

01149

ESCURRIMIENTO EN CANALES CON

133

REGIMEN CASI CRITICO Y CURVAS NUMEROSAS

25/1

JOSE L. SANCHEZ BRIBIESCA

K = 80 m/dic

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERIA

(HIDRAULICA)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DEL DOCTORADO

1964

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESCURRIMIENTO EN CANALES CON REGIMEN CASI CRITICO Y CURVAS NUMEROSAS

O. ADVERTENCIA PRELIMINAR

COMO HE TENIDO QUE REVISAR UN BUEN NÚMERO DE TESIS PROFESIONALES Y DE GRADO, ASÍ COMO ALGUNOS ARTÍCULOS PUBLICADOS EN VARIAS REVISTAS TÉCNICAS, HABÍA LLEGADO A CREER QUE, CUANDO ME TOCARA EDITAR MI PROPIA TESIS, ÉSTA DEBERÍA SER UN TRABAJO DE MUY BUENA CALIDAD.

POR TAL MOTIVO, NO ME DEJARON SATISFECHO LOS DIVERSOS INTENTOS QUE HICE PARA REPACTAR ESTE TRABAJO, Y SI AHORA LO PUBLICO, NO ES PORQUE AL FINAL HAYA ENCONTRADO LA ANHELADA SATISFACCIÓN, SINO PORQUE AL DARSE CUENTA DE QUE EL TIEMPO HA PASADO RÁPIDAMENTE, SIN QUE YO PRODUZCA NADA, HE DECIDIDO PRESENTAR HUMILLEMENTE LOS RESULTADOS QUE HE PODIDO OBTENER HASTA LA FECHA, CON LA ESPERANZA DE QUE PUDIEREN SER ÚTILES A LA INGENIERÍA-HIDRÁULICA EN NUESTRO PAÍS, AUN CUANDO LA CALIDAD DEL TRABAJO NO SEA LA -- QUE YO HUBIERA DESEADO.

NO DUSQUE PUES, EL LECTOR, COMPLICADOS DESARROLLOS MATEMÁTICOS, NI AGUDAS OBSERVACIONES SOBRE FENÓMENOS NUNCA ANTES ESTUDIADOS, PORQUE -- NADA DE ESO ENCONTRARÁ EN ESTE TRABAJO, EL CUAL, EN ÚLTIMA INSTANCIA, NO -- ES SINO EL INTENTO DE SOLUCIÓN QUE UN GRUPO DE JÓVENES INGENIEROS MEXICANOS, HA BUSCADO PARA ATACAR UN PROBLEMA QUE, DENTRO DE LO QUE HE PODIDO -- LEER, NO ESTÁ SUFICIENTEMENTE ESTUDIADO.

Y SI HABLO DE UN GRUPO DE INGENIEROS ES PORQUE AUN CUANDO LA CONCEPCIÓN DEL MÉTODO Y LA DIRECCIÓN DE LAS INVESTIGACIONES FUERON COSA MÍA, LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS, LOS ENSAYOS, LOS CÁLCULOS Y AUN BUENA PARTE DE LA REDACCIÓN, SE DEBEN AL ENTUSIASMO DE LAS PERSONAS QUE TRABAJAN -- CONMIGO EN LA SECCIÓN DE HIDRÁULICA DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA.

I. INTRODUCCION

I.1 EXPOSICIÓN DEL PROBLEMA

LOS ENCAUZAMIENTOS DEL RÍO CHUVÍSCAR EN CHIHUAHUA Y DEL ARROYO COLORADO EN CD. JUÁREZ, SON DOS EJEMPLOS DE UN PROBLEMA QUE PREOCUPA, CON ALGUNA FRECUENCIA, AL INGENIERO HIDRÁULICO EN MÉXICO. AMBOS CAUCES SON SINUOSOS Y SU PENDIENTE MEDIA, AUNQUE CORRESPONDE AL RÉGIMEN RÁPIDO, ES MUY PRÓXIMA A LA CRÍTICA.

AHORA BIEN, EN ATENCIÓN A LOS GASTOS DE AVENIDAS DE ESTOS RÍOS, RESULTA IMPRACTICABLE EL ENTUBAMIENTO; DADO LO ABRUPTO DE LAS CAÑADAS POR DONDE CIRCULAN, NO RESULTA FACTIBLE LA RECTIFICACIÓN DE LA PENDIENTE Y, EN ATENCIÓN AL VALOR E IMPORTANCIA DE LOS TERRENOS POR LOS QUE CRUZAN ESTOS RÍOS, RESULTA CONVENIENTE HACER EL TRAZO DEL ENCAUZAMIENTO LO MÁS PRÓXIMO POSIBLE AL CURSO ORIGINAL DEL RÍO, LO CUAL DA LUGAR A UN FLUJO EN UN CANAL PRISMÁTICO EN EL QUE OCURREN FENÓMENOS MUY PECULIARES, SOBRE LOS QUE HAY MUY Poca INFORMACIÓN.

CLARO QUE UN ANÁLISIS SUPERFICIAL DEL PROBLEMA, HARÍA CREER A QUIEN LO ATACARA CON TAL DISPOSICIÓN, QUE ES UN PROBLEMA YA BIEN ESTUDIADO, POR LO QUE NO SE REQUERIRÍA SINO APLICAR LOS CRITERIOS DE CÁLCULO EXISTENTES O, EN TODO CASO, CONSTRUIR MODELOS PARA OBTENER ÓPTIMOS RESULTADOS. SIN EMBARGO, UNA REVISIÓN CUIDADOSA PERMITIRÍA CERCIORARSE DE QUE LOS CRITERIOS DE CÁLCULO DISPONIBLES SON APLICABLES A CANALES CON REGIMEN FRANCAMENTE LENTO, O FRANCAMENTE RÁPIDO; PERO QUE EN EL RANGO DE REGIMEN TORRENCIAL PRÓXIMO AL CRÍTICO, TALES MÉTODOS SON PRÁCTICAMENTE INAPLICABLES. Y TODO ESTO SIN CONTAR QUE LA COMPLEJIDAD DE LOS MÉTODOS RACIONALES, PARA PREDECIR EL COMPORTAMIENTO DEL FLUIDO EN LAS CURVAS DE LOS CANALES CON REGIMEN TORRENCIAL, HARÍA SUMAMENTE DIFÍCIL LA APLICACIÓN DEL MÉTODO PARA UN CANAL CON MUCHAS VUELTAS, O BIEN QUE LA APLICACIÓN DE UN MÉTODO SIMPLIS

TA, QUE REQUIRIESE ADMITIR LA HIPÓTESIS DE ESTABLECIMIENTOS DE REGIMEN--
ENTRE DOS CURVAS, PARA ESTUDIAR A CADA UNA SEPARADAMENTE, CONDUJERÍA CA-
SI SIEMPRE A RESULTADOS QUE NO TUVIERAN QUÉ VER CON LA REALIDAD.

RESPECTO A LOS MODELOS, NO OBSTANTE LAS INNEGABLES VENTAJAS QUE-
PRESENTAN, HABRÍA NECESIDAD DE CONSIDERAR LAS SIGUIENTES LIMITACIONES:

- EN PRIMER TÉRMINO, EN ATENCIÓN A LAS DIMENSIONES DE LOS PROTO-
TIPOS CORRESPONDIENTES, SE DEBERÍAN SELECCIONAR ESCALAS MUY GRANDES, CON
LA CONSIGUIENTE DIFICULTAD PARA REPRESENTAR CORRECTAMENTE LA RUGOSIDAD,-
EN UN CASO EN DONDE LA FRICCIÓN JUEGA UN PAPEL IMPORTANTE.

- EN SEGUNDO LUGAR, LA NATURALEZA DE ESTE FLUJO TRIDIMENSIONAL,-
HACE PRÁCTICAMENTE IMPOSIBLE SU ESTUDIO EN MODELOS DISTORSIONADOS.

ASÍ PUES, LA RECTIFICACIÓN DE LOS CAUCES DORCOS QUE ATRAVIESAN-
ALGUNAS POBLACIONES MEXICANAS, ES UNO DE ESOS PROBLEMAS DE LOS QUE CHOW-
DICE QUE LA MEJOR MANERA DE RESOLVERLOS, ES EVITARLOS.

1.2 ANTECEDENTES

EL INTERÉS EN ESTUDIAR ESTE PROBLEMA SE INICIÓ CUANDO EL MODELO-
DEL CHUVÍSCAR, CONSTRUIDO EN EL LABORATORIO DE LA SECRETARÍA DE RECURSOS
HIDRÁULICOS, PERMITIÓ CONFRONTAR LAS GRAVES DISCREPANCIAS QUE HAY ENTRE-
LOS RESULTADOS DE UN CÁLCULO SIMPLISTA Y LOS DATOS DEL LABORATORIO, TODA
VEZ QUE PRÁCTICAMENTE EN NINGUNA SECCIÓN DEL MODELO LLEGÓ A ESTABLECERSE
UN FLUJO UNIFORME. ESTE INTERÉS AUMENTÓ CUANDO PUDIERON OBSERVARSE EXTRA-
ÑOS FENÓMENOS DE FLUJO ASIMÉTRICO PRODUCIDO POR LA PRESENCIA DE OBSTRUC-
CIONES O AMPLIACIONES.

ORIGINALMENTE, LA META AMBICIOSA DE ESTE TRABAJO FUE EL ANÁLISIS
DE TODOS ESOS FENÓMENOS; SIN EMBARGO, DE LOS ESTUDIOS Y EXPERIENCIAS HAS-
TA HOY REALIZADOS, HA PODIDO COMPRENDERSE LA COMPLEJIDAD DEL PROBLEMA Y-
SE HA VISTO LA CONVENIENCIA DE PRESENTAR, POR AHORA, UN MÉTODO DE CÁLCULO

PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MEDIAS DEL FLUJO EN UN CANAL SIN TALES ALTERACIONES. SI BIEN ES CIERTO QUE ESTE MÉTODO ESTÁ BASADO EN FÓRMULAS DEDUCIDAS ESTADÍSTICAMENTE DE LAS OBSERVACIONES, COMO CORRESPONDE A UN CASO EN EL QUE AUN NO SE HAN DETERMINADO TODAS LAS CAUSAS Y ORIGENES DE LOS FENÓMENOS, POR LO MENOS SE HA PROCURADO QUE EL MÉTODO SEA MÁS O MENOS EXPEDITO Y QUE LOS RESULTADOS A QUE CONDUZCA SEAN RAZONABLEMENTE EXACTOS, LO CUAL NO EXCLUYE LA CONVENIENCIA DE CONTINUAR CON EL ESTUDIO DEL PROBLEMA PARA MEJORAR LA SOLUCIÓN PRESENTADA.

AHORA BIEN, EN EL LABORATORIO HIDRÁULICO DEL INSTITUTO SE EMPEZÓ POR CONSTRUIR UN MODELO QUE REPRESENTARA, EN ESCALA 1 A 100, EL PRIMER TRAMO DEL CHUVISCAR; EN ESTE MODELO, DE SECCIÓN TRAPEZIAL, CON PLANTILLA DE 15 CM Y TALUDES DE 1.5:1, SE HICIERON CIRCULAR GASTOS ENTRE 4 Y 8 LT/SEG PARA LOGRAR NÚMEROS DE FROUDE CON VALORES COMPRENDIDOS ENTRE 1.10 Y 1.5. COMO LOS PRIMEROS RESULTADOS OBTENIDOS DE ESTE MODELO DISCREPARON DE LOS CRITERIOS CLÁSICOS SE QUISO COMPROBAR QUE TAL DISPARIDAD NO ERA ATRIBUIBLE A QUE SE ENSAYABA EN UN CANAL CON TALUDES DEMASIADO TENDIDOS Y POR TAL MOTIVO, SE TRANSFORMÓ PRIMERO EL TALUD A LOGRAR 0.75 : 1 Y FINALMENTE SE HICIERON VERTICALES LAS PAREDES; PERO ALTERANDO LA SECCIÓN DE TAL MANERA, QUE LOS NÚMEROS DE FROUDE PERMANECIERAN DENTRO DEL MISMO RANGO.

NO OBSTANTE QUE EN LOS TRABAJOS CLÁSICOS SE INDICA LA INSEGURIDAD DE LOS MÉTODOS PROPUESTOS, CUANDO SE TRABAJA DENTRO DE ESE RANGO, TODAVÍA SE QUISO COMPROBAR QUE LAS ALTERACIONES NO FUERAN OCASIONADAS POR EFECTOS DE ESCALA QUE, DADA LA PEQUEÑEZ DE LOS TIRANTES EN LOS MODELOS (INFERIORES A 10 CM) INTRODUCIERAN ERRORES GRAVES, SOBRE TODO SI SE TENÍA EN CUENTA LA IMPERFECCIÓN DE LOS APARATOS DE MEDICIÓN (VEASE CAPÍTULO IV.1). AL MISMO TIEMPO, SE PENSÓ EN QUE NO OBSTANTE LA PERSISTENCIA DE LOS FENÓMENOS OBSERVADOS, SE CORRÍA EL RIESGO DE PRESENTAR CONCLUSIONES QUE SIR -

VIERAN SOLO PARA UN CANAL DE GEOMETRÍA SIMILAR A LA DEL MODELO Y ENTONCES SE DECIDIÓ LA CONSTRUCCIÓN DE DOS NUEVOS MODELOS; UNO CON IGUAL GEOMETRÍA EN PLANTA QUE EL CANAL ORIGINAL; PERO CON GASTOS Y TIRANTES NOTORIAMENTE MÁS GRANDES (20 CM Y 80 LT/SEG) Y OTRO CON TIRANTES Y GASTOS SIMILARES; PERO CON UNA GEOMETRÍA EN PLANTA, TDTALMENTE DISTINTA. EN TODOS LOS ENSAYOS, SE CONSERVÓ SIEMPRE EL MISMO RANGO PARA LOS NÚMEROS DE FROUDE.

NO VIENE EL CASO MENCIONAR LOS DIVERSOS INTENTOS DE VALUACIÓN --- QUE RESULTARON INFRUCTUOSOS, DE MODO QUE EN LOS CAPÍTULOS SUDSECIENTES - SE DESCRIDIRÁ SOLAMENTE EL CRITERIO DE CÁLCULO QUE PARECE DAR RESULTADOS- ACEPTABLES PARA TODOS LOS CASOS ESTUDIADOS.

1.3 PLAN DE TRADAJO

CONSTA ESTE TRABAJO DE SEIS CAPÍTULOS EN TOTAL, INCLUYENDO ESTA - INTRODUCCIÓN.

EN EL SEGUNDO CAPÍTULO SE HACE UNA DESCRIPCIÓN SUCINTA TANTO DEL MÉTODO CLÁSICO DE IPPEN Y KNAPP, PARA EL ESTUDIO DE CURVAS EN CANALES, CO MO DE LA TEORÍA GENERAL DEL REMANSO, ASUNTO ESTE ÚLTIMO, DE GRAN INTERÉS- EN UN TIPO DE ESCURRIMIENTO EN DONDE NO LLEGA A ESTABLECERSE EL REGIMEN.- EN ESE CAPÍTULO, EN DONDE SE HAN EVITADO LOS DESARROLLOS ALGEDRAICOS MÁS- COMPLICADOS, QUE EL LECTOR PUEDE CONSULTAR EN LA BIBLIOGRAFÍA DE REFEREN- CIA, SE HA PENSADO MÁS QUE EN HACER UN ESTUDIO CRÍTICO DE LOS CRITERIOS - CLÁSICOS DE TRATAMIENTO, EN TENERLOS A MANO, YA SEA PARA BUSCAR UNA EX -- PLICACIÓN PLAUSIDLE A LAS ODSERVACIONES AQUÍ PRESENTADAS, O DIEN PARA UTI LIZAR EN LO POSIDLE, LOS RESULTADOS DE ENSAYOS EJECUTADOS CON ANTERIORIDAD EN OTROS LADORATORIOS.

EN EL TERCER CAPÍTULO, SE PRESENTA UN MÉTODO DE CÁLCULO APROXIMADO Y SEMIGRÁFICO QUE, COMPLEMENTADO CON LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN EL CA -

CAPÍTULO IV, ES LA ESENCIA DEL MÉTODO QUE SE PROPONE EN ESTE TRABAJO. NO SE PUEDE IGNORAR QUE ESTE MÉTODO PODRÍA ADAPTARSE SIN MAYORES DIFICULTADES, PARA EMPLEARLO CON AYUDA DE UNA COMPUTADORA ANALÓGICA O DIGITAL; SIN EMBARGO, POR EL MOMENTO SE HA HECHO ESTA PRESENTACIÓN SENCILLA, PENSANDO MÁS BIEN EN PONER AL LECTOR EN CONTACTO CON EL PROBLEMA, QUE EN DARLE UNA SOLUCIÓN ELEGANTE O NOVEDOSA. DE TODAS MANERAS, SE PIENSA YA EN LA PROGRAMACIÓN O ALAMBRADO, EN SU CASO, PARA HACER EL PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO MÁS EXPEDITO. PROBABLEMENTE ÉSTO SEA MOTIVO DE OTRA PUBLICACIÓN.

EN EL CAPÍTULO IV SE DETALLAN LOS ESTUDIOS HECHOS EN EL LABORATORIO, SE DESCRIBEN LOS MÉTODOS Y APARATOS DE MEDICIÓN Y SE INTENTA DAR UNA EXPLICACIÓN AL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO EN UNA CURVA DE UN CANAL PRISMÁTICO CON RÉGIMEN CASI CRÍTICO. SE CONSIGNAN ADEMÁS LOS RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS EXPERIMENTALES Y SE ESTABLECEN LAS CORRELACIONES ESTADÍSTICAS ENTRE LOS PARÁMETROS QUE RESULTARON SER SIGNIFICATIVOS.

EN EL CAPÍTULO V DE ACUERDO CON LA EXPOSICIÓN HECHA EN EL CAPÍTULO III Y SEGÚN LOS RESULTADOS DE IV, SE PRESENTA EL MÉTODO GENERAL PARA LA RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA MOTIVO DE ESTE TRABAJO, SE HACE SU APLICACIÓN PARA UN CASO PARTICULAR Y SE CONFRONTAN LOS RESULTADOS CON LOS DE LAS EXPERIENCIAS REALIZADAS.

EL CAPÍTULO VI COMPRENDE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES QUE SE PUEDEN OBTENER DE TODO EL ESTUDIO REALIZADO.

.II METODOS CLASICOS DE SOLUCION

II.1 CURVAS DE REMANSO

CONSIDÉRENSE DOS SECCIONES INFINITAMENTE PRÓXIMAS DE UN CANAL PRISMÁTICO, SEGÚN SE INDICA EN LA FIG II.1 A. DE LA GEOMETRÍA DE ESA FIGURA SE PUEDEN CONCLUIR DOS FÓRMULAS :

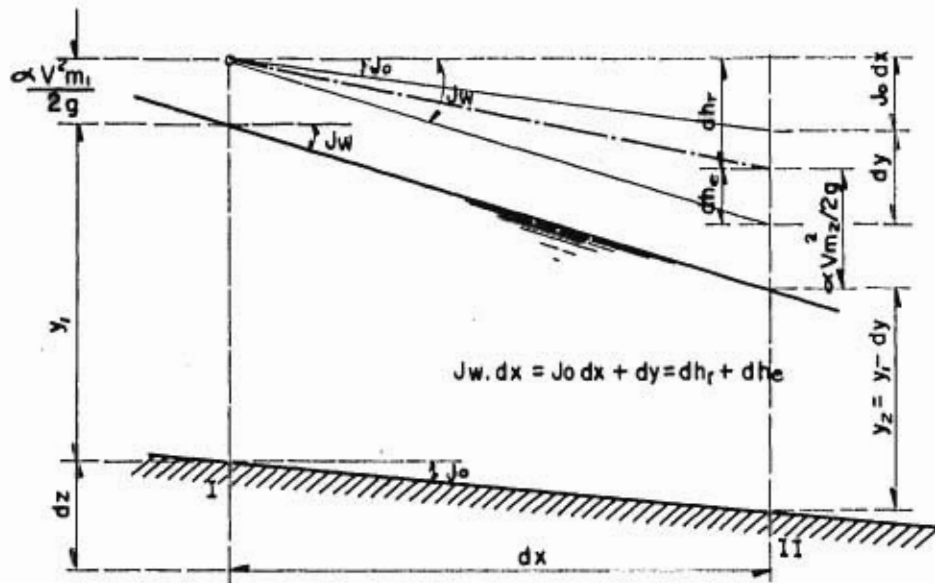


Fig. II 1A

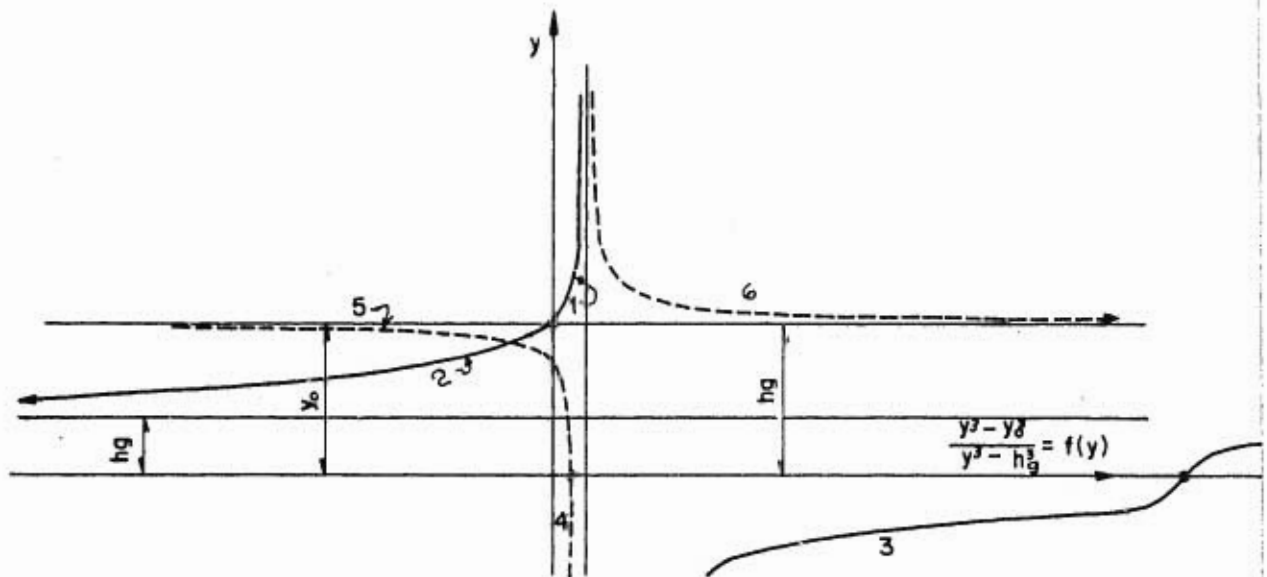


Fig. II 1B

$$J_w dx = dh_r + dh_e \quad (11.1.1)$$

$$y \quad dz = dy + dh_e + dh_r \quad (11.1.2)$$

SI SE ACEPTAN LAS CUATRO HIPÓTESIS CLÁSICAS ESTABLECIDAS POR --
BRESSE *, SE PUEDE LLEGAR, A PARTIR DE (11.1.2), A LA PRIMERA FÓRMULA --
DE BRESSE :

$$\frac{dy}{dx} = J_0 \frac{y^3 - y_0^3}{y^2 - h_g^2} \quad (11.1.3)$$

Y A PARTIR DE (11.1.1) Y (11.1.3), SE PUEDE OBTENER LA SEGUNDA FÓRMULA -
DE BRESSE

$$J_w = J_0 \frac{J_0^2 - h_g^2}{y^2 - h_g^2} \quad (11.1.4)$$

NO OBSTANTE LAS GRAVES LIMITACIONES QUE IMPLICAN LAS CUATRO HIPÓ-
TESIS MENCIONADAS, LAS DOS FÓRMULAS DE BRESSE PERMITEN HACER UN ESTUDIO -
COMPLETO DE LOS DIVERSOS PROBLEMAS QUE PRESENTA EL REMANSO, ESTO ES, LA -
DETERMINACIÓN DE LA CURVA QUE SIGUE LA SUPERFICIE LIDRE DEL AGUA, EN CANA-
LES PRISMÁTICOS SIN REGIMEN ESTADLECIDO O, LO QUE ES LO MISMO, EN AQUELLOS
CANALES EN DONDE LA PÉRDIDA POR FRICCIÓN ENTRE DOS SECCIONES, DIFIERE DEL
DESNIVEL ENTRE ELLAS.

