

41
2ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

"CAMPUS ARAGON"

**"LOS ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA
HIDRAULICA DE CANALES POR COMPUTADORA."**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A

JESUS RIVERA FRANCO

ASESOR DE TESIS: ING. MARIDEL ZARATE MORALES

MEXICO

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCION

JESÚS RIVERA FRANCO
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 11 de marzo del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que la profesora, Ing. MARIDEL ZARATE MORALES pueda dirigirse el trabajo de Tesis denominado, "LOS ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA HIDRÁULICA DE CANALES POR COMPUTADORA", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México., 18 de marzo de 1997
EL DIRECTOR


MARIO CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO

*Recibo
25/11/97
Jesús*

c c p Jefe de la Unidad Académica.
c c p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil.
c c p Asesor de Tesis.

CCMC'AIR'IIa.





ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON - UNAM

INGENIERIA CIVIL

UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS
JEFE DE LA UNIDAD ACADÉMICA
P R E S E N T E.

Me dirijo a usted, para informarle que el C. JESUS RIVERA
FRANCO pasante de la Carrera de Ingeniería Civil,
con número de cuenta 9029054-7 ha terminado la elaboración
de la tesis profesional titulada:
"LOS ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA HIDRAULICA DE CANALES POR COMPUTADORA".

Lo que comunico a usted para los fines que se estime proce-
dente.

A T E N T A M E N T E
" POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU "
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., a 18 de Marzo de 1997.

DIRECTOR DE TESIS

ING. MANUEL ZARATE MORALES

Vo. Bo.
M. en I. DANIEL VELAZQUEZ VAZQUEZ
JEFE DE CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

c.c.p ING. MANUEL MARTINEZ ORTIZ, Jefe del Depto. de Servicios Escolares
M. en I. DANIEL VELAZQUEZ VAZQUEZ, Jefe de Carrera de Ing. Civil
ING. JUAN CARLOS ORTIZ LEON, Srio. Téc. de Ing. Civil
ASESOR DE TESIS
COMITE DE TESIS



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
CAMPUS ARACÓN

UNIDAD ACADÉMICA

En presencia de DANIEL VELÁZQUEZ VÁZQUEZ
Jefe de la Carrera de Ingeniería Civil,
Presente.

En atención a la solicitud de fecha 20 de marzo del año en curso, por la que se comunica que el alumno JESÚS RIVERA FRANCO, de la carrera de Ingeniero Civil, ha concluido su trabajo de investigación intitulado "LOS ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA HIDRÁULICA DE CANALES POR COMPUTADORA", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, le reitero las seguridades de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 31 de marzo de 1997
EL JEFE DE LA UNIDAD


LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS

c c p Asesor de Tesis.
c c p Interesado.

AIR'IIa.





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON
JEFATURA DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
No. Of. JCIC/083/97.

LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS
JEFE DE LA UNIDAD ACADÉMICA
P R E S E N T E

Por medio de la presente me permito relacionar los nombres de los Profesores que sugiero integren el sínodo del Examen Profesional de JESUS RIVERA FRANCO ,con el tema de tesis: "LOS ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA HIDRAULICA DE CANALES POR COMPUTADORA"

PRESIDENTE :	ING. PASCUAL GARCIA CUEVAS	16-10-80
V O C A L :	ING. GABRIEL ALVAREZ BAUTISTA	16-10-87
SECRETARIO :	ING. MARIDEL ZARATE MORALES	14-05-90
SUPLENTE :	M. EN I. DANIEL VELAZQUEZ VAZQUEZ	14-05-90
SUPLENTE :	ING. JUAN CARLOS ORTIZ LEON	16-03-93

Quiero subrayar que el director de la tesis es el ING. MARIDEL ZARATE MORALES, el cual esta incluido en base a lo que reza el Reglamento de Exámenes Profesionales de esta Escuela.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., 20 de Mayo de 1997
EL JEFE DE LA CARRERA

M. en I. DANIEL VELAZQUEZ VAZQUEZ



c.c.p. ING. MANUEL MARTINEZ ORTIZ- Jefe del departamento de Servicios Escolares
- ING. JUAN CARLOS ORTIZ LEON- Secretario Técnico de Ingeniería Civil.
- ING. MARIDEL ZARATE MORALES -Asesor de tesis
- COMITE DE TESIS
- INTERESADO

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar a Dios por darme el enorme regalo de la vida y el darme cuenta que la vida es un sueño y hay que disfrutarla, además de permitirme que mis Padres me vean en la conclusión de mis estudios.

