal máximo medido. En las segundas, esta diferencia alcanza 6 m³/s lo que constituye un 7% del gasto máximo.

Si analizamos las curvas de descarga de la figura N° 3 notamos que una pequeña diferencia en la lectura del limnómetro tiene una influencia apreciable en el caudal; por lo tanto, puede suponerse que las variaciones en los gastos se deben a imprecisiones propias de la lectura limnimétrica.

En la figura N° 4 también se muestran los puntos obtenidos tomando los valores extremos de los caudales medidos. Esto nos da una idea de la banda en la cual pueden desplazarse los valores en este gráfico.

- Número de Reynolds:

La tabla N° 4 indica los valores del número de Reynolds para los distintos casos. ($T^{\circ}\text{agua} = 13^{\circ}\text{C}$)

TABLA N° 4

| Q m ³ /s | Tramo | R_H | \bar{A} | \bar{V} | Reynolds |
|---------------------|-------|-------|-----------|-----------|------------|
| 85 | 2 | 1,78 | 42,74 | 1,99 | 11.708.604 |
| | 3 | 1,94 | 55,78 | 1,52 | 9.821.924 |
| 130 | 2 | 2,26 | 60,09 | 2,16 | 16.210.764 |
| | 3 | 2,35 | 72,21 | 1,80 | 14.065.116 |
| 280 | 2 | 3,27 | 107,3 | 2,61 | 28.354.484 |
| | 3 | 3,24 | 115,93 | 2,41 | 25.941.528 |

Basándose en el "Gráfico Universal para pérdidas friccionales en canales" (Mery, M. H. (1977)), se concluye que la rugosidad no presenta grandes variaciones en los distintos tramos del canal por estar en presencia de un flujo turbulento de pared rugosa.

Como último análisis es útil agregar que el coeficiente de rugosidad obtenido en el cálculo para el caudal de diseño (ver tabla N° 3) es similar al valor utilizado en el proyecto del canal.

4.4.2 Revanchas

En el diseño del canal se consideró una revancha de 0,70 m que corresponde al valor recomendado por el USBR para canales de este tipo.

Este valor fue bastante acertado, puesto que las revanchas medidas a lo largo del canal son del orden de 0,80 m para $Q = 280$ m³/s (caudal de diseño).

En especial resulta importante mencionar que en el primer tramo se observaron una cantidad importante de ondas superficiales producidas por el dissipador de energía para $Q = 280$ ($\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$). Estas ondas fueron absorbidas por la revancha alcanzando un nivel de agua casi hasta el borde del canal.

CONCLUSIONES

Considerando las imprecisiones propias a la medición de ejes hidráulicos y caudales, en un canal de grandes dimensiones y con caudal de diseño alto como es el caso del Canal de Devolución de la central Machicura, resultan adecuados los valores de diseño de "n" que se recomiendan en la figura N° 4.

Lo anterior es válido también para las revanchas recomendadas por el U.S.B.R. que se muestran en la figura N° 5.

BIBLIOGRAFIA

- Mery Mery, Horacio (1977) "Uso de ecuaciones racionales en el cálculo de la pérdida friccional en canales revestidos". III Coloquio Nacional de Ingeniería Hidráulica, pág. 15.
- Orellana Iturriaga, Juan Luis (1986) "Análisis de la construcción de los canales del Proyecto Colbún". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Profesor guía: Ingeniero Luis Pinilla B. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, págs. 173 a 185.