EN ESTAS FÓRMULAS J_0 ES LA PENDIENTE DE LA PLANTILLA; J_w , LA PEN-
DIENTE DE LA SUPERFICIE LIDRE; dy/dx , LA RELACIÓN DE CRECIMIENTO DEL -

* LA PENDIENTE J_w EN CADA TRAMO, CON TIRANTE y , PARA UN GASTO DADO,
SERÍA LA CORRESPONDIENTE A LA QUE, SEGÚN LA FÓRMULA DE CHEZY, SE OBTUVIERA
PARA ESE VALOR DE y . - LA C DE LA FÓRMULA DE CHEZY ES CONSTANTE E INDEPEN-
DIENTE DE y . - EL CANAL ES RECTANGULAR Y MUY ANCHO. - EL TIRANTE y Y EL RA-
DIO HIDRÁULICO SON IGUALES.

TIRANTE EN LAS DIVERSAS SECCIONES; y_0 EL TIRANTE CON QUE EL GASTO EN ESTU-
DIO FLUIRÍA A REGIMEN ESTABLECIDO; h_g , EL TIRANTE CRÍTICO; Y, FINALMENTE,
 y ES EL TIRANTE EN UNA SECCIÓN CUALQUIERA DEL CANAL SIN REGIMEN.

AHORA BIEN, SE PUEDE HACER UNA INTERESANTE CLASIFICACIÓN DEL FLU-
JO VARIADO SI SE ESCRIBE LA PRIMERA FÓRMULA DE BRESSE EN LA FORMA

$$y^2 = \frac{h_g^3 - J_0 / (dy/dx) y_0^3}{1 - J_0 (dy/dx)} \quad (11.1.5)$$

Y SI SE CUENTA ADEMÁS CON LAS FÓRMULAS 11.1.3 Y 11.1.4

ESTA CLASIFICACIÓN, QUE SE ACLARA MEDIANTE LAS FIGURAS 11.1B Y -
11.1.C, PUEDE RESUMIRSE ASÍ :

REGIMEN LENTO	$y_0 > h_g$		
$y > y_0$, $J_w < J_0$		$dy/dx > 0$	RAMA 1
$y_0 > y > h_g$, $J_w > J_0$		$dy/dx < 0$	RAMA 2
$y < h_g$, $J_w < 0$		$dy/dx > 0$	RAMA 3
REGIMEN RÁPIDO	$h_g > y_0$		
$y < y_0$, $J_w > J_0$		$dy/dx > 0$	RAMA 4
$h_g > y > y_0$, $J_w < J_0$		$dy/dx < 0$	RAMA 5
$y > h_g$, $J_w < 0$		$dy/dx > 0$	RAMA 6

EXISTEN ADEMÁS LAS PARTICULARIDADES SIGUIENTES :

$dy/dx = 0$, PARA $y = y_0$, COMO CORRESPONDE AL CASO DE ESTABLECIMIEN-
TO DE REGIMEN; CON APROXIMACIÓN ASINTÓTICA HACIA AGUAS ADAJO EN LAS CUR-
VAS DE TIPO 5 (REGIMEN RÁPIDO) Y CON APROXIMACIÓN ASINTÓTICA HACIA AGUAS
ARRIDA EN LAS CURVAS DE TIPO 1 (REGIMEN LENTO)

ADemás

$J_w \rightarrow 0$ y $dy/dx \rightarrow 0$ si $y \rightarrow \infty$, ESTO ES, PARA LA CURVA DE TIPO 1, LA LEY DE CRECIMIENTO TIENE UN LÍMITE HACIA AGUAS ABAJO.

FINALMENTE $dy/dx \rightarrow \infty$ si $y \rightarrow h_g$ COMO OCURRIRÍA EN LA RAMA 2, -- HACIA AGUAS ABAJO, SI EN ALGUNA SECCIÓN MUY ANTERIOR AL EXTREMO, SE PRESENTARA UN TIRANTE $y = h_g$. ESTO OCURRE JUSTAMENTE HACIA ESE EXTREMO Y LA FUERTE CURVATURA DE LA SUPERFICIE LIBRE EN EL PASO DE UN CANAL CON REGIMEN TRANQUILO A UNO CON REGIMEN RÁPIDO, CORRESPONDE A ESTA SINGULARIDAD; SI BIEN EL PROCESO SE REALIZA DE MODO MÁS O MENOS GRADUAL (CURVAS 2 Y 5, - FIG 11.1.C) PORQUE LA CURVATURA MODIFICA LAS CONDICIONES DEL FLUJO.

EN CAMBIO EN EL CASO DE LA CURVA 3, COMO $dy/dx > 0$ Y y TIENDE HACIA h_g SIN QUE NADA IMPIDA O MODIFIQUE SU TENDENCIA, PUEDE PRESENTARSE UN CAMBIO BRUSCO EN EL VALOR DE y , AL PASAR DE REGIMEN RÁPIDO A TRANQUILO (RESALTO).

CADE MENCIONAR QUE EN EL CASO QUE NOS OCUPA, SI NO HUBIERA VUELTAS EN EL CANAL, LAS CURVAS SERÍAN DE TIPO 5; SIN EMBARGO, LA PRESENCIA DE ESOS CAMBIOS DE DIRECCIÓN OCASIONAN UN ASCENSO VIOLENTO DEL LÍQUIDO, AL PRINCIPIO DE LAS VUELTAS, AUN CON POSIBILIDADES DE REDASAR EL NIVEL DE h_g , AUNQUE SIN LLEGAR A PRODUCIR PROPIAMENTE UN RESALTO INCIPIENTE.

POR OTRA PARTE, BRESSE INTEGRÓ LA ECUACIÓN 11.1.3 PARA CURVAS DE DIVERSOS TIPOS * CON MIRAS A CALCULAR LAS CURVAS DE REMANSO; SIN EMBARGO, LOS RESULTADOS A QUE CONDUCE LA ADMISIÓN DE LAS CUATRO HIPÓTESIS BÁSICAS SUELEN OCASIONAR ERRORES MÁS O MENOS GRAVES EN CASOS COMO EL QUE NOS OCUPA. EN EFECTO, SEGUN SE VERÁ POSTERIORMENTE, INTERESA CONOCER LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL FLUJO A LA ENTRADA DE CADA CURVA CON SUFICIENTE

* ENGINEERING HYDRAULICS ED ROUSE CAPÍTULO IX, SEC B, TABLA 4

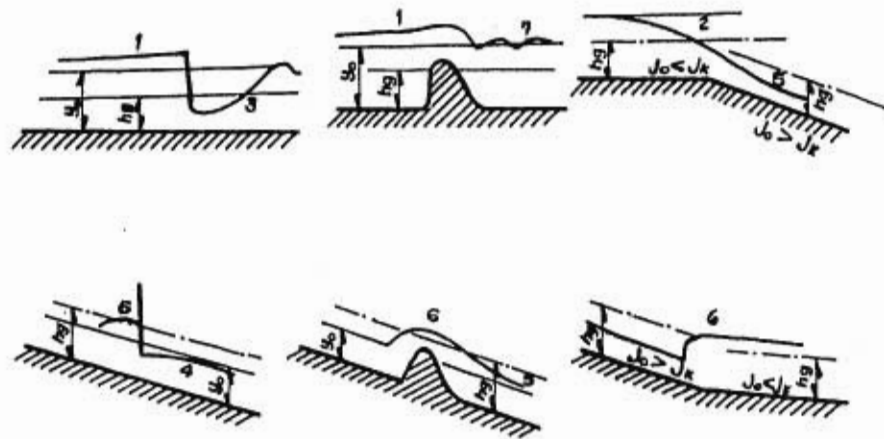


Fig. II 1C

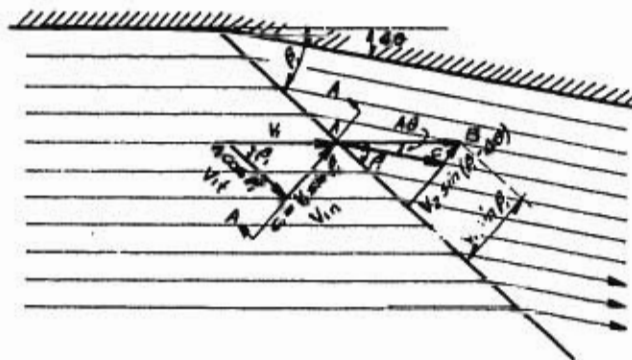


Fig. II 2A

PRECISIÓN, PARA PREDECIR CORRECTAMENTE EL COMPORTAMIENTO HIDRÚLICO EN ELLA, DE MODO QUE LOS ERRORES DE QUE SON DE SEGUNDA IMPORTANCIA EN OTROS ESTUDIOS (SOBRE TODO EN REGIMEN LENTO) PODRÍAN PRODUCIR DISCREPANCIAS DE CONSIDERACIÓN EN ESTE CASO. ES CONVENIENTE ACLARAR QUE VARIOS AUTORES HAN HECHO OTROS INTENTOS DE INTEGRACIÓN, BUSCANDO ELIMINAR LOS ERRORES A QUE CONDUCE LAS HIPÓTESIS. CASI TODOS ESTOS INTENTOS *, AUNQUE CONDUCE A SOLUCIONES MÁS O MENOS BUENAS, EXIGEN DE TODAS MANERAS, QUE SE ACEPTEN OTRAS HIPÓTESIS QUE NO SIEMPRE ESTÁN ACORDES CON LAS CONDICIONES DEL PROBLEMA QUE SE TRATA; POR LO DEMÁS, LA GRAN MAYORÍA DE ESTOS INTENTOS SE HAN CONCEDIDO PARA CANALES CON REGIMEN LENTO, Y LOS QUE NO LO HAN HECHO ASÍ **, HAN ELABORADO TANTAS O MÁS HIPÓTESIS QUE LAS ORIGINALES DE BRASSE. TAL ES EL MOTIVO, EN BUENA PARTE, POR EL CUAL NO SE HAN ABANDONADO AUN LOS MÉTODOS LLAMADOS "EXACTOS" O "DIRECTOS", CUYO DEFECTO PRINCIPAL ES QUE SON MÉTODOS DE APROXIMACIONES SUCCESIVAS. SI BIEN ES CIERTO QUE LAS MODERNAS COMPUTADORAS ELIMINAN ESTA MOLESTIA, EN LAS CONDICIONES ACTUALES TODAVÍA RESULTA ÚTIL AL INGENIERO DE TIPO MEDIO, DISPONER DE UN MÉTODO DIRECTO QUE, SIN IMPLICAR LA MOLESTIA DE LOS "TANTEOS", LO CONDUZCA A UN RESULTADO RAZONABLEMENTE EXACTO. TAL SERÁ EL OBJETO DEL CAPÍTULO III DE ESTE TRABAJO.

11.2 TEORÍA DEL ESCURRIMIENTO EN CANALES CURVOS

CON REGIMEN RÁPIDO

SEGÚN LA TEORÍA YA CLÁSICA DE IPPEN Y KNAPP, EN EL CASO DE QUE UN FLUJO SUPERCRÍTICO SUFRA UNA DESVIACIÓN ϕ , NO SE ORIGINAN PERTURBACIONES AGUA ARRIBA DE LA DESVIACIÓN; PERO HACIA AGUA ABAJO SE FORMA UN

* KOZENY, RÜHLMAN, НАБЛОЖЕНИЯ, ETC.

** DESIGN FOR SMALL DAMS U.S.B.R.

FRENTE DE ONDA O RESALTO OBLICUO, FRENTE AL QUE NACE EN EL ORIGEN DE LA -
 DESVIACIÓN Y QUE TIENE UNA INCLINACIÓN β , RESPECTO AL ALINEAMIENTO ORIGI-
 NAL. LA FIGURA 11.2.A INDICA ESA CONDICIÓN Y EN ELLA SE HAN CONSIGNADO LAS
 CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO ANTES Y DESPUÉS DEL FRENTE DE ONDA. EL PRINCI-
 PIO DE CONTINUIDAD APLICADO SEGÚN A-A CONDUCE A:

$$y_1 v_1 \sin \beta = y_2 v_2 \sin (\beta - \Delta \theta) \quad (11.2.1)$$

LA LEY DEL IMPULSO, APLICADA EN LAS MISMAS CONDICIONES CONDUCE A:

$$\frac{y_1^2}{2} + \frac{y_1 v_1^2 \sin^2 \beta}{g} = \frac{y_2^2}{2} - \frac{y_2 v_2^2 (\sin^2 [\beta - \Delta \theta])}{g} \quad (11.2.2)$$

LA COMBINACIÓN DE AMBAS FÓRMULAS Y LA GEOMETRÍA IMPUESTA EN LA FI-
 GURA 11.2.A. CONDUCE FINALMENTE A:

$$v_{n1} = v_1 \sin \beta = \sqrt{g y_1} \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{y_2}{y_1} \right) \left(\frac{y_2}{y_1} - 1 \right)} \quad (11.2.3)$$

QUE TAMBIÉN PUEDE ESCRIBIRSE:

$$\sin \beta = \frac{1}{F_1} \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{y_2}{y_1} \right) \left(\frac{y_2}{y_1} - 1 \right)} \quad (11.2.4)$$

POR OTRA PARTE, DE LA LEY DE LOS SENOS APLICADA AL TRIÁNGULO --
 A B C DE LA FIG 11.2.A, SE OBTIENE:

$$\frac{\Delta v_n}{v_1} = \frac{\sin \theta}{\sin (90 - \beta + \Delta \theta)} \quad (11.2.5)$$

LA CUAL PARA $\Delta \theta \ll 1$, PUEDE ESCRIBIRSE:

$$d v_n = \frac{v \, d \theta}{\cos \beta} \quad (11.2.6)$$

ADemás, EL PRINCIPIO DEL IMPULSO EN SU FORMA DIFERENCIAL, SE ES -
CRIDE:

$$dv_n = \frac{dh}{v_n} g \quad (11.2.7)$$

Y SEGÚN (11.2.3) Y DE ACUERDO CON (11.2.6 Y 7) SE OBTIENE FINAL-
MENTE :

$$dh = \frac{v^2}{g} \tan \beta d\theta \quad (11.2.8)$$

AHORA BIEN, SI SE ADMITE QUE LA ENERGÍA ESPECÍFICA H ES CONSTANTE
Y SE TIENE EN CUENTA LA RELACIÓN ENTRE v_n Y v_t EN LA FIG 11.2.A., --
(11.2.8) SE ESCRIBE :

$$\frac{dh}{d\theta} = \frac{2(H-h)\sqrt{h}}{\sqrt{2H-3h}} \quad (11.2.9)$$

LOS RESULTADOS HASTA AQUÍ OBTENIDOS PUEDEN CONDUCIR A FÓRMULAS DE
INTERÉS; EN EFECTO (11.2.9) FUE INTEGRADA POR VON KARMAN, EN LA FORMA :

$$\theta = 3 \text{ ANG TAN } \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{F^2 - 1}} - \text{ANG TANG } \frac{1}{\sqrt{F^2 - 1}} - \theta_1 \quad (11.2.10)$$

EN DONDE θ_1 ES LA CONSTANTE DE INTEGRACIÓN, DEFINIDA POR LA CONDICIÓN --
 $\theta = 0$ PARA $F_2 = F_1$, CORRESPONDIENTE A LA CONDICIÓN ORIGINAL. LA FIGURA -
11.2.B. ES LA SOLUCIÓN GRÁFICA DE (11.2.10).

POR OTRA PARTE, SI SE TIENE EN CUENTA QUE H ES CONSTANTE Y SE ES
TADLECE LA RELACIÓN $\bar{v} = \frac{v}{\sqrt{2gH}}$, EL TEOREMA DE BERNOULLI PUEDE ESCRIBIRSE:

$$\frac{h}{H} = 1 - \bar{v}^2 \quad (11.2.11)$$

DERIVANDO ESTA EXPRESIÓN SE LLEGA A :

$$\frac{d(h/H)}{d\bar{v}} = -2\bar{v} \quad (11.2.12)$$

EN CUYOS TÉRMINOS, (11.2.9) SE ESCRIBE COMO :

$$\frac{1}{\bar{v}} \frac{d\bar{v}}{d\theta} = \frac{1 - \bar{v}^2}{3\bar{v}^2 - 1} \quad (11.2.13)$$

SI SE TIENE EN CUENTA TAMBIÉN LA PRIMERA PARTE DE (11.2.3) PARA PEQUEÑAS DEFLECCIONES, $y_2 \approx y_1$ Y CON ELLO

$$v_n \doteq \sqrt{g y_1} \quad * \quad (11.2.14)$$

CON LO CUAL LA ECUACIÓN DE BERNOULLI PUEDE ESCRIBIRSE:

$$v^2 = 2gH - 2(v_n)^2 \quad (11.2.15)$$

ADEMÁS, DE LA FIGURA 11.2.A. SE CONCLUYE :

$$v^2 = v_t^2 + v_n^2 \quad (11.2.16)$$

LAS ECUACIONES 11.2.15 Y 16 COMBINADAS, SI SE RECUERDA LA DEFINICIÓN DE \bar{v} DADA AQUÍ ARRIBA, CONDUCE A :

$$\frac{\bar{v}_n^2}{1/3} + \frac{\bar{v}_t^2}{1} = 1 \quad (11.2.17)$$

AHORA BIEN, (11.2.13) ES LA ECUACIÓN DE UNA EPLICICLOIDE QUE SE DESPLAZA ENTRE CÍRCULOS DE RADIO $1/\sqrt{3}$ Y 1, MIENTRAS QUE (11.2.17) ES LA ECUACIÓN DE UNA ELIPSE DE SEMIEJES $1/\sqrt{3}$ Y 1, EN EL PLANO DE LAS HODÓGRAFAS. ESTA CIRCUNSTANCIA PERMITE UTILIZAR EL LLAMADO MÉTODO DE CARACTERÍSTICAS, QUE SE ILUSTRA EN LA FIG 11.2.C

* OBSÉRVESE QUE AL MISMO TIEMPO, DE (11.2.4) SEN $\beta = 1/F_r$ LO CUAL DA UN CRITERIO APROXIMADO PARA PREDECIR LA DIRECCIÓN DEL FRENTE DE ONDA.

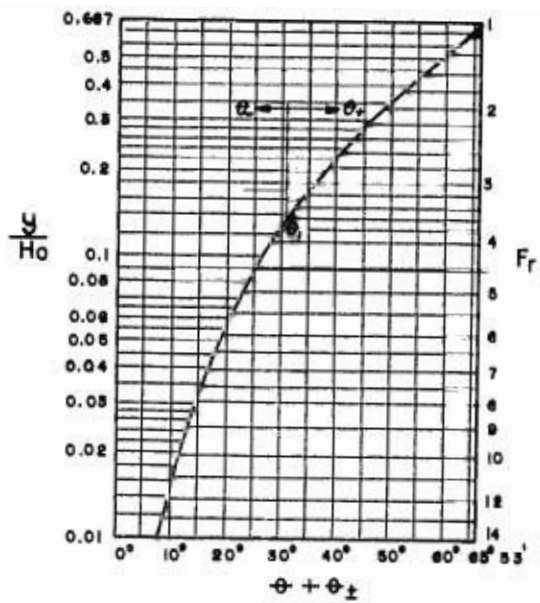


Fig. II 2B

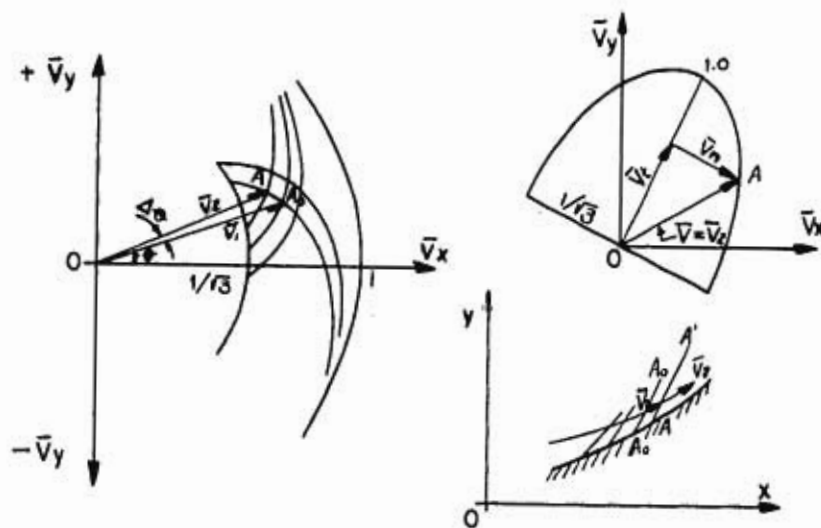


Fig. II 2C

PARA ESTUDIAR EL FLUJO EN UN CANAL CURVO CON REGIMEN SUPRACRÍTICO, SE PUEDE UTILIZAR LA FIGURA 11.2.B, PARA LO CUAL BASTA DEFINIR LAS CONDICIONES DEL FLUJO EN EL TRAMO RECTO, A TRAVÉS DEL VALOR f_{v-} , DEL QUE UTILIZADO COMO ARGUMENTO CONDUCE A UN CIERTO VALOR DE θ . PARA SEGUIR EL FLUJO EN EL LADO EXTERIOR DE LA CURVA, SE SUDDIVIDE LA DEFLECCIÓN TOTAL θ EN INTERVALOS $\Delta\theta$, EL PRIMERO DE LOS CUALES SE AÑADE A θ_0 PARA OBTENER ASÍ UN VALOR θ_1 , EL CUAL, EN LA MISMA GRÁFICA DEFINE EL VALOR DE F_{RL} , QUE A SU VEZ PERMITE CONOCER LAS CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO DESPUÉS DE LA PRIMERA ALTERACIÓN. REITERANDO EL MÉTODO SE PUEDE CONTINUAR CON LA DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS A LO LARGO DE LA CURVA EXTERIOR; A LO LARGO DE LA CURVA INTERIOR, EL MÉTODO ES SIMILAR, CON LA DIFERENCIA DE QUE $\Delta\theta$ DEBE RESTARSE AL VALOR ANTERIOR DE θ_1 .