En tercer lugar a una persona muy especial, a la cual aprecio mucho, al M. en I. Daniel Velázquez Vázquez, por la confianza que deposito en mi y por toda su ayuda incondicional, considerándolo como un amigo. GRACIAS.

A todos los momentos de alegría, tristeza, presión e ilusión que pase en la U.N.A.M.

En segundo lugar a mis Padres por la herencia que han dejado en mi y que viene siendo mis estudios, y a mis hermanos gracias por su comprensión y ayuda moral para concluir con esta licenciatura.

A mis mejores amigos, Fernando, Agustín, Sandra y Gina, con los cuales pase momentos inolvidables durante mis estudios en la E.N.E.P.

CAPITULOS:

	PAGINA
PROLOGO.....	1
INTRODUCCION.....	2
MANUAL DEL USUARIO.....	5
I.- ASPECTOS GENERALES DEL FLUJO PERMANENTE..	16
II.- FLUJO UNIFORME.....	24
III.- ENERGIA ESPECIFICA Y REGIMEN CRITICO.....	75
IV.- SALTO HIDRAULICO.....	169
V.- FLUJO GRADUALMENTE VARIADO.....	227
(CARACTERISTICAS Y CLASIFICACION DE LOS PERFILES DEL FLUJO)	
VI.- TRANSICIONES Y CURVAS.....	273
VII.- ARRASTRE DE SEDIMENTOS.....	303
ANEXO I.- FORMULARIO.....	318
ANEXO II.- TABLAS.....	322
ANEXO III.- NOMOGRAMAS.....	345
CONCLUSIONES.....	355
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	358

PROLOGO

PROLOGO

Este trabajo final de la carrera me ofrece la oportunidad de agradecer a la U.N.A.M., a mis padres, familiares y amigos su apoyo incondicional para la conclusión de mis estudios de licenciatura, además de mostrar un poco de los conocimientos adquiridos en esta licenciatura en el área de Hidráulica.

De esta forma quiero hacer patente mi agradecimiento a México por facilitarme mis estudios y que de hoy en adelante seré parte de muchos Mexicanos que luchan por un México mejor, al cual debemos mucho.

Esta tesis o trabajo escrito terminal, me alienta a continuar con mis estudios y como dije anteriormente estar mejor preparado para colaborar con un granito de arena para la superación de todos los Mexicanos y por un México en el cual los intelectuales tenemos la obligación moral de preparar a futuras generaciones de egresados que sin duda harán un papel mejor que el que se presenta actualmente.

Para finalizar, este trabajo lo dedico a mis profesores, familiares y amigos, en especial a las siguientes personas; esto sin el animo de omitir a ningún amigo, quedo con todos muy agradecido:

**M.en I. Daniel Velázquez Vázquez
Ing. Maridel Zarate Morales.**

INTRODUCCION

INTRODUCCION.

Este trabajo surge con la idea de facilitar a los alumnos de quinto semestre de la carrera de Ingeniero Civil, la serie de cálculos que se presentan en el diseño de obras Hidráulicas, que en este caso, hablamos de canales a cielo abierto.

Se muestran una serie de algoritmos, diagramas y programas que ilustran al alumno el camino a seguir en el medio computacional para la solución de problemas numéricos.

En la actualidad existe un sin número de paquetes dedicados especialmente al calculo, podemos comenzar hablando de las calculadoras programables en BASIC, hasta aparatos sofisticados para el calculo de poligonales en topografía, que sin duda estos avances han contribuido a la rapidez de resultados y como consecuencia a una toma de decisiones rápida y efectiva, no menoscabando los conocimientos teóricos que fungen como cimientos para el desarrollo de estos algoritmos .

Este trabajo trata de contribuir a los avances tecnológicos y a la toma rápida de decisiones, no con el fin de convertir al alumno en una persona automática, sino en una persona capacitada en dar resultados inmediatos y creadora de procesos los cuales permitan observar el sendero correcto en un proceso constructivo.