FIGURA N° 1

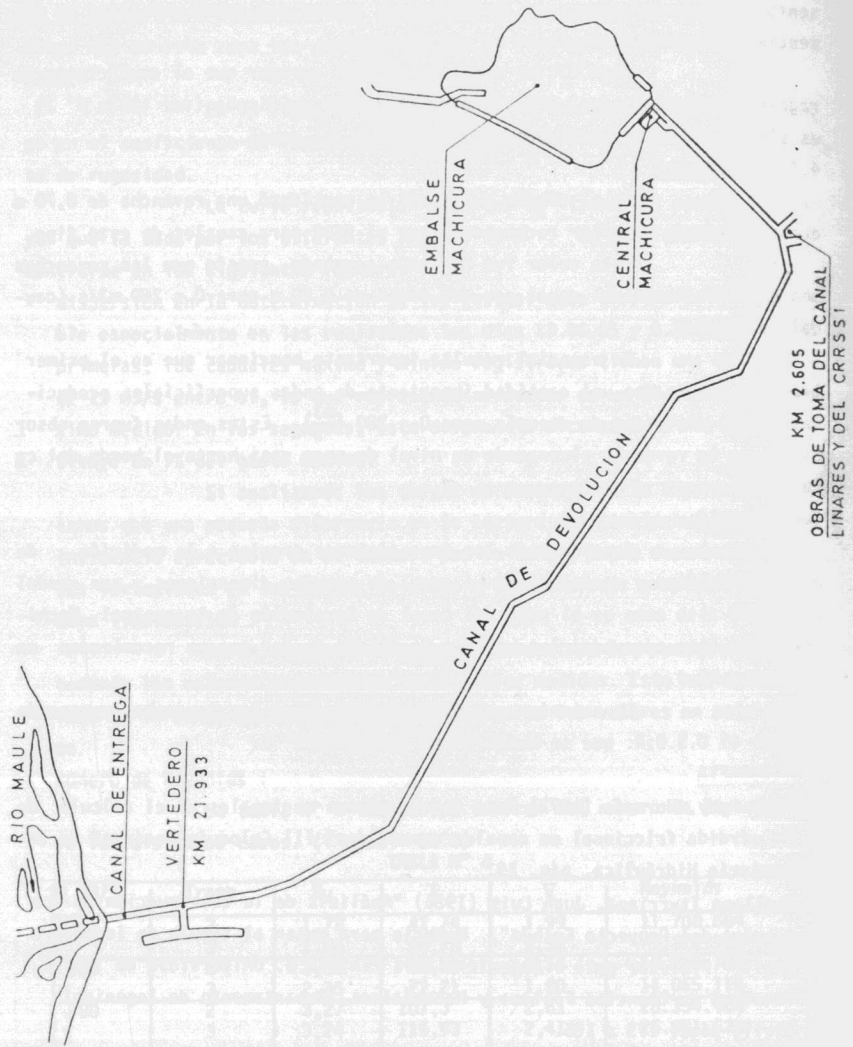
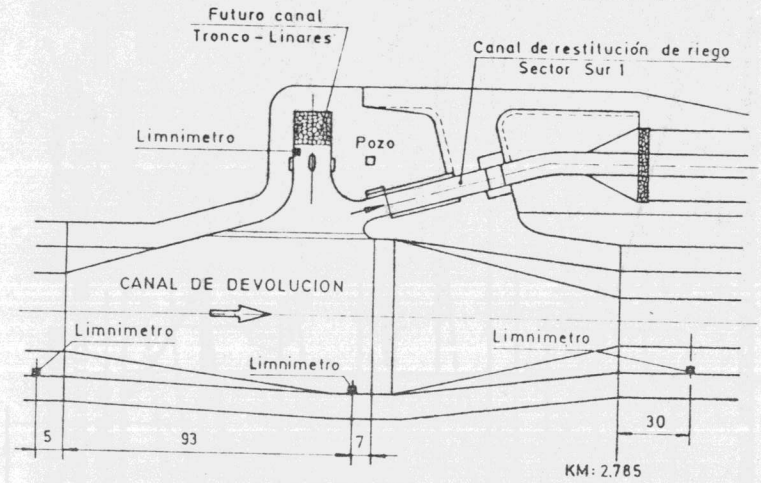
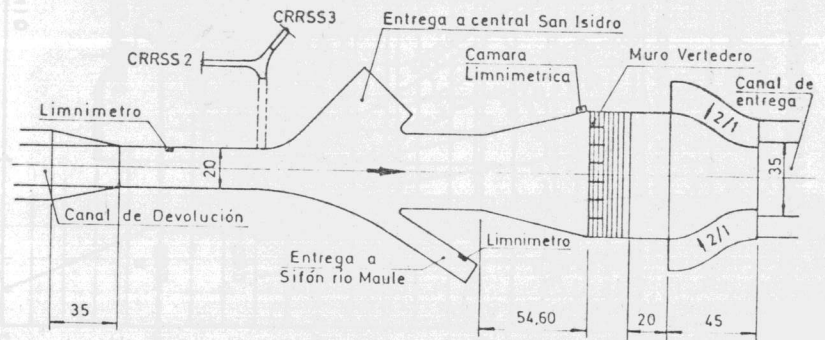
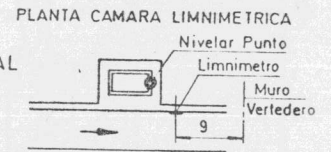