PARA ESTUDIAR EL FLUJO EN UN CANAL CON REGIMEN RÁPIDO SEGÚN EL MÉTODO DE LAS CARACTERÍSTICAS, SE EMPIEZA POR DIBUJAR EN EL PLANO DE LAS HÓDÓGRAFAS UNA FAMILIA DE EPICICLOIDES QUE FORMEN UNA MALLA MÁS O MENOS CERRADA. SE CONSTRUYE DESPUÉS UNA ELIPSE CUYOS SEMIEJES $1/\sqrt{3}$ Y 1 ESTEN A LA MISMA ESCALA QUE LOS VALORES LÍMITES DE LOS CÍRCULOS DE RADIOS $1/\sqrt{3}$ Y 1 QUE LIMITAN LAS EPICICLOIDES. CON LAS CONDICIONES INICIALES $\theta = 0$ (TRAMO RECTO) Y \bar{V}_1 CALCULADA PARA ELLAS, SE DETERMINA EN UN PUNTO DE ARGUMENTOS ($\theta = 0$ Y $\bar{V} = V_1$). SE PROCEDE A INCREMENTAR UN ÁNGULO $\Delta\theta$, EN EL SENTIDO DEL RELOJ PARA EL LADO INTERIOR DE LA CURVA Y EN SENTIDO CONTRARIO PARA EL EXTERIOR; ÉSTO, SEGÚN (11.2.13) EQUIVALE A DESPLAZARSE UN VALOR $d\bar{V}$, SOBRE LA EPICICLOIDE DEFINIDA POR EL EXTREMO DE \bar{V}_1 . ASÍ SE DEFINE UN NUEVO PUNTO A SOBRE DICHA EPICICLOIDE Y EL VALOR DE \bar{V}_2 ES $\bar{O}A$ EN EL PLANO DE LAS HÓDÓGRAFAS. SE PROCEDE ENTONCES A HACER COINCIDIR EL CENTRO DE LA ELIPSE CON EL ORIGEN DEL PLANO DE LAS HÓDÓGRAFAS Y SE HACE GIRAR ESTA FIGURA HASTA QUE LA ELIPSE PASE POR A; ESTO PERMITE DETERMINAR LA DIRECCIÓN DE LA COMPONENTE V_{2R} (SE -

GÓN EL EJE MAYOR), LA CUAL SERÁ PARALELA AL FRENTE DE ONDA. (VER FIGURA - 11.2.C.). REITERANDO EL MÉTODO ES POSIBLE DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS DEL ESCURRIMIENTO A LO LARGO DE LOS LADOS INTERIOR Y EXTERIOR DE LA CURVA. CONVIENE ACLARAR ADEMÁS DE ESTOS EFECTOS DIRECTAMENTE CAUSADOS POR LAS DEFLEXIONES DE LAS PAREDES, LAS ONDAS CREADAS EN CADA UNO DE LOS LADOS DE LA CURVA, SE EXTENDERÁN HASTA EL EXTREMO OPUESTO, CON LO CUAL, COMO SE INDICA EN LA FIG. 11.2.D, EL FRENTE DE ONDA ORIGINAL EN CADA LADO SERÁ QUIEN MARQUE EL LÍMITE DE ASCENSO O DESCENSO DEL NIVEL DEL LÍQUIDO, AL HACER SENTIR SU INFLUENCIA EN EL LADO OPUESTO. POR LO DEMÁS ESTAS ONDAS AL TOCAR LA MARGEN OPUESTA SE REFLEJARÁN Y EL PROCESO SE REPETIRÁ MÁS O MENOS CÍCLICAMENTE COMO SE MUESTRA EN LA FIG. 11.2.D; UN ESTUDIO COMPLETO DE LA CONFIGURACIÓN DE LA SUPERFICIE SERÍA FACTIBLE ÚNICAMENTE CON EL EMPLEO DEL MÉTODO DE LAS CARACTERÍSTICAS, SIGUIENDO CADA UNO DE LOS FRENTE DE ONDA, SUS REFLEXIONES Y LAS SUPERPOSICIONES CORRESPONDIENTES, PROCESO LARGO Y COMPLICADO. SIN EMBARGO, SI SE PROCEDE CON UN CRITERIO SIMPLISTA, DE ACUERDO CON LA FIG. 11.2.D, EN FORMA APROXIMADA SE PUEDE CALCULAR EL ÁNGULO CENTRAL QUE DETERMINA EL PRIMER MÁXIMO Y EL PRIMER MÍNIMO MEDIANTE LA FÓRMULA

$$\phi = \text{ANG TAN } \frac{2b}{(2r_c + b) \tan \beta} \quad (11.2.18)$$

SI AHORA SE PIENSA EN EL PROBLEMA QUE NOS OCUPA Y SE RECUERDA -- QUE F ES MUY PRÓXIMO A 1, SE COMPRENDERÁ QUE LOS PROCEDIMIENTOS DESCRITOS SON INAPLICABLES. EN EFECTO, SI SE OBSERVA LA FIG. 11.2.B. SE VE QUE PARA UN ARGUMENTO DE ENTRADA $F_r \approx 1$, DASTARÁN UNA O DOS PEQUEÑAS DEFLEXIONES $\Delta \phi$ PARA QUE YA LA GRÁFICA NO DE NINGUNA INFORMACIÓN, MUCHO ANTES DE QUE LA ONDA PROVENIENTE DEL LADO INTERIOR DEJE SENTIR SU INFLUENCIA --

SODRE EL EXTERIOR. Y SI SE TIENE EN CUENTA QUE PARA LA CONDICIÓN DE ESCURRIMIENTO CRÍTICO $\bar{V} = 1/\sqrt{3}$, EN EL CASO DEL MÉTODO DE LAS CARACTERÍSTICAS, OCURRIRÁ UN PROBLEMA SIMILAR AL ANTERIORMENTE DESCRITO.

TODAS ESTAS LIMITACIONES FUERON SEÑALADAS POR KNAPP, QUIEN INDICÓ (TRANSACTIONS ASCE VOL 116, 1951, PAG. 324) QUE JUSTAMENTE PARA NÚMEROS DE FROUDE COMPRENDIDOS ENTRE 1 Y 1.5, LOS RESULTADOS DE LA TEORÍA SON -- ERRÁTICOS. MAS AÚN, EL PROPIO KNAPP (OP, CIT, PAG 301) CONSIGNA LAS DIFICULTADES DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO A UN CANAL CON VARIAS CURVAS.

NO ODSANTE TODAS ESTAS DIFICULTADES, PUEDE CONSIDERARSE QUE LA TEORÍA DESCRITA EN ESTE INCISO PERMITE ESTUDIAR EL PROBLEMA EN SUS ASPECTOS MÁS GENERALES, TODA VEZ QUE LOS FENÓMENOS ODSERVADOS EN EL LABORATORIO, CUALITATIVAMENTE SON LOS MISMOS QUE PREDICE LA TEORÍA. EL INTENTO PARA BUSCAR UNA CUANTIFICACIÓN DE LOS MISMOS, SE PRESENTA EN EL CAPÍTULO IV.

PARA TERMINAR, CONVIENE DESTACAR UN HECHO, SEÑALADO POR IPPEN -- (ROUSE, OP CIT, PAG 564) QUIEN, AL HABLAR DEL FLUJO EN LAS CURVAS, DESPUÉS DE HADER PRESENTADO SUCINTAMENTE LA TEORÍA ANTERIOR, DICE : " EN -- OTRAS PALABRAS, COMO UNA PRIMERA APROXIMACIÓN (PARA CALCULAR LAS SODREELEVACIONES DEL LÍQUIDO EN LAS CURVAS) LAS MÁXIMAS SODREELEVACIONES FUERON $V^2 B/Rg$ SODRE LA SUPERFICIE DEL LÍQUIDO A LA ENTRADA DE LA CURVA, -- MAS BIEN QUE SODRE LA SUPERFICIE DEL LADO INTERIOR DE LA CURVA"*. ESTO ES, -- A PESAR DE LAS VENTAJAS DE LA TEORÍA POR ÉL PRESENTADA, DICHO AUTOR DE UN CRITERIO APROXIMADO, PERO DISTINTO, PARA VALUAR LA SODREELEVACIÓN -- DEL LÍQUIDO EN LAS CURVAS, CRITERIO QUE CONCUERDA RAZONABLEMENTE BIEN --

* EN ESTA EXPRESIÓN B ES EL ANCHO DE PLANTILLA, R EL RADIO HASTA EL CENTRO DE LA CURVA Y V, LA VELOCIDAD MEDIA

CON EL RESULTADO DE LOS ENSAYOS, SEGÚN SE VERÁ EN EL CAPÍTULO IV, EN DONDE, POR OTRA PARTE, SE HA BUSCADO DE AFINAR UN POCO ESE CRITERIO

III. UN METODO SEMIGRAFICO PARA EL CALCULO DE CURVAS DE REMANSO- EN CANALES PRISMATICOS

III.1 FUNDAMENTO

SI EN LA FIGURA II.1.A, d_2 ES FINITA, SE PUEDE ESCRIBIR EL TEOREMA DE BERNOULLI EN LA FORMA

$$z + y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = z + y_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta h_f \quad (III.1.1)$$

ADEMÁS SI SE ACEPTA LA FÓRMULA DE MANNING, EN LOS MÉTODOS CLÁSICOS DE ITERACIÓN SE ESCRIBE

$$\Delta h_f = \left(\frac{v_m n}{r_m^{2/3}} \right)^2 \Delta l \quad (III.1.2)$$

EN ESTA FÓRMULA v_m Y r_m SON LOS PROMEDIOS ARÍTMETICOS DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS EN LAS SECCIONES 1 Y 2. ENTONCES, EN LOS PROCEDIMIENTOS ITERATIVOS, SE PROCEDE, CONOCIDAS LAS CARACTERÍSTICAS EN LA SECCIÓN (i), A SUPONER LAS DE LA SECCIÓN (i+1), PARA CALCULAR Δh_f SEGÚN (III.1.2) Y VER SI (III.1.1) SE SATISFACE; EN CASO AFIRMATIVO SE CONTINÚA EL CÁLCULO, CON LA SECCIÓN (i+2) Y EN CASO NEGATIVO SE REPITE EL TANTEO CON NUEVOS VALORES PARA LAS CARACTERÍSTICAS EN (i+1). EL PROCESO ES LENTO Y LABORIOSO Y DEPENDE EN BUENA PARTE DE LA HABILIDAD DE QUIEN LO EMPLEA.

ORIGINALMENTE SE PENSÓ EN LA CONVENIENCIA DE ATRIBUIR LAS PÉRDIDAS ENTRE LAS DOS SECCIONES, A LAS CARACTERÍSTICAS DE LA SECCIÓN AGUAS ABAJO, LO CUAL, EN LLAMANDO ϵ_i a $y_i + \frac{v_i^2}{2g}$, PERMITÍA ESCRIBIR (III.1.1) EN LA FORMA:

$$S_0 \Delta l + \epsilon_i = \epsilon_{i+1} + \Delta h_{f_{i+1}} \quad (III.1.3)$$

DE ESTA MANERA RESULTA FACIL CONSTRUIR A PRIORI GRÁFICAS DE ϵ_i Y $\epsilon_i + \Delta h_f$ CONTRA Y_i EN EL CANAL PRISMÁTICO POR ESTUDIAR, PARA DES -- PUÉS SUMAR $S_0 \Delta l$ AL ϵ_i ; CORRESPONDIENTE Y DETERMINAR ASÍ $\epsilon_{i+1} + \Delta h_{f_{i+1}}$, LO QUE A SU VEZ PERMITIRÁ EL CÁLCULO DE Y_{i+1} , SIN NECESIDAD DE HACER -- TANTEOS; SE SUPUSO ENTONCES QUE EN TANTO Δl FUERA SUFICIENTEMENTE REDUCIDO, LOS ERRORES INTRODUCIDOS NO SERÍAN DE MAYOR CONSIDERACIÓN. SIN -- EMBARGO, SI SE HACE

$$V_{i+1} = V_{i1} + \frac{\Delta V}{2}$$

Y EN CORRESPONDENCIA $r_{i+1} = r_m - \Delta r/2$, RESULTARÁ QUE SI LA PÉRDIDA SE -- ATRIBUYE SÓLO A LA SECCIÓN DE AGUAS ADAJO, SE TENDRÁ :

$$\Delta h_f = \frac{(V_{i1} + \Delta V/2)^2}{(r_m - \Delta r/2)^{4/3}} n^2 \Delta l \quad (III.1.4)$$

Y SI AHORA SE DESARROLLA EL TÉRMINO ENCERRADO EN EL PARÉNTESIS RECTANGU -- LAR, SE OBTENDRÁ

$$\frac{(V_{i1} + \Delta V/2)^2}{(r_m - \Delta r/2)^{4/3}} = \frac{V_{i1}^2 + V_{i1} \Delta V + (\Delta V/2)^2}{r_m^{4/3} - 4/3 r_m^{1/3} (\Delta r/2) + 2/3 (1/3) r_m^{-2/3} (\Delta r/2)^2} \quad (III.1.5)$$

DE MODO QUE SI SE DESPRECIAN TÉRMINOS DE ORDEN SUPERIOR, (III.1.

4) TOMARÁ LA FORMA :

$$\Delta h_f = \frac{(V_{i1}^2 + V_{i1} \Delta V) n^2 \Delta l}{r_m^{4/3} - 4/3 r_m^{1/3} \Delta r/2} \quad (III.1.6)$$

SI ESTA EXPRESIÓN SE COMPARA CON LA EXPRESIÓN CLÁSICA DADA POR LA FÓRMULA III.1.2, SE VERÁ QUE LA SIMPLIFICACIÓN PENSADA, AUN CUANDO LOS INCREMENTOS SEAN PEQUEÑOS, CONDUCE A PÉRDIDAS MAYORES QUE LAS REALES Y, LO QUE ES PEOR, PRODUCE UN ERROR QUE SE ACUMULA A MEDIDA QUE PROSIGUE EL MÉTODO. PESE A ESTAS DESVENTAJAS, ESTE PROCEDIMIENTO SE HA EMPLEADO EN DIVERSOS CASOS DE DISEÑO Y SU COMPROBACIÓN EN EL LABORATORIO HA DEMOSTRADO QUE, POR LO MENOS PARA CANALES CORTOS, NO ES DEL TODO MALO.

PARA ELIMINAR EN BUENA PARTE ESTAS DIFICULTADES, SE PUEDE ESCRIBIR LA EXPRESIÓN (III.1.3) EN LA FORMA

$$S_0 \Delta l + \varepsilon_i - \Delta h_{fi} / 2 = \varepsilon_{i+1} + \Delta h_{fi+1} / 2 \quad (III.1.7)$$

LO CUAL EQUIVALE A ATRIBUIR LA PÉRDIDA EN UN 50% A LAS CARACTERÍSTICAS DE AGUAS ARRIDA Y EN OTRO A LAS DE AGUAS ADAJO. SI EN ESTAS CONDICIONES SE UTILIZA LA FÓRMULA (III.1.6), PODRÁ ESCRIBIRSE :

PARA AGUAS ADAJO

$$\frac{\Delta h_{fi+1}}{2} = \frac{1}{2} \frac{V_m^2 + V_m \Delta v}{r_m^{4/3} - 4/3 r_m^{1/3} \Delta r / 2} n^2 \Delta l \quad (III.1.8)$$

Y PARA AGUAS ARRIDA

$$\frac{\Delta h_{fi}}{2} = \frac{1}{2} \frac{V_m^2 - V_m \Delta v}{r_m^{4/3} + 4/3 r_m^{1/3} \Delta r / 2} n^2 \Delta l \quad (III.1.9)$$

FINALMENTE AL SUMAR MIEMBRO A MIEMBRO III.1.8 Y 9 :

$$\frac{\Delta h_{fi+1}}{2} + \frac{\Delta h_{fi}}{2} = \frac{2 V_m^2 r_m^{4/3} + 2 (4/3 V_m r_m^{1/3} \Delta v / 2 \Delta r / 2)}{2 (r_m^{4/3})^2 - (4/3 r_m^{1/3} \Delta r / 2)^2} n^2 \Delta l \quad (III.1.10)$$

DE MODO QUE DESPRECIANDO TÉRMINOS DE ORDEN SUPERIOR :

$$\frac{\Delta h_{fi+1}}{2} + \frac{\Delta h_{fi}}{2} = \frac{V_m^2}{r_m^{4/3}} n^2 \Delta l \quad (III.1.11)$$

ESTO ES, PRECISAMENTE (III.1.2) SEGÚN EL MÉTODO CLÁSICO.

ESTO HA PERMITIDO ENTONCES CAMBIAR UN POCO EL PROCEDIMIENTO ORIGINAL, Y SIN PERDER LA PRINCIPAL VENTAJA QUE ERA LA ELIMINACIÓN DE LOS TANTEOS, NO SACRIFICAR GRAN COSA LA PRECISIÓN.

III.2. EMPLEO

DE ACUERDO CON LO EXPRESADO EN EL INCISO ANTERIOR, EL MÉTODO ALLÍ DELINEADO SE PUEDE APLICAR DE LA MANERA SIGUIENTE:

A PARTIR DE LOS DATOS QUE DEFINIERAN EL FLUJO EN EL CANAL PRISMÁTICO, Y_0 , Q Y LA GEOMETRÍA DEL PROPIO CANAL MEDIANTE $A(y)$ PARA EL AREA Y $P(y)$ PARA EL PERÍMETRO MOJADO ASÍ COMO S_0 , LA PENDIENTE DE LA PLANTILLA, SE ADOPTARÍA UNA CIERTA LONGITUD Δl SUFICIENTEMENTE REDUCIDA (SEGÚN LA PRECISIÓN DESEADA) Y CON ESTA LONGITUD SE VALUARÍA $Z = S_0 \Delta l$

EN SEGUIDA, SE ELABORA LA TABLA III.2.A, DANDO VALORES ARBITRARIOS AL TIRANTE Y DE PREFERENCIA MEDIANTE INCREMENTOS REGULARES Y DENTRO DEL RANGO EN QUE SE ESPERA QUE VARIÉ ESTE TIRANTE.

LA TABLA MENCIONADA INDICA CON CLARIDAD LA SECUENCIA DE CÁLCULO POR SEGUIR.

CON LOS DATOS OBTENIDOS EN LA TABLA III.2.A, SE PROCEDE A DIBUJAR LAS GRÁFICAS $\xi_i(y)$, $\xi_i + \Delta h_i/2$ Y $\xi_i - \Delta h_i/2$ COMO SE INDICA EN LA FIGURA III.2.A.

CON AYUDA DE LAS GRÁFICAS DE ESTA FIGURA, SE PUEDE RESOLVER GRÁFICAMENTE LA ECUACIÓN (III.1.7), EXPRESIÓN QUE DETERMINA EL COMPORTAMIENTO DEL LÍQUIDO EN EL CANAL. PARA HACER ESTA RESOLUCIÓN SE PROCEDERÁ DEL MODO SIGUIENTE:

CONOCIDO EL TIRANTE y_i EN UNA SECCIÓN CUALQUIERA, SE CONOCEN TAMBIÉN ξ_i (ORDENADA DE A) Y $\xi_i - \Delta h_i/2$ (ORDENADA DE C) ; A PARTIR DE ESTE

PUNTO SE SUMA VERTICALMENTE $S_0 \Delta l$, PARA DETERMINAR EL PUNTO B. DESDE -- ALLÍ SE LLEVA UNA HORIZONTAL HASTA CORTAR LA CURVA $E_i + \Delta h_i/2$ EN EL PUNTO B', CUYA ORDENADA SERÁ EL VALOR DE $E_{i+1} + \Delta h_{i+1}/2$, LO CUAL PERMITE DETERMINAR FÁCILMENTE Y_{i+1} (ABSCISA DE B', A', Y C); NUEVAMENTE A PARTIR DE C' SE VOLVERÁ A SUMAR $S_0 \Delta l$ EN LA FORMA INDICADA Y ASÍ, REITERANDO EL MÉTODO, SE PUEDE SEGUIR EL CÁLCULO HASTA LA DETERMINACIÓN TOTAL DE LOS TIRANTES EN TODAS LAS SECCIONES QUE DISTAN ENTRE SÍ Δl , EN TODO EL TRAMO EN ESTUDIO.

CONVIENE ACLARAR QUE SI BIEN LA APLICACIÓN DEL MÉTODO SE HA HECHO PENSANDO EN CURVAS DE REMANSO DE TIPO 5, PUEDE GENERALIZARSE FÁCILMENTE PARA OTROS TIPOS DE CURVA Y LO QUE ES MÁZ, DADA SU CONCEPCIÓN, SE PUEDE EMPLEAR CON ÉXITO PARA CASOS MÁZ COMPLEJOS COMO SERÍA LA UDICACIÓN DEL RESALTO, POR EJEMPLO, DADO QUE AL TRABAJAR EN LA ZONA PRÓXIMA AL REGIMEN CRÍTICO, ESTA POSIBILIDAD PODRÁ DETECTARSE RÁPIDAMENTE. CON ALGUNAS MODIFICACIONES LA MISMA IDEA PUEDE UTILIZARSE TAMBIÉN AUN PARA EL CASO DE -- CANALES NO PRISMÁTICOS.