Esta tesis comienza hablando de los términos propios de la Hidráulica como son los conceptos de gasto, tirante, tirante normal, tirante critico, régimen, etc., para seguir con el cálculo de los mismos, y mas adelante en este mismo trabajo el optimizar los anteriores conceptos en el diseño de obras Hidráulicas como podría ser un sifón, para llegar a la conclusión de un considerable ahorro energético y económico, finalizando esta obra se introduce al alumno en la aplicación de herramientas principales y secundarias que recolectan el arrastre de sedimentos y que tienen un funcionamiento y una prioridad muy importante para que una obra Hidráulica sea funcional

Recordando que el objetivo de la Ingeniería Civil es diseñar y construir obras funcionales y seguras.

La forma en que se encuentra estructurado este trabajo es por medio de un tema introductorio, en el cual se explica el uso de la hoja de calculo EXCEL y de la utileria QBASIC de MS-DOS además del significado de los términos mas usuales en la Hidráulica de Canales, seguido de una serie de problemas en los cuales se muestra la solución de los mismos, un diagrama resolutorio, un paquete de programación en cual se puede utilizar en calculadoras programables (BASIC), y vía hoja de calculo (EXCEL), anexandose la solución a la misma hoja, finalizándose el tema con un problema de propósito general, mostrándose la solución del mismo por medio de un microsistema y una hoja de calculo general, encontrándose el el tema V y VI problemas de propósito general, y en el tema VII problemas introductorios, las fórmulas, tablas así como nomogramas se encuentran en el anexo I, anexo II y anexo III, respectivamente.

Nota: En este trabajo no se exponen las deducciones o demostraciones de las diferentes ecuaciones que intervienen en el estudio de la Hidráulica de Canales , solo se concreta a la aplicación directa de estos estudios, pudiéndose encontrar dicha información demostrativa en los libros que se indican en la bibliografía.

MANUAL DEL USUARIO

MANUAL DEL USUARIO.

La forma de poder ejecutar las hojas de cálculo en el paquete EXCEL, o los programas de BASIC se encuentra sujeta a las siguientes condiciones:

- 1.- Encontrarse en una computadora modelo 80386 o posterior.**
- 2.- Contar con el paquete EXCEL o en el mejor de los casos con el paquete completo de Microsoft Office, además de tener instalado el paquete Microsoft MS-DOS, versión 5.5 o posterior, que dentro del mismo se encuentra la utilería de programación QBASIC.**
- 3.- La computadora deberá tener como mínimo una memoria de 4 Mb.**
- 4.- Una velocidad mínima de la computadora de 25 Mhz.**

La forma en que se puede ingresar los datos a la hoja de cálculo es de la siguiente forma:

- 1.- Una vez activada la computadora, se procede a ingresar al paquete Windows, por medio de la instrucción:**

C> WIN <-----/

- 2.- Seleccionar el menú ventana y dar clic en el icono (dibujo) de Microsoft Office.**
- 3.- En la nueva ventana dar clic en el icono EXCEL.**

4.- Una vez que nos encontramos en la hoja de cálculo para ingresar los datos bastara con teclear los mismos como en maquina de escribir, pero teniendo cuidado de que las fórmulas comiencen con el símbolo de la igualdad (=), y finalizar la orden con <-----/ .

5.- Una vez capturado el primer renglón, se procederá a copiar las fórmulas, siguiendo los siguientes pasos:

- a) Situarse en la formula a copiar.
- b) En el menú EDICION, seleccionar la opción COPIAR, dando clic en esta opción.
- c) Arrastrar el Ratón hacia a donde se requiere la copia (normalmente vertical u horizontal), y por ultimo dar ENTER.

Con lo anterior se garantiza la actualización de los valores posteriores en los renglones siguientes.

La forma en que se puede grabar la hoja de cálculo en cualquier dispositivo de almacenamiento es:

- 1.- Ir la menú ARCHIVO.
- 2.- Seleccionar GUARDAR.
- 3.- Dar el sendero o la ruta de almacenamiento, como ejemplo:

c:\tesis\hoja1.xls

que nos indica que el trabajo se llama hoja1.xls, y estará almacenado en el directorio tesis, que se encuentra en la unidad de disco duro c.