FIGURA N° 2

CENTRAL MACHICURA
Canal de Devolución
ZONA OBRA DE TOMA CANAL DE RESTITUCION DE RIEGO SECTOR SUR 1



OBRA DE DISTRIBUCION TERMINAL



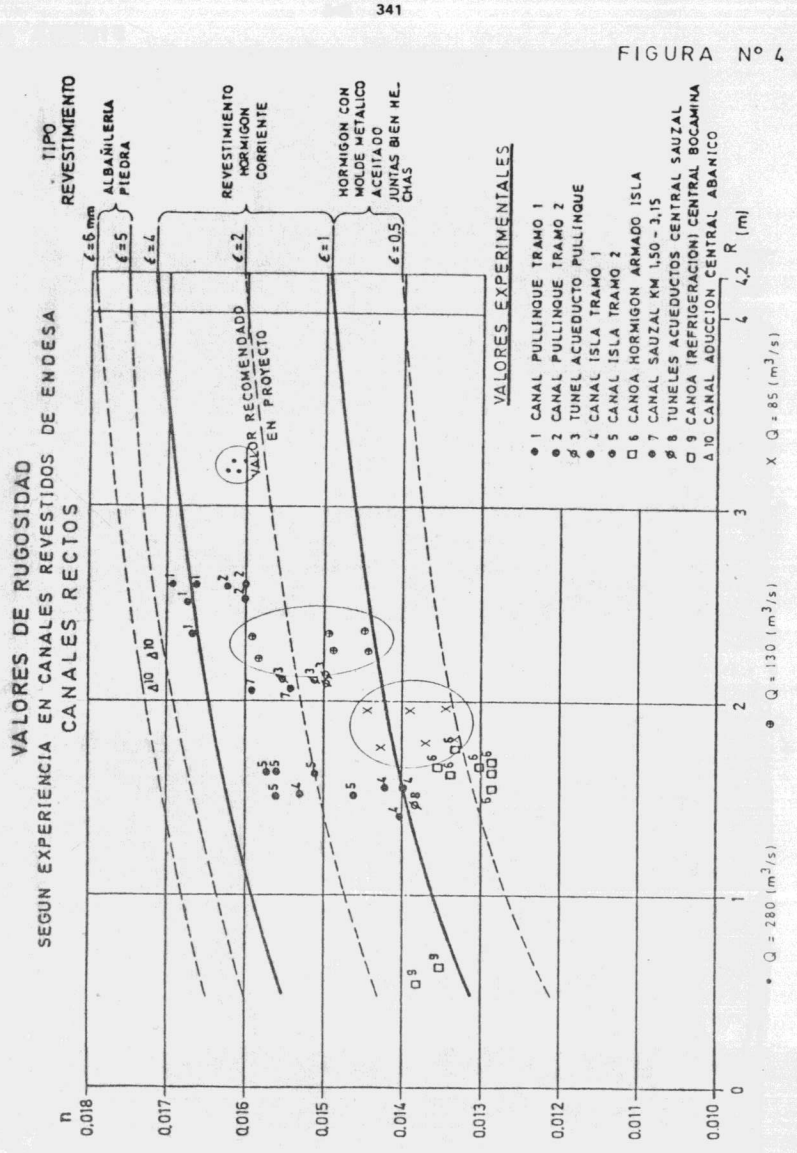
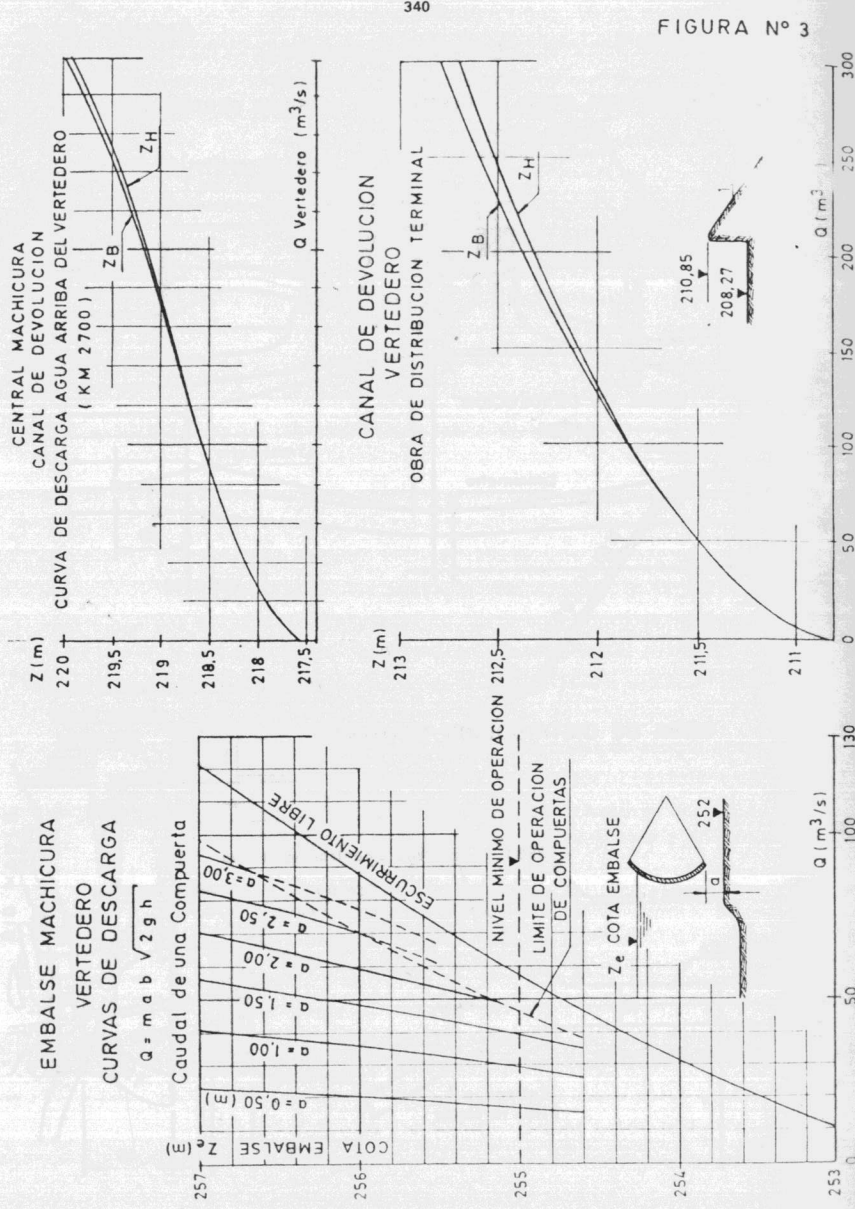


FIGURA N° 5