POR LO DEMÁS, EN EL SEGUNDO APÉNDICE SE HACE UN ANÁLISIS GENERAL DEL PROBLEMA PARA JUZGAR SU POSIBLE APLICACIÓN EMPLEANDO COMPUTADORAS -- ELECTRÓNICAS Y COMO ANTES SE DIJO, LA CONCLUSIÓN PARECE SER QUE POR EL MOMENTO, SIN NEGAR LAS VENTAJAS ENORMES QUE TENDRÍA LA UTILIZACIÓN DE ESA HERRAMIENTA, TODO PARECE INDICAR QUE EL MÉTODO TIENE GRANDES VENTAJAS.

PARA TERMINAR CON ESTE CAPÍTULO CREO PERTINENTE ACLARAR QUE AUN -- CUANDO NO CONOZCO UN PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO SIMILAR, ES MUY POSIBLE -- QUE EXISTA, DADO QUE PARA EL CÁLCULO DE CURVAS DE REMANSO HAY TANTOS MÉTODOS COMO AUTORES, DE SUERTE QUE ALEGAR DERECHOS DE AUTOR, RESULTA SUPER -- FLUO.

TABLA III 2 a

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
y	A	P	r	r^3	V	h_v	E	$\frac{1}{2}\Delta h_f$	$E + \frac{1}{2}\Delta h_f$	$E - \frac{1}{2}\Delta h_f$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Datos: $\phi, S_o, \Delta P, b, K.$

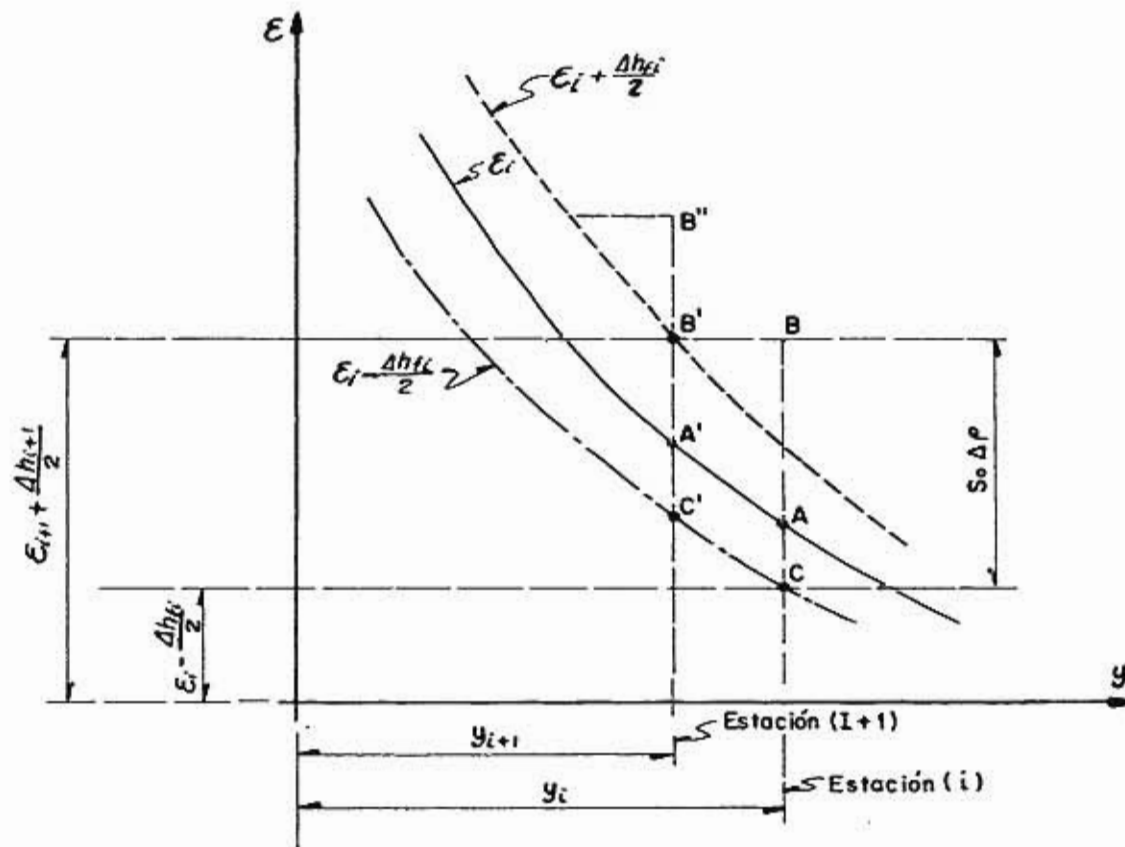


Fig. III 2 A

IV. ESCURRIMIENTO EN CURVAS DE CANALES CON REGIMEN CASI CRITICO

IV.1 OBSERVACIONES REALIZADAS

LOS ESTUDIOS EXPERIMENTALES SE LLEVARON A CABO EN TRES ETAPAS DE ENSAYOS, A SABER:

EN LA PRIMERA ETAPA, QUE SIRVIÓ MAS BIEN PARA VISUALIZAR LOS FENÓMENOS, SE CONSTRUYERON TRES CANALES, TODOS ELLOS CON PENDIENTE DE 0.007 Y CON UN TRAZO QUE CONSTABA DE UNA PRIMERA TANGENTE DE 106 CM DE LARGO, -- DESPUÉS UNA CURVA DE RADIO (HASTA EL CENTRO DE LA PLANTILLA) DE 256.5 CM Y UNA DEFLEXIÓN IZQUIERDA DE 60° . SE CONTINUABA EL CANAL CON UNA SEGUNDA TANGENTE DE 120 CM DE LARGO Y EN SEGUIDA CON UNA CURVA DE 143.5 CM DE RADIO Y 60° DE DEFLEXIÓN IZQUIERDA. A CONTINUACIÓN VENÍA UNA TERCERA TANGENTE DE 100 CM DE LARGO QUE SE CONTINUABA CON UNA CURVA DE RADIO 163.5 Y DEFLEXIÓN DERECHA DE 40° , LA CUAL ESTABA SEGUIDA DE UNA ÚLTIMA TANGENTE DE 100 CM DE LONGITUD.

EL PRIMERO DE ESTOS CANALES ERA DE SECCIÓN TRAPEZIAL CON 15 CM DE ANCHO DE PLANTILLA Y TALUDES 1.5:1; EL SEGUNDO, CON EL MISMO ANCHO DE PLANTILLA, ERA TAMBIÉN TRAPEZIAL; PERO CON TALUDES 0.75:1. EL ÚLTIMO CANAL SE HIZO CON 16 CM DE ANCHO DE PLANTILLA Y DE SECCIÓN RECTANGULAR. EN ESTOS TRES CANALES SE HICIERON CIRCULAR GASTOS DE 2, 4, 6 Y 8 LT/SEG EN CADA UNA DE LAS PRUEBAS. LA η ESTIMADA FUE DE 0.010.

LA SEGUNDA ETAPA CONSISTIÓ EN ENSAYAR CON GASTOS DE 30, 50 Y 70 LT/SEG EN DOS CANALES DE SECCIÓN RECTANGULAR CON 22 CM DE ANCHO DE PLANTILLA Y PENDIENTE DE 0.009. EL PRIMERO DE LOS CANALES DE ESTA SEGUNDA ETAPA TENÍA PRÁCTICAMENTE LA MISMA PLANTA QUE LOS CANALES DE LA PRIMERA. EL SEGUNDO CANAL SE INICIABA CON UNA TANGENTE DE 110, SEGUIDA DE UNA CURVA CON RADIO DE 93.5 CM Y DEFLEXIÓN IZQUIERDA DE $62^\circ 42'$; ESTA CURVA

SE LIGADA CON UNA SEGUNDA CURVA CON RADIO DE 323.0 CM Y DEFLEXIÓN DERECHA DE 50°; FINALMENTE EL CANAL TERMINADA CON UNA TANGENTE DE 150 CM DE LONGITUD (VER FIG IV.1.A.).

EN LA TERCERA ETAPA, CON FINES DE COMPROBACIÓN, SE HICIERON TRANSMITIR GASTOS DE 40 Y 60 LT/SEG EN CADA UNO DE LOS DOS CANALES DE LA SEGUNDA ETAPA; CADE MENCIONAR QUE LOS RESULTADOS DE ESTA ÚLTIMA ETAPA NO SE EMPLEARON EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL QUE SE HABLA MÁS ADELANTE.

LOS ENSAYOS HECHOS EN LA PRIMERA ETAPA PERMITIERON DETECTAR VARIAS IMPERFECCIONES QUE SE FUERON CORRIGIENDO SUCESIVAMENTE. ENTRE LAS MÁS NOTABLES PUEDEN SEÑALARSE QUE UNA ALIMENTACIÓN DEFECTUOSA Y MAL ENCAUZADA, PROVOCADA PERTURBACIONES CASI TAN GRAVES COMO LAS DE LAS CURVAS MISMAS Y LA SEGUNDA QUE NO SE TENÍA UNA IDEA EXACTA DE LA IMPORTANCIA DE LA RUGOSIDAD, PUES EL VALOR DE η FUE ESTIMADO, PARA UN CANAL CUIDADOSAMENTE ACADADO CON SUPERFICIE DE CEMENTO, COMO SE HICIERON TODOS LOS CANALES DE ENSAYOS.

PARA SUZSANAR ESTAS DIFICULTADES, EN LA SEGUNDA ETAPA SE DISEÑÓ UNA RAMPA ESPECIAL DE ACCESO PARA LA ENTRADA, CON OBJETO DE DISMINUIR LAS ALTERACIONES Y ADEMÁS SE DISPUSIERON VANOS DE ALINEAMIENTO ANTES DE LA ENTRADA, CON EL FIN DE LOGRAR LA MAYOR UNIFORMIDAD POSIBLE EN EL FLUJO.

ADEMÁS, Y CON EL FIN DE CONTROLAR EL EFECTO DE LA RUGOSIDAD, SE CONSTRUYÓ UN CANAL PILOTO RECTO, CON EL MISMO ACADADO Y PRÁCTICAMENTE LAS MISMAS DIMENSIONES TRANSVERSALES Y PENDIENTE DE LOS CANALES POR ENSAYAR. LAS PRUEBAS REALIZADAS EN ESTA ESTRUCTURA PILOTO PERMITEN ASEGURAR QUE UN VALOR DE η ENTRE 0.0095 Y 0.010 ESTARÁ MUY PRÓXIMO A LA REALIDAD.

EL OBJETIVO PRINCIPAL DE LOS ENSAYOS FUE LA MEDICIÓN DE LOS TIRANTES EN EL CENTRO DE LA PLANTILLA Y EN CADA UNA DE LAS DOS MÁRGENES. ESTA MEDICIÓN SE HIZO CON INTERVALOS REGULARES DE 20 CM A TODO LO LARGO DEL

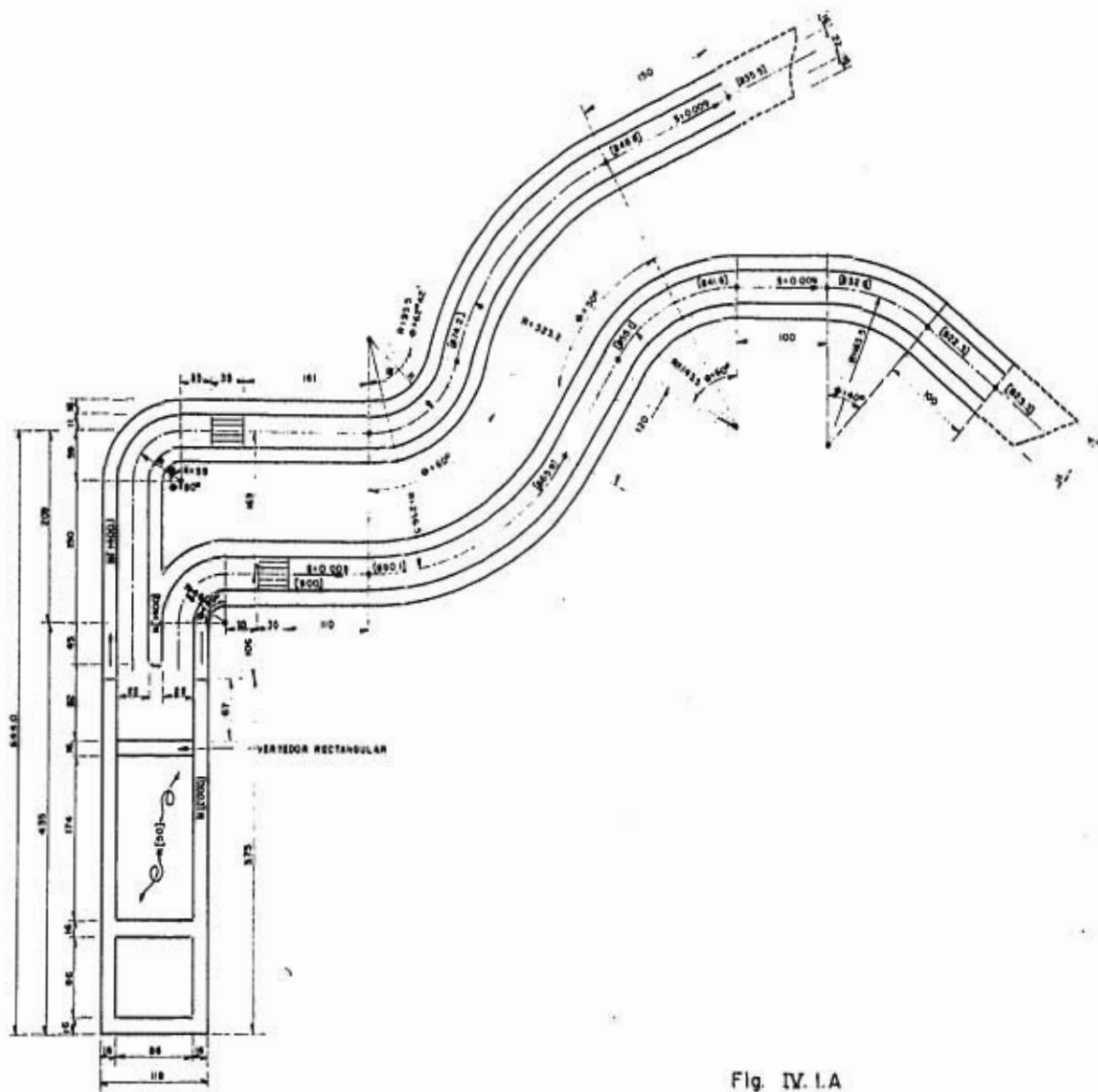


Fig. IV.1.A

CANAL. LA MEDICIÓN FUE EJECUTADA CON UNA ESCALA DE PUNTA (VER FIG IV.1.B) CUYO EJE HORIZONTAL SE APOYADA FIRMEAMENTE EN LOS DOS BORDES DEL CANAL, CUYA CORONA ERA HORIZONTAL.

SE PROCEDÍA EN CADA UNA DE LAS SECCIONES Y EN CADA UNO DE LOS PUNTOS DE MEDICIÓN A DETERMINAR EL NIVEL DE FONDO, PARA DESPUÉS, DESPLAZANDO LA PUNTA VERTICALMENTE HACIA ARRIBA, APRECIAR LA ELEVACIÓN DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA. CADE MENCIONAR QUE DESDE LUEGO TAL SUPERFICIE NO ERA ESTACIONARIA Y QUE ERA NECESARIO UN LAPSO SUFICIENTE DE OBSERVACIÓN PARA APRECIAR EL MÁX ALTO NIVEL DE LAS OSCILACIONES, DATO ESTE ÚLTIMO QUE ES EL QUE SIRVIÓ DE BASE PARA EL CÁMPUTO DE LOS TIRANTES. SI BIEN ES CIERTO QUE EL APARATO DE MEDICIÓN NO PARECE TODO LO EXACTO QUE FUERA DE DESEARSE, CONVIENE ACLARAR QUE VARIOS CICLOS DE ENSAYOS DE LA SEGUNDA ETAPA SE REPITIERON EMPLEANDO DIVERSOS OPERADORES, SIN QUE EN NINGUNO DE LOS CASOS ENSAYADOS SE PUDIERAN DETECTAR ERRORES DE ALGUNA CONSIDERACIÓN.

IV.2 DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO

SEGÚN LA TEORÍA PRESENTADA EN EL INCISO 11.2 Y CON REFERENCIA A LA FIG. IV.2.A., EL FLUJO A REGIMEN RÁPIDO EN LA CURVA, TRAERÍA CONSIGOLA FORMACIÓN DE DOS FRENTES DE ONDA AD Y BE, QUE SE ORIGINARÍAN PRECISAMENTE EN LOS PUNTOS A Y B. AGUAS ADAJO DEL FRENTE BE, DISMINUIRÍA SUCESIVAMENTE EL NÚMERO DE FROUDE, CON EL CONSIGUIENTE INCREMENTO DEL TIRANTE, EN TANTO QUE AGUAS ADAJO DEL FRENTE AD OCURRIRÍA LO CONTRARIO, DE SUERTE QUE EN EL PUNTO C, CRUCE DE LOS DOS FRENTES, LOCALIZADO HACIA EL CENTRO DEL CANAL, AL SUPERPONERSE LOS DOS EFECTOS OPUESTOS, TANTO EL NÚMERO DE FROUDE, COMO EL TIRANTE, DEJÍAN PERMANECER IGUALES A LOS DE LA SECCIÓN A B.

POR OTRA PARTE, LA MÁXIMA ELEVACIÓN DEL AGUA HADRÍA DE PRESEN--

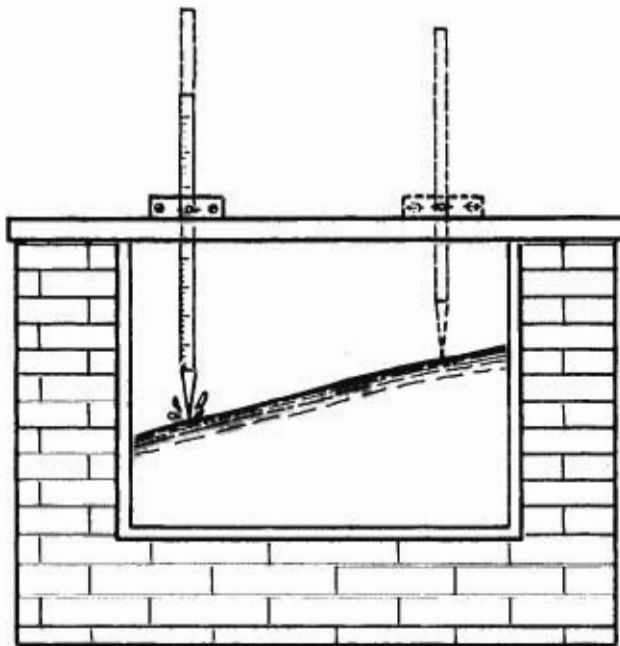


Fig. IV 1B

TARSE LA MÍNIMA DEPRESIÓN. ADEMÁS, AL REFLEJARSE LAS ONDAS AD Y BE, ---
LOS FENÓMENOS DESCRITOS SE REPETIRÍAN HACIA AGUAS ABAJO, MÁS O MENOS---
CÍCLICAMENTE.

AHORA BIEN, POR LO QUE HA PODIDO OBSERVARSE, EN EL CASO DEL RÉ-
GIMEN RÁPIDO, PRÓXIMO AL CRÍTICO, EL FRENTE DE ONDA BE ES EN REALIDAD -
CURVO, SI BIEN EN LA ZONA BEA SE OBSERVAN DEPRESIONES MÁS O MENOS PRO -
NUNCIADAS, EN TANTO QUE EN LA BED LOS INCREMENTOS DE NIVEL SON CONSIDE-
RABLES, LO QUE CONCUERDA RAZONABLEMENTE BIEN CON LA TEORÍA MENCIONADA;-
SIN EMBARGO, EN LA ZONA PRÓXIMA AL PUNTO C, EN EL CENTRO DEL CANAL, SE-
PRODUCE UN NOTORIO AUMENTO DEL TIRANTE DE TAL MANERA QUE EL NIVEL MEDIO
DEL AGUA EN LA PARTE CENTRAL DEL CANAL ASCIENDE BRUSCAMENTE ENTRE G Y C,
PARA DESCENDER DESPUÉS LENTAMENTE A LO LARGO DE LA CURVA, AUN CUANDO SE
PRESENTAN ONDULACIONES DEL NIVEL DISTRIBUIDAS MÁS O MENOS REGULARMENTE.
TRATÁNDOSE DE UN CANAL CON RÉGIMEN RÁPIDO, TAL INCREMENTO DE TIRANTE -
VIENE ACOMPAÑADO DE UNA DISMINUCIÓN DE LA ENERGÍA ESPECÍFICA, ESTO ES, -
TODO PARECE INDICAR QUE OCURRE UNA PÉRDIDA DE ENERGÍA, PRODUCIDA POR EL
CAMBIO DE DIRECCIÓN, PÉRDIDA QUE SE LOCALIZA INMEDIATAMENTE DESPUÉS DEL
INICIO DE LA CURVA (A UNA DISTANCIA APROXIMADA QUE OSCILA ENTRE 1 Y 1.5
VECES EL ANCHO DE PLANTILLA, PARA LOS CASOS ESTUDIADOS). POR LO DEMÁS, -
Y COMO CONFIRMACIÓN DE ESTA IDEA, A MEDIDA QUE EL FLUJO AVANZA A LO LAR
GO DE LA CURVA, AGUAS ABAJO DE ESA PRIMERA PROTUBERANCIA, EL DESCENSO -
GRADUAL (A PESAR DE LAS OSCILACIONES) HACE QUE EL TIRANTE MEDIO EN EL-
CENTRO DEL CANAL, SE ACERQUE SUCESIVAMENTE HACIA EL VALOR DEL TIRANTE -
QUE CORRESPONDE AL REGIMEN ESTABLECIDO; ADEMÁS, ESTE PROCESO DESCENDEN-
TE CONTINÚA HASTA LA CURVA SIGUIENTE CON UNA DISMINUCIÓN GRADUAL DE LAS
OSCILACIONES) EN DONDE NUEVAMENTE VUELVE A PRODUCIRSE UN ASCENSO EN LAS
CONDICIONES ARRIBA DESCRITAS. POR LO DEMÁS, EL PELIGRO DE UN RESALTO, -

AUN DE NATURALEZA ONDULOSA , COMO EL QUE SEÑALA KNAPP, A TAL GRADO QUE -
ALTERE LAS CONDICIONES AGUAS ARRIBA DE LA CURVA, NO PUDO OBSERVARSE EN -
NINGUNA DE LAS ESTRUCTURAS ENSAYADAS.