Y posteriormente los demás almacenamientos que se efectúen solo se harán siguiendo los pasos 1 y 2.

La forma en que se pueden observar hojas de cálculo previamente hechas es:

- 1.- Ir al menú ARCHIVO.
- 2.- Seleccionar la opción ABRIR.
- 3.- Indicar la ruta o sendero del archivo, como ejemplo tendríamos:

```
c> tesis\hoja1.xls
```

que indica que se quiere observar el archivo hoja1.xls, que se encuentra en el directorio tesis de la unidad c.

La forma en que se pueden capturar los programas en BASIC es:

- 1.- Entrar a Microsoft Windows con la instrucción:

```
C>WIN <-----/
```

- 2.- En el menú VENTANA seleccionar la opción APLICACIONES.

3.- Elegir la opción Microsoft QBASIC.

4.- Una vez que aparece la pantalla se podrá capturar el programa.

5.- Para ejecutar el programa se oprimirá la tecla de función F5.

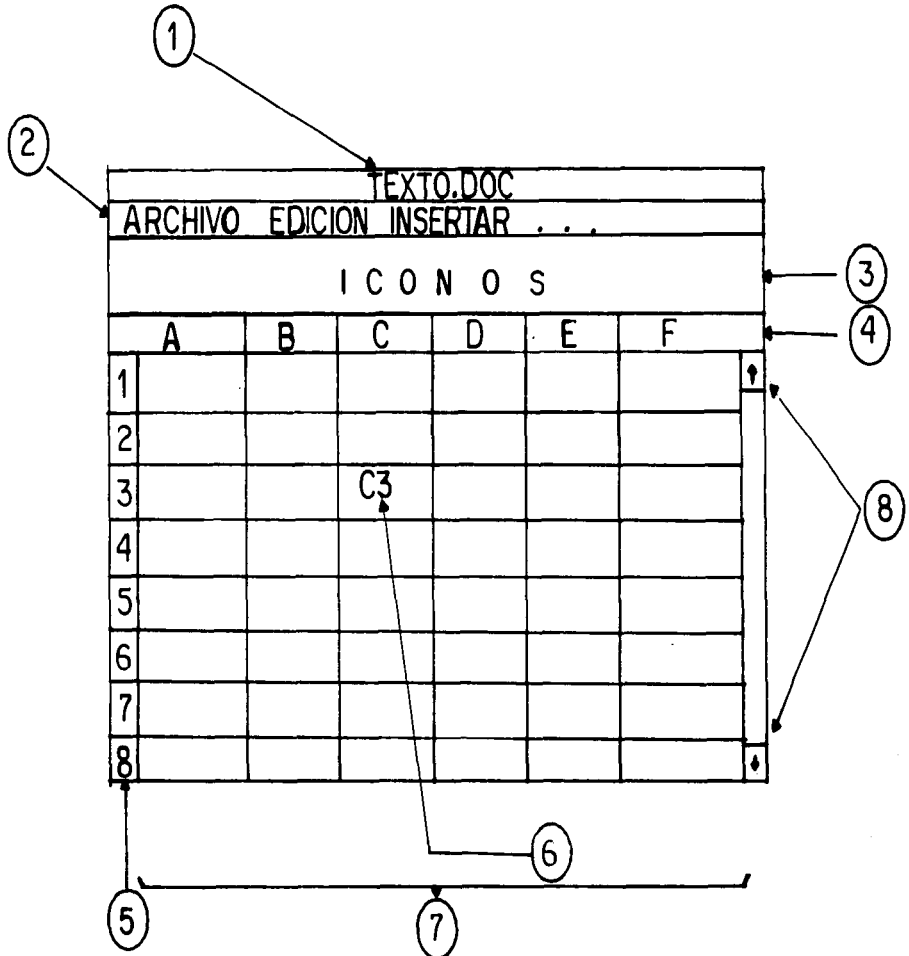
Los pasos para almacenar el archivo en cualquier dispositivo de almacenamiento es de forma idéntica a la explicada en la hoja de cálculo.

Los pasos para observar un programa previamente hecho son los mismos pasos que se explicaron en la hoja de cálculo.