POR OTRA PARTE, COMO ANTES SE DIJO, EN EL INICIO MISMO DE LA CUR-
VA Y EN CORRESPONDENCIA A LA PROTUBERANCIA DE LA ZONA CENTRAL, APROXIMA-
DAMENTE EN LA MISMA SECCIÓN SE PRODUCE UNA FUERTE ELEVACIÓN DEL NIVEL EN
EL LADO EXTERIOR DE LA CURVA Y UNA DEPRESIÓN PRONUNCIADA EN EL LADO INTE
RIOR, LAS CUALES SE REPITEN DE MODO MÁS O MENOS REGULAR A LO LARGO DE LA
CURVA, SI BIEN CADA VEZ CON MENOR INTENSIDAD Y SIGUIENDO LOS MÁXIMOS Y -
MÍNIMOS UNA LEY DE DESCENSO SIMILAR A LA DE LAS PROTUBERANCIAS DEL CENTRO
DEL CANAL. TAMBIÉN OCURRE QUE ESTAS ONDULACIONES DEL NIVEL DISMINUYEN SEN
SIBLEMENTE EN LOS TRAMOS RECTOS AGUAS ABAJO DE CADA CURVA Y NO PARECEN TE
NER UNA INFLUENCIA DEFINITIVA EN LA CURVA SIGUIENTE, A MENOS QUE ÉSTA SE-
HALLE MUY PRÓXIMA, EN CUYO CASO, POR LO MENOS AL PRINCIPIO, DEJAN SENTIR-
PARCIALMENTE SU EFECTO. DE ESTA MANERA, DETERMINADOS EL PRIMER MÁXIMO Y -
EL PRIMER MÍNIMO EN UNA CURVA, SE PUEDE TRAZAR EN FORMA APROXIMADA UNA --
ENVOLVENTE DE LAS RESTANTES VALLES Y CRESTAS DE LAS ONDULACIONES. CABE --
HACER MENCIÓN DE QUE, POR EL MOMENTO NO SE HA PODIDO DETERMINAR UNA FORMA
PARA PRECISAR EL NÚMERO DE ONDULACIONES EN LAS CURVAS, EN LA ZONA - -
AGUAS ABAJO DE ELLAS, NI TAMPOCO SU UBICACIÓN EXACTA.

POR LO DEMÁS, Y SEGÚN SE HA DICHO, PARA UNA SECCIÓN TRANSVERSAL-
EN LA ZONA DE LA PRIMERA ONDULACIÓN, LA SUPERFICIE DEL LÍQUIDO LEJOS DE-
SER RECTA, TIENE UNA MARCADA CURVATURA, QUE IMPLICA QUE EL NIVEL MEDIO EN-
EL CENTRO DEL CANAL, ESTÉ MARCADAMENTE MÁS PRÓXIMO AL NIVEL DEL LADO - -
EXTERIOR QUE AL DEL INTERIOR, ESTO ES, TANTO EL CENTRO COMO EL LADO EX -
TERNO TIENEN NIVELES SUPERIORES AL NIVEL MEDIO A LA ENTRADA DE LA CURVA,
EN TANTO QUE EL NIVEL DEL LÍQUIDO EN EL LADO INTERNO ES NOTORIAMENTE IN
FERIDR (VER FIG IV 2.B).

EN TODOS LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LAS TRES ETAPAS MENCIONADAS, PUEDE AFIRMARSE QUE, CON LIGERAS VARIANTES, LOS FENÓMENOS OBSERVADOS -- FUERON PRÁCTICAMENTE LOS QUE ACABAN DE DESCRIBIRSE, DE TAL MANERA QUE -- TODO PARECE INDICAR QUE LA PRIMERA PERTURBACIÓN CREADA EN EL ESCURRI -- MIENTO, POR LA PRESENCIA DE UN CAMBIO DE DIRECCIÓN, CAUSA UNA PÉRDIDA -- DE ENERGÍA QUE DETERMINA EL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO AGUAS ABAJO. PRECI -- SAMENTE EL MÉTODO QUE SE PROPONE EN EL SIGUIENTE CAPÍTULO ESTÁ BASADO -- EN ESTE HECHO Y A RESERVA DE EXPLICARLO ALLÁ CON MÁS DETALLE, SE PUEDE -- DECIR QUE CONSISTE EN DETERMINAR LAS CURVAS DE REMANSO QUE NACEN EN LA -- ZONA INICIAL DE CADA VUELTA DEL CANAL, CURVAS QUE CALCULADAS HASTA LA -- VUELTA SIGUIENTE, INDICARÁN LAS CARACTERÍSTICAS DEL ESCURRIMIENTO A LO -- LARGO DE TODO EL CANAL. ES PERTINENTE ACLARAR, ADEMÁS, QUE ESTA IDEA CON -- CUERDA RAZONABLEMENTE BIEN CON LAS IDEAS DE BRETTING (HYDRAULIK STATIO -- NÆRE STROÛMNINGER; COPENHAGUE 1960, PAG 377) AL RESPECTO, QUIEN HA -- ENFRENTADO PROBLEMAS PARECIDOS A LOS DE ESTE TRABAJO EN LOS CANALES -- TRANSPORTADORES DE MADERA QUE SE USAN EN LOS PAÍSES NÓRDICOS.

IV.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES

DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRIMERA ETAPA DE ENSAYOS, DES -- PUÉS DE VARIOS INTENTOS DE CORRELACIONAR LOS DIFERENTES PARÁMETROS QUE -- PARECÍAN SIGNIFICATIVOS, SE LLEGÓ A LA CONCLUSIÓN DE QUE TANTO EL NÚME -- RO DE FROUDE AL PRINCIPIO DE CADA CURVA, COMO LA RELACIÓN, b/R , ANCHO -- MEDIO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL ENTRE RADIO HASTA EL EJE DE LA CURVA, -- DETERMINABAN EL ASCENSO DEL LÍQUIDO EN LA PRIMERA PROTUBERANCIA; EN -- CAMBIO, NI LA INCLINACIÓN DE LOS TALUDES, NI EL ÁNGULO DE DEFLEXIÓN, PA -- RECERÍAN TENER INFLUENCIA EN ESTE FENÓMENO.

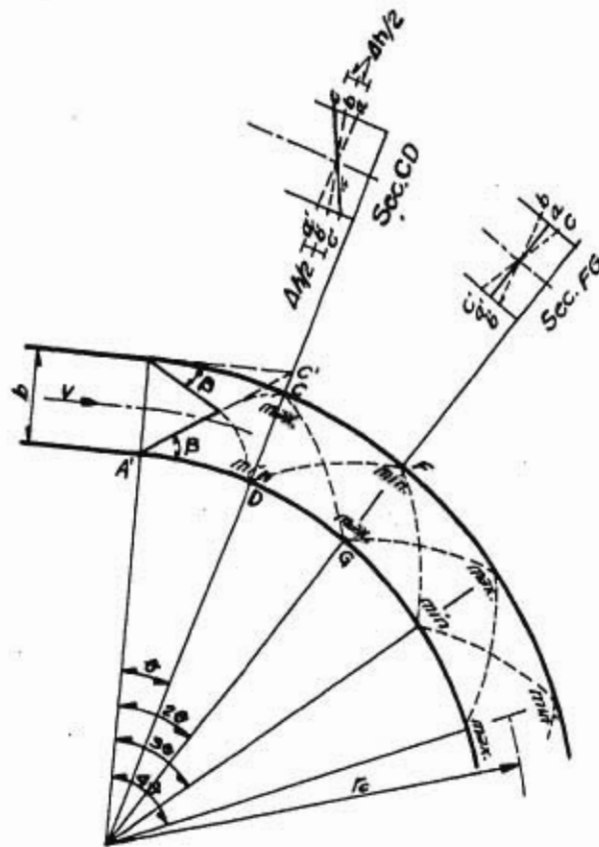


Fig. II 2 D

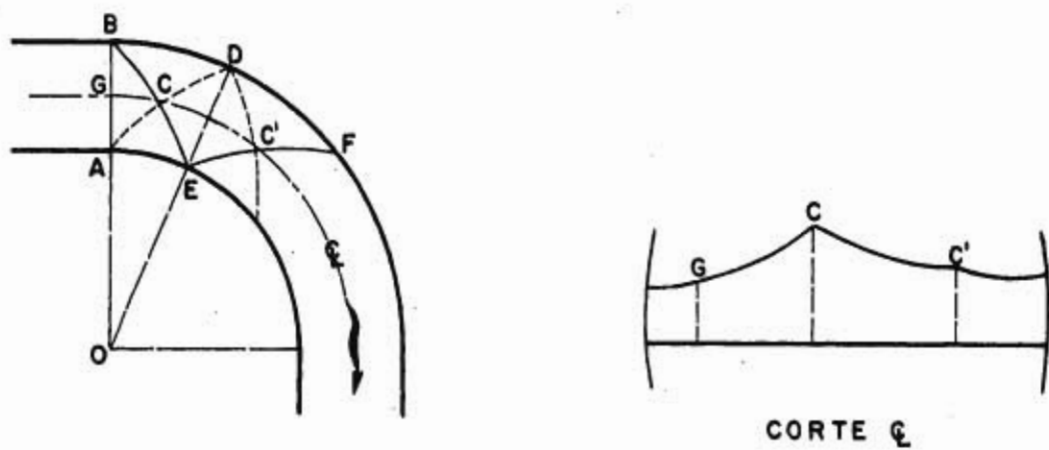


Fig. IV 2 A

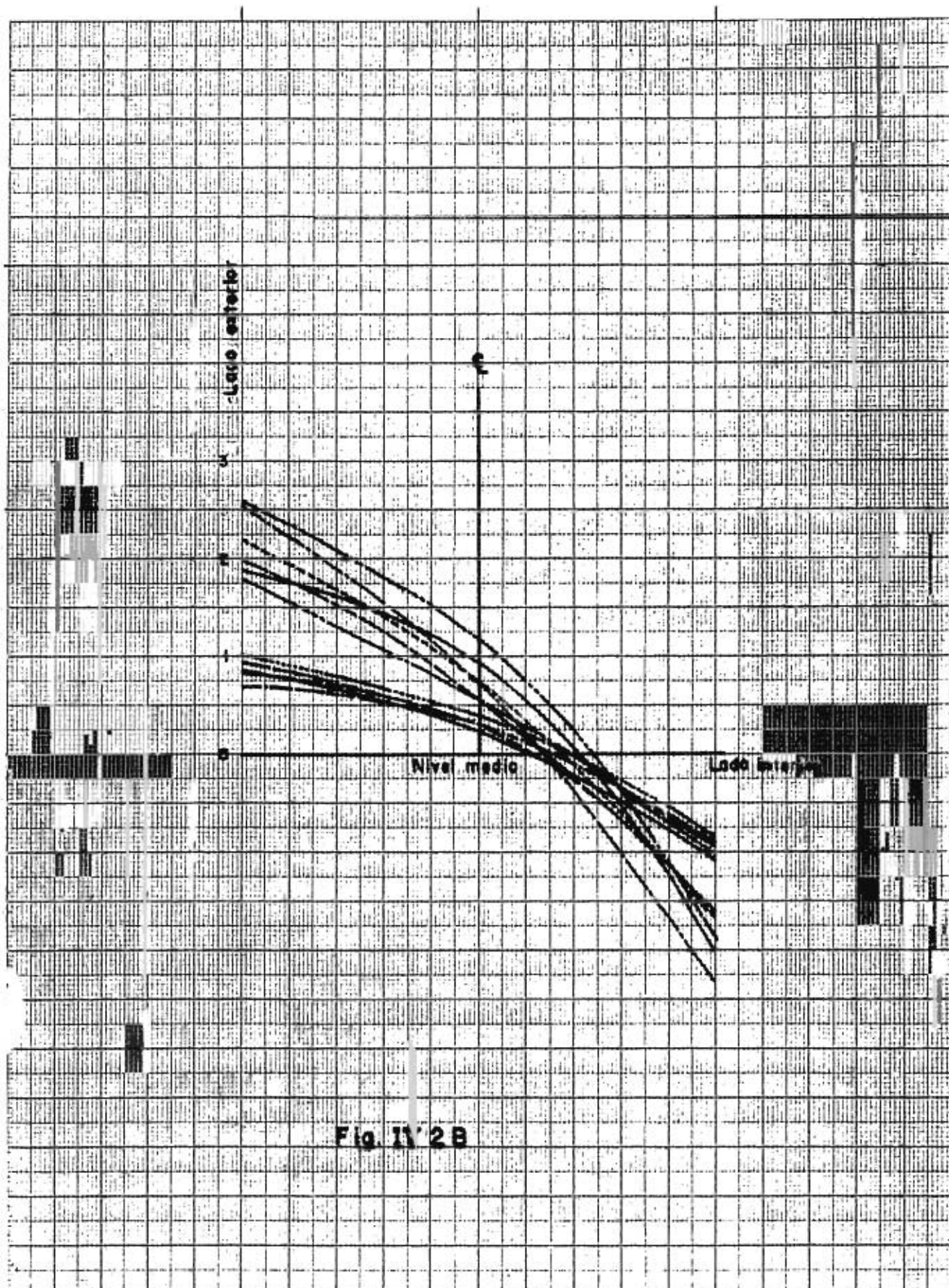


Fig. IV 2B

DE ACUERDO CON LAS IDEAS PRESENTADAS AL FINAL DEL INCISO ANTERIOR, SE PROCEDIÓ EN PRIMER TÉRMINO, A TRATAR DE ESTABLECER CORRELACIONES ENTRE LA RELACIÓN DE ASCENSO $\Delta y_c / y_{EN}^*$ Y LOS PARÁMETROS ANTES MENCIONADOS. -- OCURRIÓ ENTONCES QUE DADA LA PEQUEÑA MAGNITUD DE y_{CH} EN LA PRIMERA ETAPA Y MÁS AÚN, DE Δy_c Y TENIENDO EN CUENTA LAS ALTERACIONES CAUSADAS POR LA ALIMENTACIÓN DEFECTUOSA, LAS CORRELACIONES OBTENIDAS MOSTRARON QUE SI BIEN LA INTERDEPENDENCIA MENCIONADA ERA INNEGABLE, NO SE PODÍA TENER SUFICIENTE CONFIANZA EN LOS RESULTADOS.

COMO VARIOS AUTORES INSISTEN EN QUE LA SOBREELEVACIÓN EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE UNA CURVA A REGIMEN RÁPIDO SE PUEDE CALCULAR CON LA FÓRMULA $\Delta z = \frac{bv^2}{Rg}$ (IV.3.1.) (VER POR EJEMPLO КИСЕЛЕВ, СПРАВОЧНИК ПО ГИДРАВЛИЧЕСКИМ РАСЧЕТАМ, pag 216) Y TENIENDO EN CUENTA LA AFIRMACIÓN DE IPPEN, MENCIONADA AL FINAL DEL INCISO 11.2, CON LOS RESULTADOS DEL SEGUNDO CICLO DE ENSAYOS SE PENSÓ, EN PRIMER TÉRMINO, EN RELACIONAR EL ASCENSO RELATIVO EN EL LADO EXTERIOR DE LA CURVA $\Delta y_{ex} / y_{EN}$, CON LOS PARÁMETROS MENCIONADOS; SE OBTUVO ASÍ LA EXPRESIÓN:

$$\Delta y_{ex} = K_0 \frac{bv^2}{Rg} \quad (IV.3.2)$$

QUE FÁCILMENTE PUEDE TRANSFORMARSE EN :

$$\frac{\Delta y_{ex}}{y_{EN}} = K_0 \frac{b}{R} Fr^2 \quad (IV.3.3.)$$

* y_{EN} ES EL TIRANTE MEDIO AL PRINCIPIO DE LA CURVA Y Δy_c EL ASCENSO DE NIVEL EN EL EJE DEL CANAL, EN LA ZONA DE LA PRIMERA PROTUBERANCIA.

POR OTRA PARTE, Y POR UN RAZONAMIENTO ANÁLOGO, LA FÓRMULA (IV.3.1) SE PUEDE ESCRIBIR:

$$\frac{\Delta z}{b} = K_1 \frac{y_{en} F_r^2}{R} \quad (IV.3.4)$$

LAS CORRELACIONES ESTABLECIDAS ENTRE LOS PARÁMETROS ADIMENSIONALES MENCIONADOS PERMITIERON, COMO SE VERÁ EN SEGUIDA, LA VALUACIÓN DE LAS CONSTANTES K_0 Y K_1 . POR OTRA PARTE, Y SEGÚN SE DIJO AL REFERIRSE A LA FIG. (IV.2.B.), LA FORMA DE LA SUPERFICIE LIBRE, EN LA SECCIÓN DE LA PRIMERA PROTUBERANCIA, TIENE UNA MARCADA CURVATURA. AUN CUANDO POR EL MOMENTO NO PUEDAN DECIRSE CON PRECISIÓN LAS CAUSAS QUE DETERMINAN LA FORMA DE ESA CURVA, SÍ PUEDE AFIRMARSE QUE DESPUÉS DE VARIOS ENSAYOS, SE VIÓ QUE UNA EXPRESIÓN DE LA FORMA $a = \frac{\Delta z}{\sqrt{B}} b^{\frac{1}{2}}$ (VER FIG IV.3.A.) CORRESPONDIÓ APROXIMADAMENTE A LA CURVA EN CUESTIÓN, DE TAL MANERA QUE, DE ACUERDO CON LA GEOMETRÍA EXPRESADA EN ESA FIGURA, SE PUDO CALCULAR LA RELACIÓN DE ASCENSO EN EL CENTRO DEL CANAL, EN LA ZONA DE LA PRIMERA PROTUBERANCIA. LA FÓRMULA CORRESPONDIENTE, QUE ES DE LA FORMA

$$\frac{\Delta y_c}{y_{en}} = K_2 \frac{b F_r^2}{R} \quad (IV.3.5)$$

FUE CHECADA POSTERIORMENTE CON RESULTADOS DASTANTE SATISFACTORIOS. DE ESTA MANERA FUE POSIBLE EVITAR LAS DIFICULTADES SEÑALADAS, AL TRATAR DE HACER LAS CORRELACIONES CON LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS HECHOS EN LA PRIMERA ETAPA.

SE HA AÑADIDO UN PRIMER APÉNDICE A ESTE ARTÍCULO CON EL DOBLE OBJETO DE PRECISAR LOS CONCEPTOS UTILIZADOS AL HACER LA INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS Y DE PRESENTAR UN RESUMEN DE LA TEORÍA EMPLEADA, AL LECTOR NO FAMILIARIZADO CON ELLA.

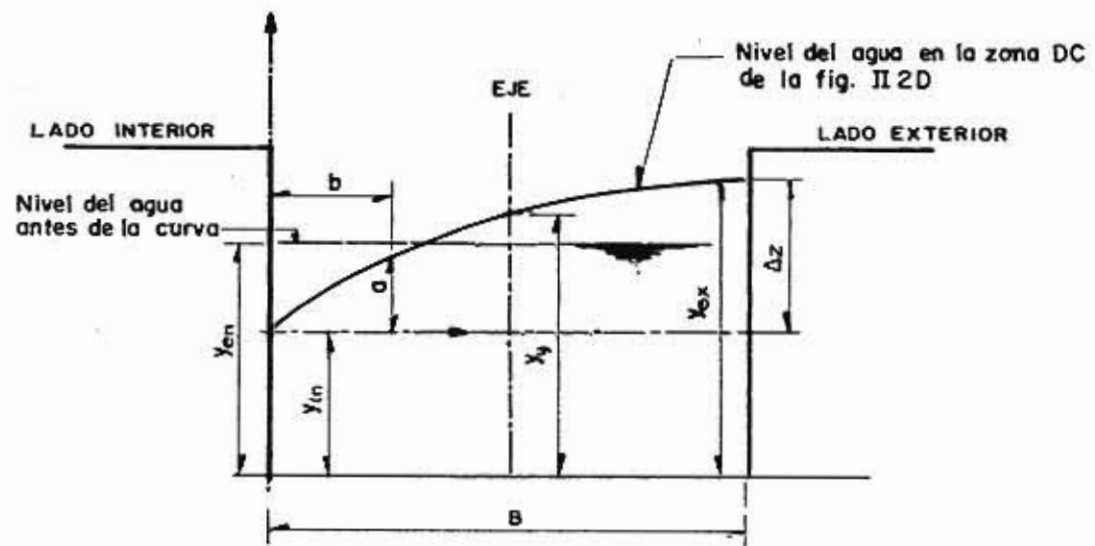


Fig. IV 3A

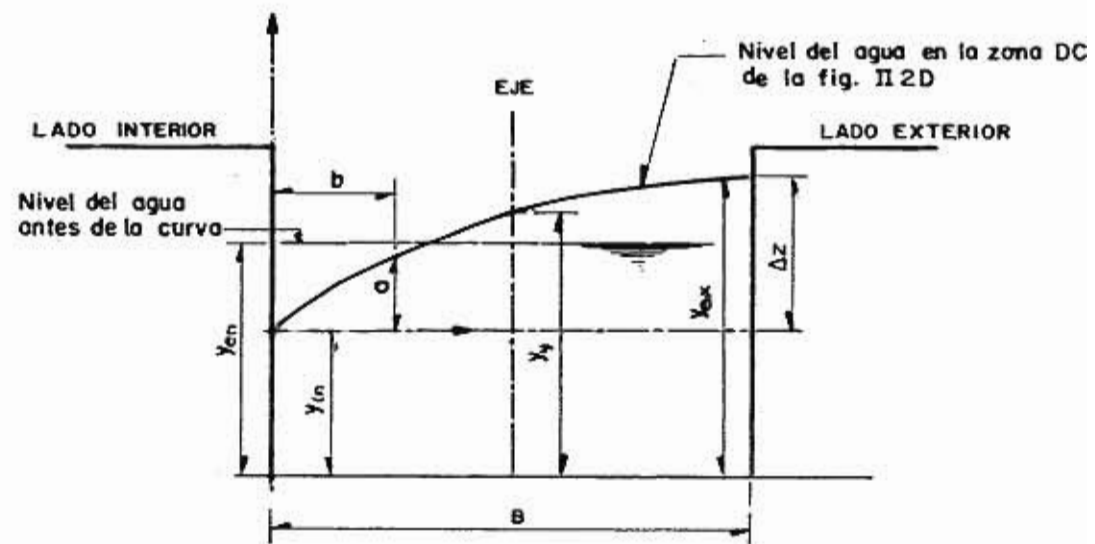


Fig. IV 3A

EN LA TABLA IV.3.A SE CONSIGNAN LOS DATOS OBTENIDOS EN EL SEGUNDO CICLO DE ENSAYOS; LOS TIRANTES EN EL CENTRO DEL CANAL, AL INICIARSE LA CURVA, ASÍ COMO LOS TIRANTES EN LA ZONA DE LA PRIMERA PROTUDERANCIA SON - LOS RESULTADOS DIRECTOS DE LA MEDICIÓN. LA VELOCIDAD MEDIA CONSIGNADA Y - EL NÚMERO DE FROUDE CORRESPONDIENTE, SE CALCULARON A PARTIR DE y_{en}^* , VALOR QUE SE USÓ TAMBIÉN PARA EL CÁLCULO DEL PARÁMETRO $F_r^2 y/R$

EN LA TABLA IV.3. b SE HACE EL CÁLCULO PARA OBTENER LA RECTA DE REGRESIÓN ENTRE $\Delta y_{ex}/y_{en}$ Y $F_r^2 b/R$; DE LOS DATOS ALLÍ CONSIGNADOS, SE DEDUCE QUE DICHA RECTA TIENE POR FÓRMULA

$$\frac{\Delta y_{ex}}{y_{en}} = 0.009 + 0.8065 F_r^2 b/R \quad (IV.3.6)$$

DE LA TABLA DE FISHER (APÉNDICE I) SE CONCLUYE QUE EL COEFICIENTE DE REGRESIÓN PRESENTA UNA AMPLITUD MÍNIMA (ENTRE 0.95 Y 0.999) PARA - LOS QUINCE ENSAYOS REALIZADOS, POR LO CUAL PUEDE DECIRSE QUE EL NIVEL DE SIGNIFICANCIA ES MUY ELEVADO Y QUE, DADO QUE EL ERROR MEDIO CUADRÁTICO ES $U = 0.07856/\sqrt{15} = 0.0175$, PARA EL 90% DE LOS CASOS SE PUEDE ESTABLECER LA RELACIÓN (IV.3.6) EN LA FORMA :

$$\frac{\Delta y_{ex}}{y_{en}} = 0.009 + 0.8065 F_r^2 b/R \pm 0.0287 \quad (IV.3.7)$$

ESTÁ ÚLTIMA FÓRMULA MUESTRA QUE PARA VALORES DE F_r MUY PRÓXIMOS A UNO - O PARA RADIOS MUY GRANDES, AUMENTA LA PROBABILIDAD DE COMETER UN ERROR - MÁS O MENOS IMPORTANTE EN LA VALUACIÓN DE $\Delta y_{ex} / y_{en}$

EN LA TABLA IV.3.C. SE PRESENTA EL CÁLCULO PARA OBTENER LA RECTA DE REGRESIÓN ENTRE $\Delta z/b$ Y $F_r^2 y/R$ LA CUAL RESULTÓ SER :

* SE DESIGNA CON y_{en} EL TIRANTE MEDIO EN LA SECCIÓN CORRESPONDIENTE AL PT DE LA CURVA

$$\frac{\Delta z}{b} = 0.019 + 1.438 F_r^2 y/R \quad (IV.3.8)$$

EN FORMA ANÁLOGA EL CASO ANTERIOR, EL NIVEL DE SIGNIFICANCIA ES MUY ALTO, SEGÚN EL CÁLCULO DE FISHER. EL ERROR MEDIO CUADRÁTICO ES EN ESTE CASO DE $U = 0.05955 \sqrt{1 - 0.09608^2} = 0.0186$, POR LO CUAL, PARA EL 90% DE LOS CASOS (IV.3.8) PUEDE ESCRIBIRSE

$$\frac{\Delta z}{b} = 0.019 + 1.438 F_r^2 y_{en}/R \pm 0.0305 \quad (IV.3.9)$$

FINALMENTE, DE ACUERDO CON LA GEOMETRÍA DE LA FIG. IV.3.A. Y TENIENDO EN CUENTA LOS VALORES DE CALCULADOS PARA $\Delta y_{ex}/y$ Y PARA $\Delta z/b$, SE HA CALCULADO UNA EXPRESIÓN APROXIMADA PARA $\Delta y_m/y$, LA CUAL RESULTÓ SER

$$\Delta y_m/y_{en} = 0.375 F_r^2 b/R \quad (IV.3.10)$$

LA CUAL PERMITIÓ FORMAR LA TABLA IV.3.D, EN DONDE PUEDE COMPARARSE LOS VALORES DE y CALCULADOS CON ESTA FÓRMULA CON LOS MEDIDOS DIRECTAMENTE EN LOS MODELOS.

DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ESTOS DATOS SE PUEDE CONCLUIR QUE, CON AYUDA DE LAS FÓRMULAS (IV.3.6), (IV.3.8) Y (IV.3.10) ES POSIBLE DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO EN LAS CURVAS, CON UNA PRECISIÓN RAZONABLE.

V. PROPOSICION DE UN METODO GENERAL PARA EL CALCULO DE CANALES CON REGIMEN CASI CRÍTICO Y CURVAS NUMEROSAS.

DE ACUERDO CON LAS IDEAS EXPRESADAS EN LOS CAPÍTULOS PRECEDENTES, EL CRITERIO DE CÁLCULO PARA UN CANAL COMO EL QUE NOS OCUPA SERÍA EL SIGUIENTE:

TABLA IV 3.A

ENSAYO	R	Q	y_{ca}	y_{ca}	y_m	T	F_v^2	$F_v^2 \frac{b}{R}$	$F_v^2 \frac{y_{ca}}{R}$	$\frac{\Delta y_{ca}}{y_{ca}}$	$\frac{\Delta z}{z}$	
1	93.5	70	20.4	17.2	25.6	21.9	1.559	1.215	0.286	0.265	0.382	0.255
2	323.2	70	23.0	19.0 *	24.5	22.0 *	1.38	0.85 *	0.058	0.214		0.065
3	93.5	50	16.2	13.2	20.4	18.2	1.401	1.235	0.290	0.214	0.327	0.259
4	323.2	50	16.9	14.2 *	18.3	17.4	1.343	1.088	0.074			0.083
5	93.5	30	11.3	8.7	13.3	12.1	1.204	1.086	0.255	0.131	0.232	0.221
6	323.2	30	11.2	11.1	12.0	11.5	1.214	1.341	0.092	0.047	0.037	0.071
7	256.5	70	19.8	18.2	21.8	20.6	1.606	1.328	0.114	0.103	0.164	0.101
8	143.5	70	19.4	16.5	23.3	20.6	1.640	1.420	0.216	0.192	0.309	0.200
9	163.5	70	19.5	17.0	23.0	20.9	1.631	1.391	0.188	0.166	0.305	0.180
10	256.5	50	15.7	14.3	17.2	16.2	1.446	1.353	0.117	0.083	0.132	0.096
11	143.5	50	15.0	12.6	17.7	15.9	1.513	1.555	0.238	0.162	0.232	0.180
12	163.5	50	15.0	12.3	17.5	15.4	1.513	1.555	0.210	0.142	0.237	0.167
13	256.5	30	11.3	10.1	12.3	11.6	1.204	1.307	0.112	0.058	0.100	0.088
14	143.5	30	10.3	8.3	12.3	11.3	1.320	1.725	0.264	0.124	0.182	0.194
15	163.5	30	10.2	9.0	12.2	10.5 *	1.333	1.775	0.240	0.111	0.146	0.196

LOS RADIOS Y LOS TIRANTES ESTÁN DADOS EN CENTÍMETROS; LOS GASTOS TOTALES EN LT/SEG-

LOS VALORES MARCADOS CON EL SIGNO (*) TUVIERON VARIACIONES MAS O MENOS PRONUNCIADAS

(± 0.3 CM) AL SER MEDIDOS EN DOS OCASIONES DIFERENTES.

TABLA IV 3.B

Obs	X_1	X_2	Δx_1	Δx_2	Δx_1^2	Δx_2^2	$\Delta x_1 \Delta x_2$
1	.255	.286	+.0979	+.1024	.009584	.010486	.010025
2	.065	.058	-.0921	-.1256	.008482	.015775	.011568
3	.259	.290	+.1019	+.1064	.010384	.011321	.010842
4	.083	.074	-.0741	-.1096	.005491	.012012	.008121
5	.221	.255	+.0639	+.0714	.004083	.005098	.004562
6	.071	.092	-.0861	-.0916	.007413	.003391	.007887
7	.101	.114	-.0561	-.0696	.003147	.004844	.003905
8	.200	.216	+.0429	+.0324	.001840	.001050	.001390
9	.180	.188	+.0229	+.0044	.000524	.000019	.000101
10	.096	.117	-.0611	-.0666	.003737	.004436	.004069
11	.120	.238	+.0229	+.0544	.000524	.002959	.001246
12	.167	.210	+.0099	+.0264	.000098	.000697	.000261
13	.088	.112	-.0691	-.0716	.004775	.005127	.004948
14	.194	.264	+.0369	+.0304	.001362	.006464	.002967
15	.196	.240	+.0389	+.0564	.001513	.003181	.002194
Σ	2.356	2.754	-.0005	0	.062957	.091860	.074086
prom	.1571	.1836					

DESVIACIÓN ESTANDAR

$$s_1 = \sqrt{\frac{.062957}{15}} = \sqrt{.004197} = 0.064785$$

$$s_2 = \sqrt{\frac{.091860}{15}} = \sqrt{.006124} = 0.078256$$

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN TOTAL

$$r_{12} = \frac{.074086}{\sqrt{.062957 \times .091860}} = \frac{.074086}{\sqrt{.00578323}} = \frac{.074086}{.076048} = 0.9742$$

TABLA IV 3.c

Obs.	$\Delta z/b$ x_1	$F_{0.25}$ x_2	Δx_1	Δx_2	Δx_1^2	Δx_2^2	$\Delta x_1 \Delta x_2$
1	.382	.265	+.1639	+.1267	.026863	.016053	+.020766
3	.327	.214	+.1039	+.0757	.011859	.005730	+.008244
5	.232	.131	+.0139	-.0073	.000193	.000053	-.0001015
6	.007	.047	-.1311	-.0913	.017187	.008336	+.011969
7	.164	.103	-.0541	-.0353	.002927	.001246	+.001910
8	.309	.192	+.0909	+.0537	.008263	.002884	+.004881
9	.305	.166	+.0869	+.0277	.007552	.000767	+.002407
10	.132	.083	-.0861	-.0553	.007413	.003058	+.004761
11	.232	.162	+.0139	+.0237	.000193	.000562	+.000329
12	.237	.142	+.0189	+.0037	.000357	.000014	+.000070
13	.100	.053	-.1181	-.0803	.013948	.006443	+.009433
14	.182	.124	-.0361	-.0143	.001303	.000204	+.000516
15	.146	.111	-.0721	-.0273	.005198	.000745	+.001968
13	Σ 2.835 P .2181	1.798 .1383	-.0003	+.0001	.103256	.046100	.066289

DESVIACIÓN ESTANDAR $S_1 = \sqrt{\frac{.103256}{13}} = \sqrt{.007942} = .089118$

$S_2 = \sqrt{\frac{.0461}{13}} = \sqrt{.003546} = .059548$

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN

$$r_{12} = \frac{.066289}{\sqrt{.103256} \times .046100} = \frac{.066289}{\sqrt{.00476010}} = \frac{.066289}{.068994} = 0.9608$$

TABLA IV D
 VALORES DEL T. ANTE Y_M

ENSAYO	CALCULADO	MEDIDO
1	2.5	21.9
2	23.4	-
3	18.0	18.2
4	17.4	17.4
5	12.3	12.1
6	11.6	11.5
7	20.6	20.6
8	21.0	20.6
9	20.9	20.9
10	16.4	16.2
11	16.3	15.9
12	16.1	15.4
13	11.8	11.6
14	11.3	11.3
15	11.1	10.3

(COMPÁRESE ESTOS VALORES CON LOS DE LA TABLA
 IV.3.A)

a).- FIJADAS LAS CARACTERÍSTICAS Q , b , S_0 Y n DEL CANAL PRISMÁTICO, SE PROCEDERÍA A ELABORAR LA TABLA III.2.A, CON CUYOS DATOS SE TRAZARÍAN LAS GRÁFICAS DE LA FIG. III.2.A, SEGÚN LOS LINEAMIENTOS PRESENTADOS EN EL INCISO III.2.

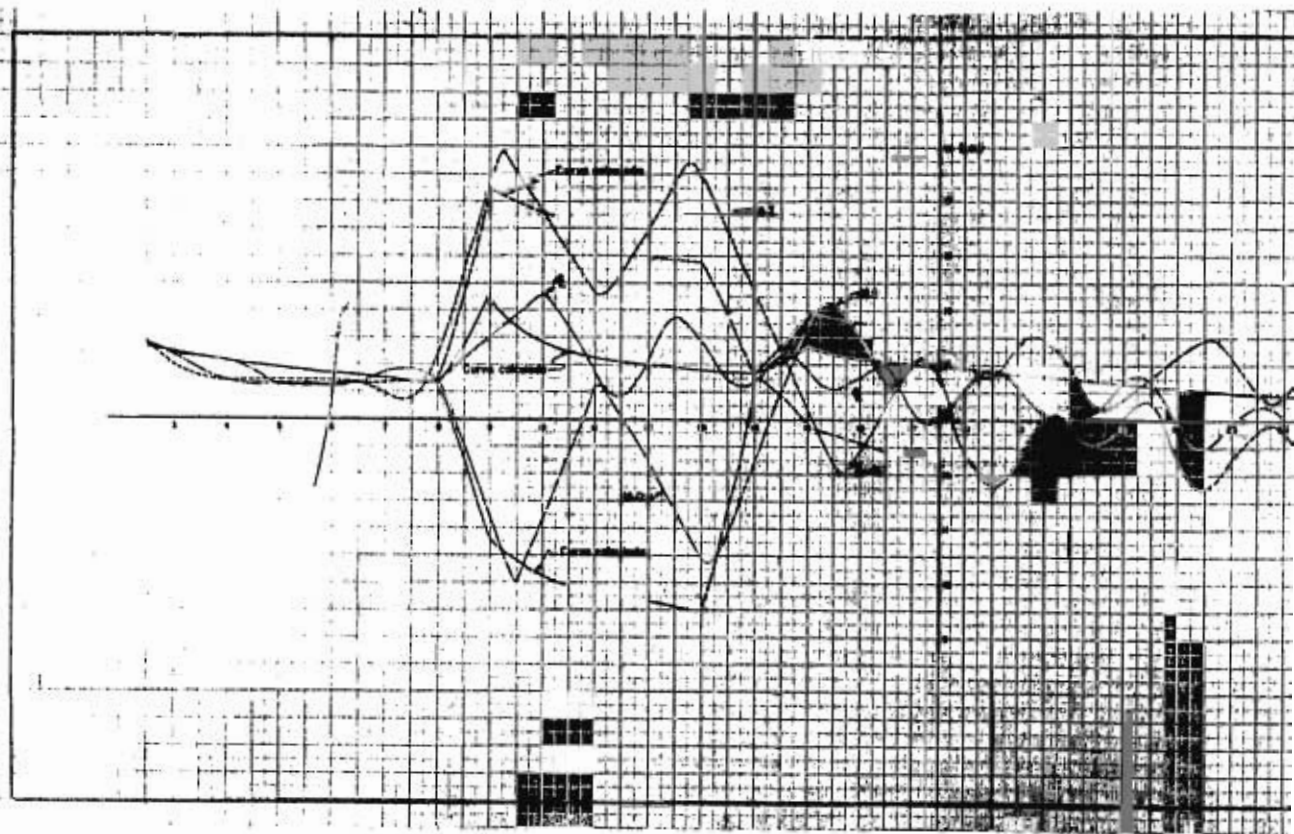
d).- DE ACUERDO CON LA GEOMETRÍA EN PLANTA DEL CANAL, SE APLICARÍA EL MÉTODO DESCRITO EN EL INCISO III.2, DESDE EL PRINCIPIO DEL CANAL, HASTA EL INICIO DE LA PRIMERA VUELTA, PARA OBTENER LA CURVA DE REMANSO HASTA ESE LUGAR.

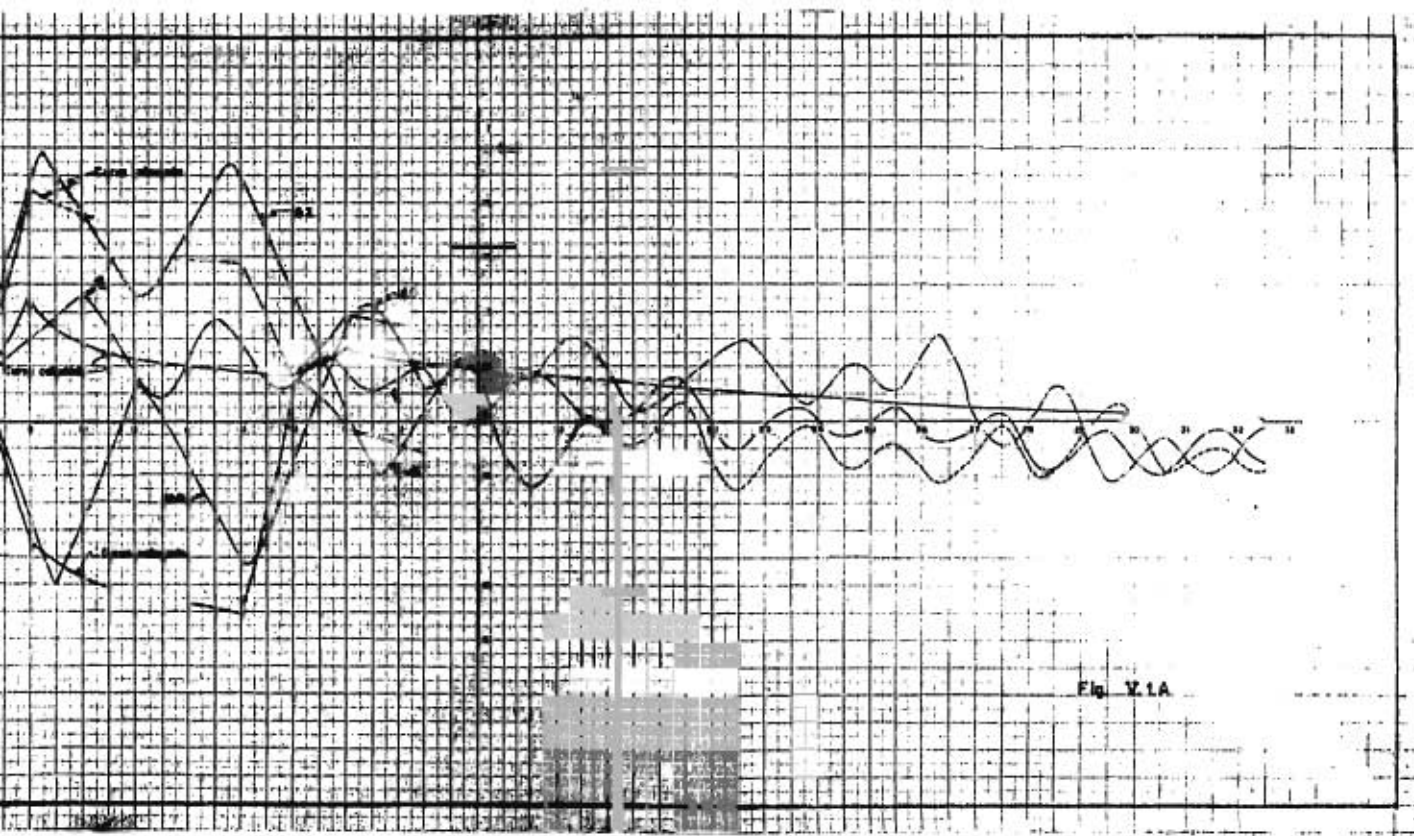
c).- CON LOS DATOS DEL ESCURRIMIENTO OBTENIDOS PARA EL PRINCIPIO DE LA PRIMERA VUELTA, SE CALCULARÍAN, CON AYUDA DE LAS FÓRMULAS IV.3.6 Y IV.3.8, LA MÁXIMA ELEVACIÓN Y LA MÍNIMA DEPRESIÓN EN LA CURVA Y CON AYUDA DE IV.3.10, SE DETERMINARÍA LA SOBREELEVACIÓN MEDIA PRODUCIDA EN EL CENTRO DEL CANAL, POR LA PRESENCIA DE ESA PRIMERA DEFLEXIÓN.

d).- LA MÁXIMA SOBREELEVACIÓN Y LA MÍNIMA DEPRESIÓN DARÍAN EL CRITERIO PARA DETERMINAR LA ENVOLVENTE DE LOS VALLES Y CRESTAS DE LAS ONDULACIONES DE NIVEL EN LA CURVA.

-CONOCIDA LA SOBREELEVACIÓN MEDIA EN EL INICIO DE LA CURVA, SE APLICARÍA NUEVAMENTE EL MÉTODO DEL INCISO III.2 A TODO LO LARGO DE LA PRIMERA CURVA Y DE LA TANGENTE AGUAS ABAJO DE ELLA, DETERMINANDO ASÍ LA CURVA DE REMANSO HASTA LA SIGUIENTE VUELTA, EN DONDE NUEVAMENTE SE REPETIRÍA EL CÁLCULO, SEGÚN EL PASO C).