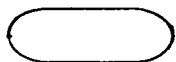
A continuación muestro la estructura de una hoja de cálculo, y el significado de la simbología utilizada en los diagramas de flujo. También se explica brevemente el significado de las literales más importantes que intervienen en todos los diagramas.

DESCRIPCION DE LA HOJA DE CALCULO

- 1 NOMBRE DEL ARCHIVO**
- 2 AREA DE MENUS**
- 3 HERRAMIENTAS AUXILIARES**
- 4 INDICADOR DE COLUMNAS**
- 5 INDICADOR DE RENGLONES**
- 6 CELDA**
- 7 ESPACIO FISICO PARA EL CALCULO**
- 8 FLECHAS PARA DESPLAZARSE**



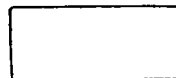
SIMBOLOGIA



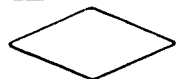
INICIO/FIN DEL PROGRAMA



ENTRADA POR TECLADO



PROCESO



DECISION



MOSTRAR EN PANTALLA



**CONECTOR INTERNO DE
PAGINA**



**CONECTOR EXTERNO DE
PAGINA**

NOMENCLATURA

L.V.	LIMPIEZA DE VARIABLES
b	BASE DEL CANAL
B	BASE CRITICA DEL CANAL
d	TIRANTE DEL CANAL
dn	TIRANTE NORMAL DEL CANAL
rel	RELACION DE VALORES EN ALGUN NOMOGRAMA O TABLA
VALGRA	VALOR DE LA GRAFICA O NOMOGRAMA
dc	TIRANTE CRITICO
dcom	TIRANTE EN LA COMPUERTA
d ₁	TIRANTE CONJUGADO MENOR
d ₂	TIRANTE CONJUGADO MAYOR
Y1	TIRANTE SUPERCritICO
Y2	TIRANTE SUBCRITICO
m	TALUD DEL CANAL
S	PENDIENTE DEL CANAL
Sn	PENDIENTE NORMAL DEL CANAL
Sc	PENDIENTE CRITICA DEL CANAL
A	AREA DEL CANAL
Ac	AREA CRITICA DEL CANAL
P	PERIMETRO DEL CANAL
Pc	PERIMETRO CRITICO DEL CANAL
R	RADIO HIDRAULICO DEL CANAL
Rc	RADIO CRITICO DEL CANAL
RI	CONDICION DE MAXIMA EFICIENCIA
T	SUPERFICIE LIBRE DEL CANAL
n	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD
C	COEFICIENTE DE VELOCIDAD

k	FACTOR DE DESCARGA
V, U	VELOCIDAD DEL FLUJO
V_c	VELOCIDAD CRITICA DEL FLUJO
Q	GASTO DEL CANAL
D	RELACION AREA-SUPERFICIE LIBRE
E	ENERGIA TOTAL
E_{min}	ENERGIA MINIMA
E_e	ENERGIA ESPECIFICA
Fr, F	NUMERO DE FROUDE
EC, TER_n	HACE REFERENCIA A UNA ECUACION DEL PROBLEMA
pdn	% DEL TIRANTE NORMAL
nufR	EXPRESION INTERMEDIA DEL CALCULO DEL PERFIL (METODO DEL PASO DIRECTO)
pend	DIFERENCIA DE PENDIENTES
AE	DIFERENCIA DE ENERGIAS
AX	LONGITUD EN X
N	EXPRESION INTERMEDIA DEL CALCULO DEL PERFIL (METODO DE INTEGRACION DIRECTA)
M	EXPRESION INTERMEDIA DEL CALCULO DEL PERFIL (METODO DE INTEGRACION DIRECTA)
J	EXPRESION INTERMEDIA DEL CALCULO DEL PERFIL (METODO DE INTEGRACION DIRECTA)
V	EXPRESION INTERMEDIA DEL CALCULO DEL PERFIL (METODO DE INTEGRACION DIRECTA)
FUN Y FVJ	VALOR DE LA TABLA 11 (METODO DE INTEGRACION DIRECTA)