EN LA TABLA V. 2 SE INCLUYE UN EJEMPLO NÚMÉRICO SELECCIONADO AL AZAR, CON UN GASTO DE 40 LT/SEG EN UN CANAL DE SECCIÓN RECTANGULAR, DE 22 CM DE ANCHO DE PLANTILLA CON PENDIENTE DE 0.009 Y UNA n DE 0.0010. EN LA FIG V. 1B SE HAN ELABORADO LAS GRÁFICAS E_i vs y , Y $E_i \pm \frac{1}{2} h_f$ vs y DE ACUERDO CON LOS DATOS DE LA TABLA V. 2. LOS TIRANTES CALCULADOS POR EL





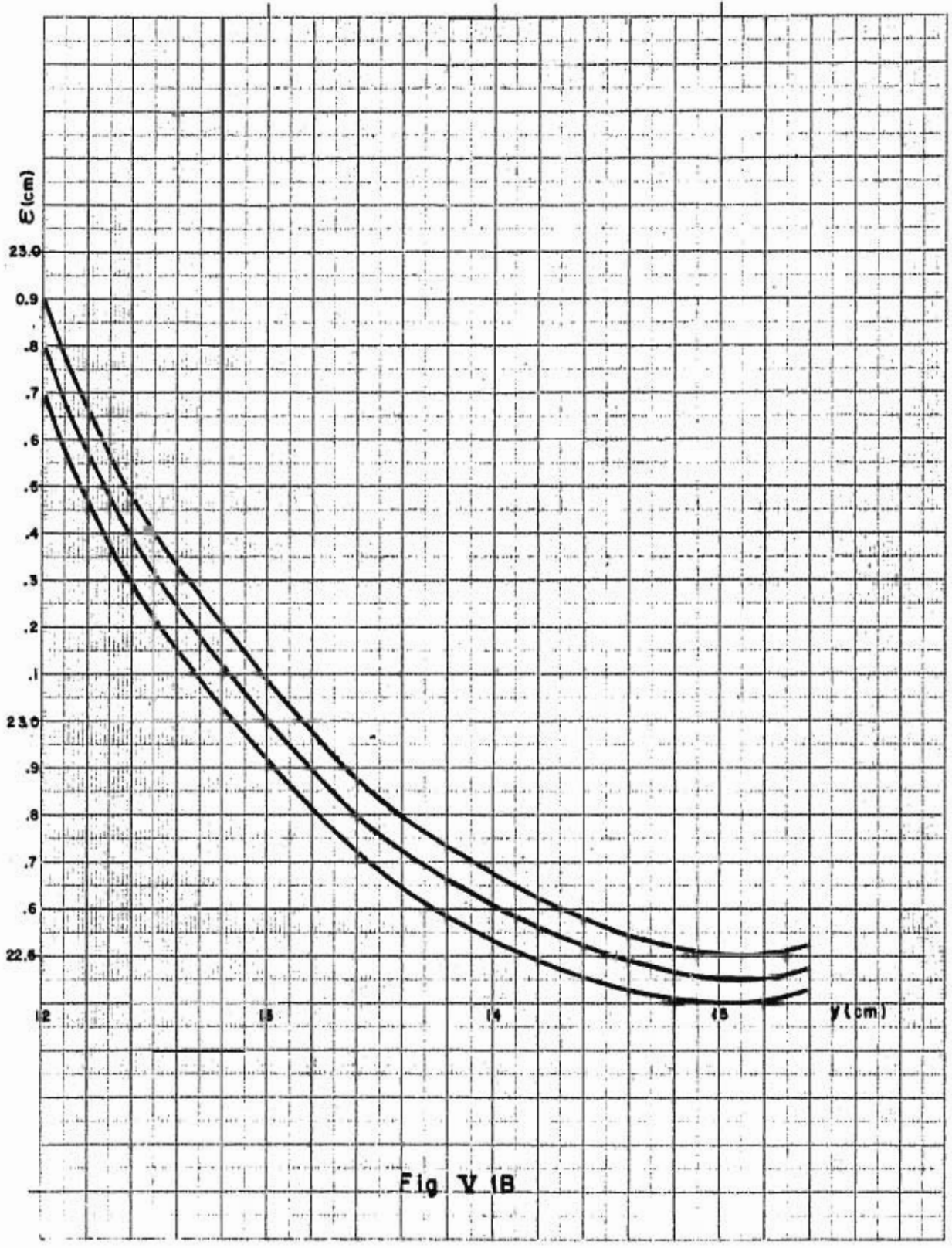


Fig. V 1B

PROCEDIMIENTO DESCRITO, APARECEN EN LA TABLA V.5. FINALMENTE, EN LA FIGURA SE SUPERPONEN LOS RESULTADOS DEL CÁLCULO TEÓRICO CON LOS DE LAS MEDICIONES HECHAS EN UN CANAL CON LAS CARACTERÍSTICAS DESCRITAS. LAS VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL MÉTODO SON EVIDENTES COMO PARA QUE SE HAGA NECESARIO HACER UNA APOLOGÍA O UNA JUSTIFICACIÓN DEL MISMO.

CADE MENCIONAR QUE NO OUSTANTE QUE UN SOLO EJEMPLO NUMÉRICO PARECE INSUFICIENTE PARA JUZGAR SOBRE LA BONDAD DE UN MÉTODO, YA SE HABÍAN REALIZADO OTRAS APLICACIONES CON LOS COEFICIENTES K_0 , K_1 Y K_2 MENOS AFINADOS Y LOS RESULTADOS ERAN YA SUFICIENTEMENTE BUENOS. POR OTRA PARTE, NO SE HA QUERIDO ALARGAR ESTE ESCRITO CON TEDIOSAS E INÚTILES REPETICIONES DE LA APLICACIÓN DE UN MÉTODO CUYO FUNDAMENTO SE CREE SUFICIENTEMENTE DISCUTIDO. POR SUPUESTO QUE TODO EL MATERIAL QUE SE RECADÓ PARA LA ELABORACIÓN DE ESTE TRABAJO SE HALLA EN LA SECCIÓN DE HIDRÁULICA DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA, A DISPOSICIÓN DE QUIEN LO SOLICITE.

PARA TERMINAR CONVIENE ACLARAR QUE, AUNQUE LOS RESULTADOS QUE DA EL MÉTODO AL SER APLICADO A LOS CANALES DE LA PRIMERA ETAPA DE ENSAYOS, NO SON TODO LO BUENO, QUE SERÍA DE DESEARSE, NO ES POSIBLE PRECISAR HASTA QUÉ PUNTO DE IMPRECISIÓN SE DEBE A LA POCA CONFIANZA DE LAS MEDICIONES REALIZADAS ENTONCES. POR LO DEMÁS, LA TENDENCIA EN TODOS ESOS CANALES ES HACIA UNA CONCORDANCIA RAZONABLE CON EL MÉTODO PROPUESTO Y LAS DISCREPANCIAS, AUNQUE FUERTES EN ALGUNOS CASOS, DE NINGUNA MANERA PUEDEN CONSIDERARSE GRAVES, POR LO QUE ES DE SUPONERSE QUE, EN TÉRMINOS GENERALES, EL MÉTODO PROPUESTO ES LO SUFICIENTEMENTE GENERAL COMO PARA PODERSE APLICAR EN LA MAYOR PARTE DE LOS CASOS DE LA PRÁCTICA.

TABLA V. A.

y	A	P	r	$r^{2/3}$	v	$v^{2/3}/2g$	E	$E \pm \Delta hf$
12.0	264	46.00	5.74	0.148	1.52	0.118	23.8	23.8 \pm 0.102
12.4	272.8	46.8	5.83	0.150	1.47	11.0	23.4	23.3 \pm 0.094
13	286.0	48.0	5.96	0.152	1.40	10.0	23.0	23.0 \pm 0.085
13.4	294.8	48.8	6.04	0.153	1.36	9.4	22.8	22.75 \pm 0.0771
14	308.0	50.0	6.16	0.155	1.30	8.6	22.6	22.6 \pm 0.704
14.4	316.8	50.8	6.24	0.157	1.26	8.15	22.55	22.5 \pm 0.063
15	330.0	52.0	6.35	0.158	1.21	7.45	22.45	22.45 \pm 0.0475

TABLA V 6

EST	t			EST	t
1	15			19	13.80
2	14.46			20	13.72
3	14.24			21	13.64
4	14.06			22	13.56
5	13.94			23	13.49
6	13.85			24	13.43
7	13.76			25	13.36
PC 8	13.68	Y_{MAX} - 17.22	Y_{MIN} -10.86	26	13.30
9	15.27			27	13.25
10	14.37			28	13.21
11	14.14			PT 29	13.18
12	14.0			30	13.14
13	13.89			31	13.10
PT 14	13.84	Y_{MAX}	Y_{MIN}	32	13.08
PC 15	14.20	- 14.93	-12.96	33	13.04
16	14.10			34	13.02
17	14.00			35	13.00
18	13.90				

VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

AL MIRAR RETROSPECTIVAMENTE ESTE TRABAJO, SE PUEDE CONCLUIR QUE A PESAR DE QUE LA MECÁNICA ÍNTIMA DEL FLUJO EN LAS CURVAS DE CANALES CON REGIMEN PRÓXIMO AL CRÍTICO SE CONOCE MUY POCO, ES POSIBLE CALCULAR SU COMPORTAMIENTO MEDIANTE CRITERIOS APROXIMADOS QUE DEN UNA PRECISIÓN SUFICIENTE DENTRO DE LOS LÍMITES DE LA PRÁCTICA Y QUE, MIENTRAS ESA MECÁNICA NO SE CONOZCA MEJOR, MÉTODOS COMO EL PRESENTADO, PODRÍAN SER UNA AYUDA VALIOSA AL INGENIERO QUE HA DE ENFRENTAR ESE PROBLEMA.

CLARO ESTÁ QUE FALTAN POR ESTUDIAR MUCHOS ASPECTOS, COMO SON LAS LEYES QUE DETERMINAN EL NÚMERO Y UBICACIÓN DE LAS ONDULACIONES DENTRO DE LAS CURVAS Y AGUAS ADAJO DE ELLAS^y LA FORMA PRECISA DEL NIVEL DEL AGUA EN LAS SECCIONES TRANSVERSALES. POR LO DEMÁS, SE HARÍAN NECESARIOS UN NÚMERO DASTANTE MAYOR DE ENSAYOS CON MIRAS A REDUCIR LA AMPLITUD DE LOS INTERVALOS DE CONFIANZA CALCULADOS PUES, SI BIEN ES CIERTO QUE EL ALTONIVEL DE SIGNIFICANCIA, ENCONTRADO PARA RELACIONAR A LOS PARÁMETROS QUE DETERMINAN EL FENÓMENO PARECE INDICAR QUE LA PISTA SEGUIDA ES CORRECTA, NO ES MENOS CIERTO QUE TENIENDO ESTOS PARÁMETROS VALORES MUY REDUCIDOS EN MUCHOS PROBLEMAS DE LA PRÁCTICA, EL ERROR QUE PUEDE COMETERESE PUEDE LLEGAR A SER DE CONSIDERACIÓN. EN EFECTO, SEGÚN LAS FÓRMULAS IV.3.7 Y IV.3.9, PARA VALORES REDUCIDOS DE $F_r^2 b/R$ Y DE $F_r^2 y/R$ (CON NÚMEROS DE FROUDE MUY PRÓXIMOS A 1 Y RADIOS GRANDES) LA VALUACIÓN DE $\Delta y_{ce}/y_{en}$ Y DE $\Delta Z/B$ PODRÍA CONDUCIR A ERRORES MÁS O MENOS IMPORTANTES; LAS DISCREPANCIAS OBSERVADAS EN EL EJEMPLO DEL CAPÍTULO ANTERIOR PODRÍAN ATRIBUIRSE A ESTE HECHO. AHORA BIEN, COMO QUIERA QUE SE HA TRATADO DE FIJAR UN CRITERIO PARA DETERMINAR LAS ENVOLVENTES Y COMO EN ÚLTIMA INSTANCIA EL PROBLEMA ES LA DETERMINACIÓN DE LAS MÁXIMAS ELEVACIONES, EN CASOS DE DUDA PODRÍA PROCEDERSE

A TENER EN CUENTA LAS AMPLITUDES DE LOS INTERVALOS DE CONFIANZA, TAL Y COMO SE HACE POR EJEMPLO, EN EL MÉTODO DE LEVEDIOV PARA DETERMINAR LA MÁXIMA AVENIDA DE DISEÑO, ESTO ES, PARA PRECISAR, EL MÁXIMO TIRANTE SE PODRÍA SUSTITUIR LA FÓRMULA IV.3.6 POR LA IV.3.7, CONSIDERANDO POSITIVO EL TERCER TÉRMINO.

FINALMENTE, ADEMÁS DE TODOS LOS ENSAYOS QUE SE HAGAN, LA CONFRONTACIÓN DE RESULTADOS CON MEDICIONES HECHAS EN PROTOTIPO, SERÁ QUIEN DIGA LA ÚLTIMA PALADRA. DESGRACIADAMENTE HADRÁ QUE ESPERAR UN BUEN RATO ANTES DE REALIZAR TALES MEDICIONES, YA QUE LA RELATIVAMENTE BAJA FRECUENCIA Y ERRATICIDAD CON QUE DESCARGAN LAS POCAS ESTRUCTURAS QUE TIENEN FLUJOS COMO EL ESTUDIADO, HACEN SUMAMENTE DIFÍCIL LA OBTENCIÓN DE DICHS DATOS.

NO SERÍA POSIBLE TERMINAR ESTE TRABAJO SIN INSISTIR, POR ÚLTIMA VEZ, EN LA NECESIDAD DE ESTUDIAR CONCIENZUDAMENTE LA MECÁNICA ÍNTIMA DEL FLUJO EN LAS CURVAS, PUES SOLO EL ESTUDIO DE PROBLEMAS COMO ÉSTE, BÁSICO, PERO TANGIBLE, SERÁ QUIEN DÉ VERDADERO IMPULSO A LA INVESTIGACIÓN FUNDAMENTAL EN EL CAMPO DE LA HIDRÁULICA.

APENDICE I

LA CORRELACION LINEAL

SUPÓNGASE QUE A CADA VALOR X_i DE UNA SERIE DE VALORES OBSERVADOS, CORRESPONDE UN VALOR DE Y_i . TALES PAREJAS PERMITIRÁN DETERMINAR UNA SERIE DE PUNTOS EN UN PLANO X Y, LOS CUALES PODRÍAN ALINEARSE DE MODO APROXIMADO SEGÚN UNA CIERTA RECTA QUE SE LLAMARÍA RECTA DE REGRESIÓN. PARA QUE ESTA RECTA FUERA LA MEJOR REPRESENTACIÓN DE LA LEY QUE RELACIONA A X CON Y, SE REQUERIRÍA QUE FUERA MÍNIMA LA SUMA DE LOS CUADRADOS DE LAS DISTANCIAS DE LOS PUNTOS REALES A LA RECTA; LA MEJOR UBICACIÓN DE LA RECTA DE REGRESIÓN IMPLICARÍA QUE PASARA POR EL PUNTO \bar{X} , \bar{Y} , EN DONDE $\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$ Y $\bar{Y} = \frac{\sum y}{n}$ *. PARA DETERMINAR SU PENDIENTE, ES ÚTIL HACER PRIMERO UNA TRANSLACIÓN DE EJEES, DE TAL MODO QUE LA RECTA PASE POR EL ORIGEN, ESTO ES TRADAJAR EN UN SISTEMA $x_i = X_i - \bar{X}$, $y_i = Y_i - \bar{Y}$, EN EL CUAL, POR SUPUESTO, LA PENDIENTE SERÍA LA MISMA. EN ESTE SISTEMA, SI P ES LA PENDIENTE DE LA RECTA DE REGRESIÓN, SE TENDRÁ QUE LA SUMA DE CUADRADOS ARRIDA MENCIONADA, SERÍA DE LA FORMA $\sum (Y - PX)^2$; A ESTA EXPRESIÓN SE PODRÍA APLICAR EL CRITERIO DE LA PRIMERA DERIVADA PARA SABER CUÁL ERA EL ÓPTIMO VALOR DE P; SE OBTENDRÍA ENTONCES:

$$0 = \sum xy - p \sum x^2 \tag{1.1}$$

EN DONDE RESULTARÍA SER :

$$p = \frac{\sum xy}{\sum x^2} \tag{1.2}$$

* EN DONDE n ES EL NÚMERO DE PAREJAS DE VALORES POR RELACIONAR

DE ESTA MANERA, EN EL NUEVO SISTEMA, LA RELACIÓN QUE CONOCIDA UNA X, PERMITIERA DETERMINAR A Y (PRECISAMENTE EN ESE ORDEN), RESULTARÍA SER:

$$y = \frac{\sum xy}{\sum x^2} x \quad (1.3)$$

PERO ES EVIDENTE QUE POR UN RAZONAMIENTO ANÁLOGO PODRÍA OBTENERSE LA RELACIÓN INVERSA:

$$x = \frac{\sum xy}{\sum y^2} y \quad (1.4)$$

SIN QUE NECESARIAMENTE LAS PENDIENTES FUERAN IGUALES. AHORA BIEN, SE ACOSTUMBRA LLAMAR COEFICIENTE DE CORRELACIÓN A:

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 + \sum y^2}} \quad (1.5)$$

O SEA, A LA MEDIA GEOMÉTRICA DE LAS PENDIENTES P Y P' DE LAS RECTAS DE REGRESIÓN.

AHORA BIEN, SE LLAMA ERROR CUADRÁTICO MEDIO A LA RAÍZ DEL PROMEDIO DE LA SUMA DE LOS CUADRADOS DE LAS DISTANCIAS ENTRE LOS PUNTOS Y LA RECTA DE REGRESIÓN, LO CUAL, DE ACUERDO CON LAS FÓRMULAS DESARROLLADAS SERÍA

$$U^2 = \frac{\sum e^2}{n} = \frac{1}{n} \sum \left(y - \frac{\sum xy}{\sum x^2} x \right)^2 * \quad (1.6)$$

QUE PUEDE ESCRIBIRSE, TENIENDO EN CUENTA (1.5)

$$U = \frac{\sum y^2}{n} (1 - r^2) \quad (1.7)$$

* e ES EL ERROR $y - y$ REAL

A $\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum y^2}{n}}$ SE LE LLAMA DESVIACIÓN ESTANDAR DE UNA MUESTRA Y SEGÚN PUEDE DEMOSTRARSE, SUMINISTRA UNA MANERA DE APRECIAR LA PROBABILIDAD DE QUE UN RESULTADO ESTADÍSTICO SEA SUFICIENTEMENTE DIGNO DE CONFIANZA, SEGÚN SE DESCRIBIRÁ DESPUÉS. SE PUEDE OBSERVAR ENTONCES QUE U TIENE LAS CARACTERÍSTICAS DE UNA DESVIACIÓN ESTANDAR, LO QUE PERMITIRÁ DARLE UN TRATAMIENTO ANÁLOGO.

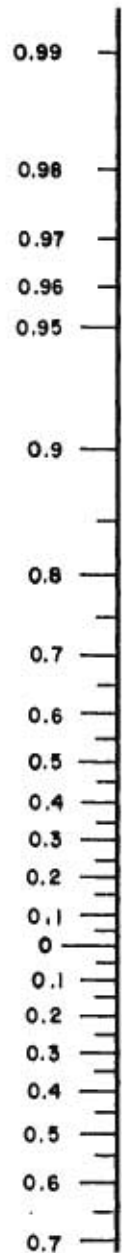
POR OTRA PARTE, LA MEJOR SOLUCIÓN IMPLICARÍA QUE U FUERA NULA, LO CUAL, A SU VEZ, TRAERÍA CONSIGO SEGÚN (1.7) QUE $r = 1$, CON LO QUE ADEMÁS, LAS DOS RECTAS DE REGRESIÓN COINCIDIRÍAN, DE ACUERDO CON (1.3) Y (1.4); LA PEOR SOLUCIÓN SE OBTENDRÍA PARA $r = 0$, EN CUYO CASO LAS DOS RECTAS DE CORRELACIÓN SERÍAN PERPENDICULARES Y LOS VALORES DE X Y Y, SERÍAN INDEPENDIENTES. CABRÍA PENSAR, ADEMÁS, SI EL NÚMERO DE OBSERVACIONES n ES SUFICIENTEMENTE GRANDE COMO PARA REPRESENTAR EL COMPORTAMIENTO DE TODO EL CONJUNTO CUYO COEFICIENTE DE CORRELACIÓN r , SE HA CALCULADO A PARTIR DE UN NÚMERO n DE RESULTADOS.

PARA RESOLVER ESTE PROBLEMA FISHER ADMITIÓ UNA CIERTA INTERDEPENDENCIA ESTADÍSTICA ENTRE LOS VALORES DE r Y EL NÚMERO DE OBSERVACIONES, Y LOS RESULTADOS DE ESTE ESTUDIO SE CONSIGNAN EN LA FIG. 1.A. EN ESTA FIGURA SE ANOTAN EN EL EJE n , EL NÚMERO DE OBSERVACIONES HACIA ARRIBA Y HACIA ABAJO DEL MÁXIMO IDEAL (∞); DEPUÉS, LOS PUNTOS ASÍ DEFINIDOS SE UNEN CON EL VALOR CALCULADO PARA r (EN EL EJE DEL MISMO NOMBRE) Y EN LAS INTERSECCIONES DE ESTAS LÍNEAS CON EL EJE CENTRAL SE VE LA AMPLITUD DENTRO DE LA CUAL PUEDE VARIAR r , PARA EL NÚMERO DE OBSERVACIONES REALIZADAS. POR SUPUESTO QUE SI DENTRO DE ESTA AMPLITUD ESTÁ EL VALOR CERO, EL NÚMERO DE OBSERVACIONES ES ABSOLUTAMENTE INSUFICIENTE; POR OTRA PARTE, ENTRE MENOR SEA LA AMPLITUD MENCIONADA, MAYOR SERÁ LA CONFIANZA QUE SE TENGA

EN EL VALOR DE EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN Y SE DIRÁ QUE ES MEJOR LA -
"SIGNIFICANCIA" ENTRE LOS VALORES DE X Y Y , O QUE SU NIVEL DE SIGNI -
FICANCIA ES ELEVADO.

AUN EN ESTE ÚLTIMO CASO, SE HARÁ NECESARIO CALCULAR (TODA VEZ--
QUE U DIFÍCILMENTE SERÁ NULA) LA MAGNITUD DEL ERROR QUE PUEDE COMETERSE--
AL VALUAR Y_i A PARTIR DE X_i MEDIANTE LA RECTA DE REPRESIÓN. ADMITIENDO--
PARA EL ERROR MEDIO CUADRÁTICO UNA DISTRIBUCIÓN GAUSSIANA, ES POSIBLE --
CALCULAR LA AMPLITUD DEL INTERVALO DE CONFIANZA $Y = T U$, EN DONDE T_i --
EL COEFICIENTE DE AMPLITUD, SERÁ SELECCIONADO DE ACUERDO CON EL GRADO DE
PRECISIÓN QUE SE REQUIERA, ESTO ES, SEGÚN EL % DE PAREJAS DE VALORES QUE
SE QUIERAN INCLUIR EN LA EXPRESIÓN GENERAL, LA CUAL Y SEGÚN LAS IDEAS, -
CONSIGNADAS, SERÁ DE LA FORMA:

$$Y - \bar{Y} = \frac{\sum xY}{\sum x^2} (x - \bar{x}) \pm t U \quad (1.8)$$



NOMOGRAMA DE FISHER

APENDICE 2

POSIBILIDADES DE EMPLEO DE COMPUTADORAS ELECTRONICAS PARA RESOLVER EL
PROBLEMA PLANTEADO

NO SOY PROGRAMADOR Y TAMPOCO QUIERO SERLO; SI A CONTINUACIÓN -
APUNTO POSIBLES SOLUCIONES MEDIANTE EL EMPLEO DE COMPUTADORAS, ES MÁS POR
EL DESEO DE REDONDEAR EL TEMA Y POR ROMPER UN POCO EL CÍRCULO VICIOSO :
LOS EXPERTOS EN COMPUTADORAS NO SE INTERESAN POR LA HIDRÁULICA Y LOS HI -
DRAÚLICOS NO SE INTERESAN POR LAS COMPUTADORAS. ASÍ, LOS ALAMBRADOS, DIA -
GRAMAS DEL FLUJO Y PROGRAMAS QUE SE INCLUYEN, NO SOLO HAN DE SER SANCIONA -
DOS PRIMERO POR UN EXPERTO, SINO QUE DEBE CONSIDERÁRSELES SIMPLEMENTE CO -
MO UN ESBOZO DE SOLUCIÓN, QUE SIRVA DE BASE PARA ESTABLECER LAS CONSIDERA -
CIONES SIGUIENTES :

EN EL CASO DE LAS COMPUTADORAS ANÁLOGICAS, LA SOLUCIÓN ES BIEN --
SENCILLA, CON LA ÚNICA DIFICULTAD DE REPRESENTAR CONVENIENTEMENTE LA X , -
HACIENDO UNA SELECCIÓN DE ESCALA ADECUADA; POR LO DEMÁS, ACASO LOS ALAMBRA -
DOS DE $F_1 (y)$ Y $F_2 (y)$ ** SEAN FUENTE DE ERRORES MÁS O MENOS IMPORTANTES,
EN CUYO CASO SERÍA CUESTIÓN DE MEJORAR LOS DISPOSITIVOS. COMO ES SABIDO, --
LA FALTA DE PRECISIÓN DE ESTE TIPO DE SISTEMA, PODRÍA SER EL MÁS SERIO IN -
CONVENIENTE PARA SU EMPLEO.

POR LO QUE TOCA A LAS COMPUTADORAS DIGITALES, NO PUEDEN ABANDONAR -
SE LOS TEMIDOS TANTEOS Y AUNQUE LA MÁQUINA LOS HAGA CON GRAN RAPIDEZ, EN --

* PARA EL ALAMBRADO SE EMPLEÓ LA NOTACIÓN PROPUESTA POR ASHLEY -
EN SU LIBRO "INTRODUCTION TO ANALOG COMPUTATION " Y PARA EL DIAGRAMA DE -
FLUJO SE USARON LOS SÍMBOLOS PROPUESTOS POR SHERMAN EN SU OBRA "PROGRA -
MMING AND CODING DIGITAL COMPUTERS", EL PROGRAMA SE ELABORÓ EN LENGUAJE -
FORTRAN

** VEANSE HOJAS ANEXAS

GENERAL ES ÉSTE SU TALÓN DE AQUILES.

AHORA BIEN, MIENTRAS EN LA COMPUTADORA ANÁLOGICA SE PODRÍA UTILIZAR EL MISMO ALAMDRADO PARA ATACAR OTROS TIPOS DE CURVAS DE REMANSO, EN LA DIGITAL HADRÍAN DE INTRODUCIRSE ALGUNOS CAMBIOS EN EL PROGRAMA PARA USARLO CON IGUAL VENTAJA EN OTROS CASOS; EN ESTE PROBLEMA PARTICULAR NO PARECE ACONSEJABLE USAR UN PROGRAMA ATROZMENTE GENERAL, PERO MÁS COMPLICADO.

CON RELACIÓN AL PROBLEMA QUE NOS OCUPA, NO PARECE CONVENIENTE ALTERAR LOS PROGRAMAS PARA INTRODUCIR LOS VALORES DEL TIRANTE AL PRINCIPIO DE LAS CURVAS YA QUE, COMO SE DIJO, SALVO ESTAS INTERRUPCIONES, LA CURVA DE REMANSO SE PROPAGA TANTO EN LOS TRAMOS CURVOS COMO EN LAS TANGENTES. SERÍA ENTONCES MEJOR DISPONER DE UNA GRAN CURVA DE REMANSO, Y LOCALIZAR EN ELLA LOS TRAMOS DE LONGITUD ENTRE CADA PAREJA DE ALTERACIONES, PARA LO CUAL SE HARÍA NECESARIO, CON LOS DATOS DEL EXTREMO AGUAS ADAJUE DE CADA UNO DE ESOS TRAMOS Y CON AYUDA DE LAS FÓRMULAS DEL CAPÍTULO IV, CALCULAR LAS CARACTERÍSTICAS DE LA SIGUIENTE DISCONTINUIDAD, CORRESPONDIENTE AL INICIO DE LA NUEVA CURVA Y ASI SUCESIVAMENTE, CON LO CUAL SE PODRÍA TENER RÁPIDAMENTE UN ESQUEMA COMPLETO DE LA CONFIGURACIÓN DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL LÍQUIDO. COMO ANTES SE DIJO, SI SE DISPONE DE ESTAS HERRAMIENTAS DE CÁLCULO, LO MEJOR ES EMPLEARLAS; PERO EN CASO CONTRARIO, EL MÉTODO PROPUESTO EN EL INCISO III PUEDE RESULTAR UN BUEN SUSTITUTO.

ALAMBRADO PARA EL CALCULO DE CURVAS DE REMANSO EN
CANALES PRISMATICOS

La forma diferencial del teorema de Bernoulli es:

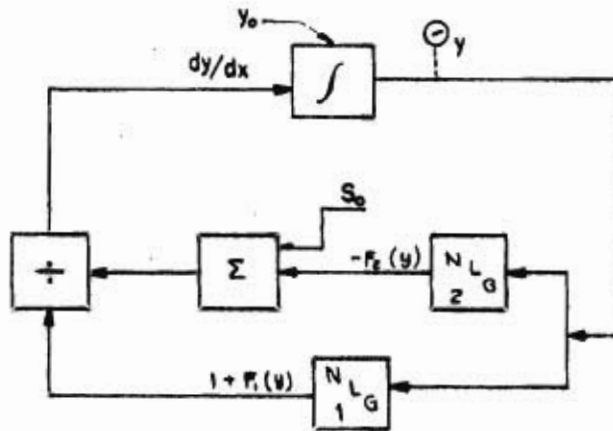
$$dz = dy + \frac{1}{2g} \frac{d}{dx} (v^2) + dh_f$$

Si se hacen:

$$\frac{1}{2g} \frac{d}{dx} v^2 = F_1(y) \frac{dy}{dx}, \quad \frac{dh_f}{dz} = F_2(y) \quad \text{y} \quad \frac{dz}{dy} = S_0 \quad \text{se obtiene:}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - F_2(y)}{1 + F_1(y)}$$

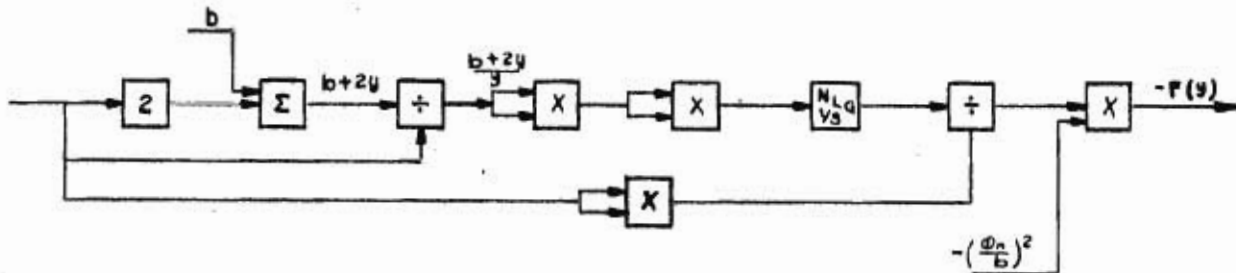
Cuyo alambrado puede ser:



Para un canal rectangular es:

$$-F_2(y) = -\left(\frac{Q_n}{b}\right)^2 \frac{1}{y^3} \left(\frac{b+2y}{y}\right)^{4/3}$$

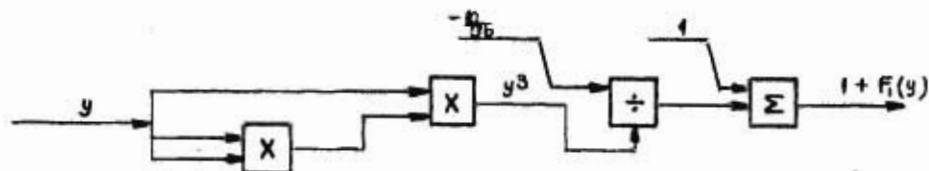
y un posible alambrado sería:



También para un canal rectangular sería:

$$1 + F_1(y) = 1 - \frac{Q}{9b} \frac{1}{y^3}$$

que se podría alambra así

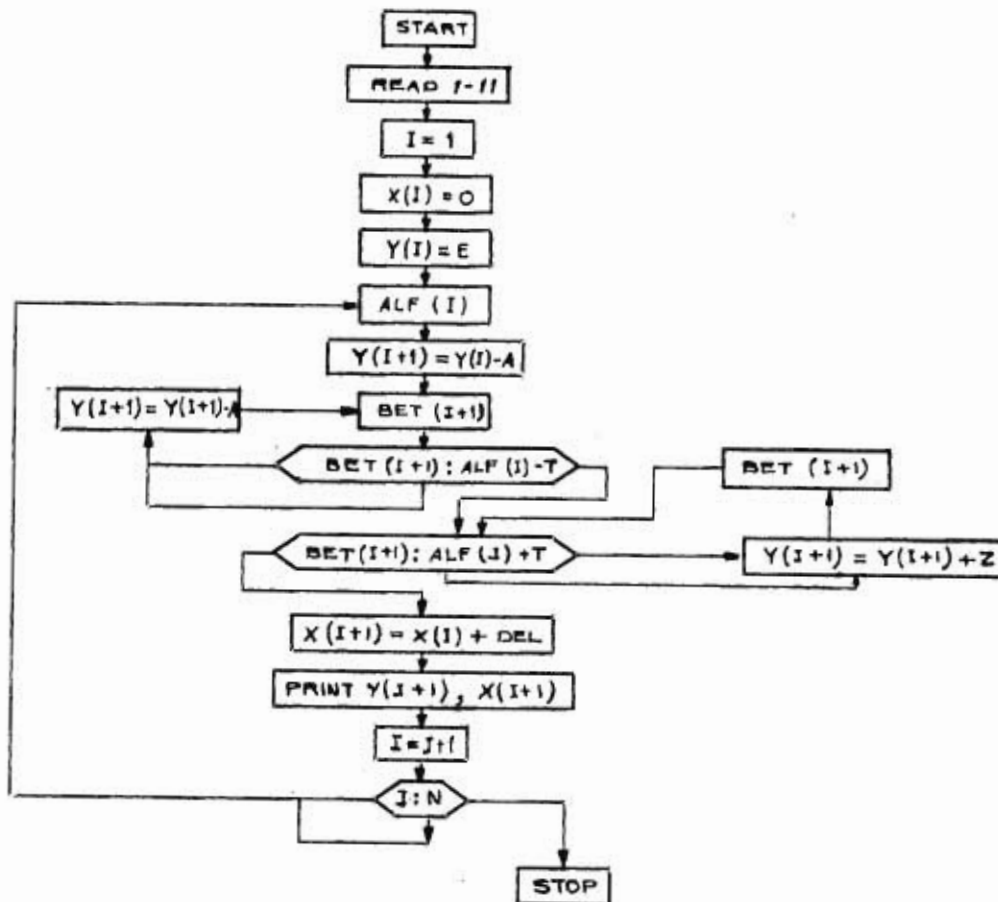


PROGRAMA PARA EL CALCULO DE CURVAS DE REMANSO EN CANALES RECTANGULARES DE TIPO PRISMÁTICO

Nomenclatura

1	$\emptyset = \emptyset$	12	$y_c = Y(I)$
2	$y_0 = E$	13	$v_c = V(I)$
3	$b = B$	14	$\frac{v_c^2}{2g} = CV(I)$
4	$\Delta L = DEL$	15	$v_m = VM$
5	$\Delta Z = DEZ$	16	$r_m = RM$
6	$n^2 = RUG$	17	$r_c = R(I)$
7	$\frac{1}{2g} = GRA$	18	$y_c^2 + \frac{v_c^2}{2g} + \Delta Z = ALF(I)$
8	$N = N$	19	$(v_m / r_m)^2 n^2 \Delta L = PER$
9	$\Delta y_a = A$	20	$y_{c+1} + (v_{c+1})^2 / 2g + PER = BET(I+1)$
10	$\Delta y_b = Z$		
11	$\Delta t = T$		

Diagrama de Flujo



P R O G R A M A

START

```

1  READ 2 Q, E, B, DEL, DEZ, RUG, GRA, N, A, Z, T
2  FORMAT 8 F 10.4
3  I = 1
4  X(I) = 0
5  Y(I) = E
6  V(I) = Q / (B * Y(I))
7  CV(I) = (V(I)) ** 2 / GRA
8  R(I) = (B * Y(I)) / (B + 2 * Y(I))
9  ALF(I) = Y(I) + CV(I) + DEZ
10 Y(I+1) = Y(I) - A
11 V(I+1) = Q / (B * Y(I+1))
12 CV(I+1) = (V(I+1)) ** 2 / GRA
13 VM = (V(I) + V(I+1)) / 2.
14 R(I+1) = (B * Y(I+1)) / (B + 2 * Y(I+1))
15 RM = (R(I) + R(I+1)) / 2.
16 PER = ((VM) / (RM ** (2/3))) ** 2 * RUG * DEL
17 BET(I+1) = Y(I+1) + CV(I+1) + PER
18 IF (BET(I+1) - (ALF(I) + T))
19 Y(I+1) = Y(I+1) - A
20 GO TO 11
21 IF (BET(I+1) - (ALF(I) + T)) 31, 22, 22
22 Y(I+1) = Y(I+1) + Z
23 V(I+1) = Q / (B * Y(I+1))
24 VM = (V(I) + V(I+1)) / 2.
25 R(I+1) = (B * Y(I+1)) / (B + 2 * Y(I+1))
26 RM = (R(I) + R(I+1)) / 2.
27 PER = (VM) / (RM ** (2/3)) ** 2 * RUG * DEL
28 CV(I+1) = (V(I+1)) ** 2 / GRA
29 BET(I+1) = Y(I+1) + CV(I+1) + PER
30 GO TO 21
31 X(I+1) = X(I) + DEL
32 PRINT 33 X(I+1), Y(I+1)
33 2 FORMAT 10.4
34 I = I + 1
35 IF (I - N) 6, 6, 36
36 STOP

```

E N D

APENDICE 3

ANALISIS CRITICO DE LA LITERATURA DISPONIBLE

COMO SE DIJO EN LA INTRODUCCIÓN DE ESTE ARTÍCULO, ES DESOLADOR EL PANORAMA QUE OFRECE LA LITERATURA TÉCNICA SOBRE EL ASUNTO OD ETO DE ESTE TRABAJO. EN EFECTO, POCO SE HA ESCRITO ADEMÁS DEL FAMOSÍSIMO PAPER No -- 2434 " HIGH VELOCITY FLOW IN OPEN CHANNELS", (TRANS ASCE 1951) DE IPPEN Y KNAPP, ARTÍCULO QUE COMO SE HA VISTO, PRESENTA CRITERIOS DE CÁLCULO QUE CON TODO Y SER LOS MEJORES, ESTÁN MUY LEJOS DE SER UTILIZABLES PARA ATA - CAR UN PROBLEMA COMO EL QUE NOS OCUPA.

EN LA LITERATURA ALEMANA HE PODIDO ENCONTRAR DOS REFERENCIAS QUE CONTIENEN UNA SINTÉISIS, MÁS O MENOS COMPLETA DEL PAPER 2434, SIN NINGUNA APORTACIÓN ORIGINAL DE LOS AUTORES. ESTAS ODRAS SON GERINNEHYDRAULIK DE - M SCHMIDT (PAG 130, ART 4.82) Y HANDBUCH DER HYDRAULIK DE M.A. MOSTKOW - (PAG 468), AMDOS EDITADOS EN 1957 POR VERLAG TECHNIK, BERLÍN. OTRO TANTO OCURRE CON EL COMPENDIO DI HIDRAULICA DE SCIMEMI (PAG 236) EDITADO POR - CEDAM, EN PADUA, 1955. EN LOS GRANDES TRATADOS DE HIDRÁULICA DE KOZENY, Y DE MARCHI, PRÁCTICAMENTE SE IGNORA EL PROBLEMA.

LA LITERATURA TÉCNICA JAPONESA CONTIENE EN CAMBIO AMPLIAS REFE -- RENCIAS AL ARTÍCULO MENCIONADO, INCLUYENDO EJEMPLOS NÚMERICOS QUE AYUDAN A LA MEJOR COMPRESIÓN DEL MÉTODO; SIN EMDARGO TAMPOCO ALLÍ APARECEN ADI - CIONES AL TRABAJO ORIGINAL. LOS LIBROS MENCIONADOS SON LA PEQUEÑA HIDRÁU - LICA DE LA SERIE MARUZEN ENGINEER'S LIBRARY (水工聖学 , PAG 103) - Y EL PRIMER TOMO DEL TRATADO GENERAL DE HIDRÁULICA. (河変水工聖学 PAG 119), EDITADOS AMDOS POR MARUZEN, EN TOKIO, EN 1954. ADEMÁS DEL MANUAL DE HIDRÁULICA DE LA ASOCIACIÓN JAPONESA DE INGENIEROS CIVILES-(水工聖公 式集) (PAG 105), EDITADO EN TOKIO POR DICHA ASOCIACIÓN.

ES PROBABLE QUE EN ALGUNOS ARTÍCULOS DE LAS NUMEROSAS REVISTAS - QUE SE EDITAN EN EL MUNDO, SE HAYA PUBLICADO ALGO SOBRE EL TEMA; DESGRACIADAMENTE NO HE PODIDO ENCONTRAR NADA. POR LO DEMÁS, EN TRES LIBROS SE ENCUENTRAN ALGUNAS EDICIONES AL PAPER 2334; EN PRIMER TÉRMINO EN EL TRABAJO DE BRETTING, HYDRAULIK, STATIONÄRE STRÖMNIGER (PAG 377) EDITADO-- POR TEKNISK FORLAG, COPENHAGUE, 1960, SE HACE UNA INTERESANTE, AUNQUE - BREVÍSIMO COMENTARIO SOBRE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN LAS CURVAS EN CANALES A REGIMEN RÁPIDO. DE LOS AUTORES RUSOS * SOLO SAMARIN PARECE OCUPARSE DEL PROBLEMA EN SU LIBRO ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ (PAG 147) - EDITADO POR ГИСЛ EN MOSCÚ, EN 1960; SIN EMBARGO EL TRATAMIENTO, AUNQUE ORIGINAL, PARECE MUY SUPERFICIAL Y TIENE LA DESVENTAJA DE ESTAR DIRIGIDO-- SOLO A CANALES CON REGIMEN FRANCAMENTE RÁPIDO. FINALMENTE EN EL LIBRO DE CHOW, DASTANTE CONOCIDO, SE HACEN ALGUNAS REFERENCIAS Y SE INCLUYEN LOS - TRABAJOS DE SHUKRY, AMÉN DE LA PRESENTACIÓN DEL TAN MENCIONADO PAPER 2334 POR LO QUE SE REFIERE A LAS OUSERVACIONES, LAS CONDENSADAS EN LA FIG. 16.1 DE LA PAG 442, MÁS PARECEN SER RESULTADOS DE LA FRÍA LÓGICA DEL AUTOR, - QUE DE MEDICIONES HECHAS EN CANALES PUES, EN EL CASO 3, SI BIEN ES CIER- TO QUE LA CURVA DE REMANSO EN LA VUELTA SE PARECE A LAS OBTENIDAS, LA - CURVA AGUAS ARRIBA, DE ACUERDO CON LO ESTUDIADO, SOLO SERÍA FACTIBLE PA- RA CURVAS MUY CERRADAS. SE CONSIGNA TAMBIÉN UNA PÉRDIDA PARA h_f , CUYA - EXPLICACIÓN NO SE VE MUY CLARA. ASÍ MISMO CHOW INCLUYE EN SU LIBRO (PAG- 448) VARIAS FÓRMULAS PARA CALCULAR LA SOBREELEVACIÓN EN CANALES CON RE- GIMEN FRANCAMENTE RÁPIDO, AUNQUE SIN PRECISAR UN CRITERIO DEFINIDO. POR- LO QUE SE REFIERE A LAS IDEAS DE SHUKRY, SE PRESENTA UN CRITERIO DASTAN

* DESGRACIADAMENTE NO HE PODIDO CONSULTAR LAS FAMOSAS OBRAS DE - CHEROTOUSOV Y DE AGROSQUIN, ACTUALMENTE AGOTADAS.

TE COMPLEJO PARA VALUAR LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN LAS VUELTAS, CRITERIO- EN EL CUAL UNO DE LOS PARAMETROS MÁS IMPORTANTES ES EL NÚMERO DE REYNOLDS Y NO EL DE FROUDE, HECHO VERDADERAMENTE EXTRAÑO. POR LO DEMÁS, LOS ÁDACOS DE CÁLCULO DAN LOS CRITERIOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE PÉRDIDA, INCLUYEN VALORES DE R_2 HASTA 75 000, CON LO QUE CADE PREGUNTARSE, SI EN LOS CANALES DE LA PRÁCTICA LAS VELOCIDADES SON EN TORNO A LOS 5 ó 7 M/SEG Y LA VISCOSIDAD CINÉTICA DEL ORDEN DE 0.01 STOKES, QUÉ DIMENSIÓN- LINEAL Q SERÍA LA ADECUADA PARA PODER UTILIZAR ESOS ÁDACOS, PUES EN LA -- PUBLICACIÓN MENCIONADA NO SE ACLARA ÉSTO. NATURALMENTE QUE NINGUNA DE ES- TAS OBSERVACIONES RESTA VALOR AL LIBRO DE CHOW, EL CUAL ES POR EL MOMENTO, UNO DE LOS MEJORES TRATADOS SOBRE HIDRÁULICA DE CANALES.