ΣAX	LONGITUD ACUMULADA HORIZONTAL DEL PERFIL
Azo	PENDIENTE EN LA TRANSICION
bf	BASE EN EL MEDIDOR
bc	BASE EN EL CANAL DE ENTRADA Y/O CANAL DE SALIDA
Ych	TIRANTE EN EL CANAL DE ENTRADA Y/O CANAL DE SALIDA
Ach	AREA HIDRAULICA EN EL CANAL
Ech	ENERGIA ESPECIFICA EN EL CANAL
Ef	ENERGIA ESPECIFICA EN EL CANAL MAS LAS PERDIDAS DE CARGA
Yf	TIRANTE EN EL MEDIDOR
Uf	VELOCIDAD DEL FLUJO
hl	PERDIDA DE CARGA
L	LONGITUD DE LA TRANSICION
X	DISTANCIA HORIZONTAL EN LA CUAL SE CALCULA EL PERFIL
lam	COEFICIENTE DE CALCULO EN LA TRANSICION
Xa	DISTANCIA ANTERIOR
ba	BASE ANTERIOR
ma	TALUD ANTERIOR
Ya	TIRANTE ANTERIOR
Azi	PENDIENTE ANTERIOR
Aa	AREA ANTERIOR
Ua	VELOCIDAD ANTERIOR
Ea	ENERGIA ANTERIOR
hli	PERDIDA DE ENERGIA INTERMEDIA
con	ACUMULADOR DE VALORES
Ra	RADIO DE CURVATURA
e	BORDO LIBRE
Ah	BORDO LIBRE ADICIONAL

et
O.C.
CONT.
"O. x"
x = 0
OPC
F.P.

BORDO LIBRE TOTAL
OTRO CALCULO
CONTINUAR
OTRA VARIABLE
LIMPIEZA DE ALGUNA VARIABLE
OPCION
FIN DEL PROGRAMA

CAPITULO I.

CAPITULO I.- ASPECTOS GENERALES DEL FLUJO PERMANENTE.

ASPECTOS FUNDAMENTALES.

Un canal es un conducto para trasladar algún tipo de fluido de un lugar a otro el cual tiene una superficie libre la cual se encuentra expuesta a la atmósfera. Esta superficie va a ser la frontera entre dos tipos de fluidos, el fluido debido al aire y el fluido debido al líquido que conlleva el canal. Estos tipos de fluidos tienen diferente densidad, la densidad del aire es muy pequeña en comparación con la densidad del líquido, y algo muy importante, la presión en el aire es constante y en el líquido no lo es debido a la distribución de velocidades que se explicará más adelante en este capítulo.

Otra definición de canal: Es una obra construida a cielo abierto, que se hace para conducir por gravedad del agua del lugar de captación al punto donde va a ser utilizada, careciendo de presión por estar en contacto directo con la presión atmosférica.

En los canales la velocidad que lleva el líquido puede provocar diferentes tipos de flujo, como puede ser en la mayoría de los casos flujo turbulento que además en estos casos no son afectados por la tensión superficial, como lo es el caso del salto Hidráulico, pero existen casos en que

se pueden presentar flujos con estratificación, esto es: son flujos en los cuales el Ing. Civil se encuentra con una mezcla de fluidos, provocándose una variación en su densidad, y cuando se presenta en un fluido se le llama flujo estratificado.

ELEMENTOS DE LA SECCION DEL CANAL.

GASTO. Es la cantidad de fluido que pasa en un determinado punto de aforo en la unidad de tiempo (Q, q).

TIRANTE DEL FLUJO. Es la distancia vertical desde el punto mas bajo de la sección del canal hasta la superficie del agua (d, Y).

NIVEL DEL AGUA. Es la elevación de la superficie libre del agua relativa a un plano de referencia.

ANCHO SUPERFICIAL. El ancho superficial de un canal es el ancho de la superficie libre del agua en un canal (T, B).

AREA HIDRAULICA. Es el área de la sección transversal del flujo, tomada normal a la dirección del flujo (A).

PERIMETRO MOJADO. Es la suma de las dimensiones lineales en las cuales el fluido esta en contacto (P).

RADIO HIDRAULICO. Es la relación entre el Area Hidráulica y el Perímetro mojado (R).

TIRANTE HIDRAULICO . Es la relación del área Hidráulica con el ancho superficial (D).

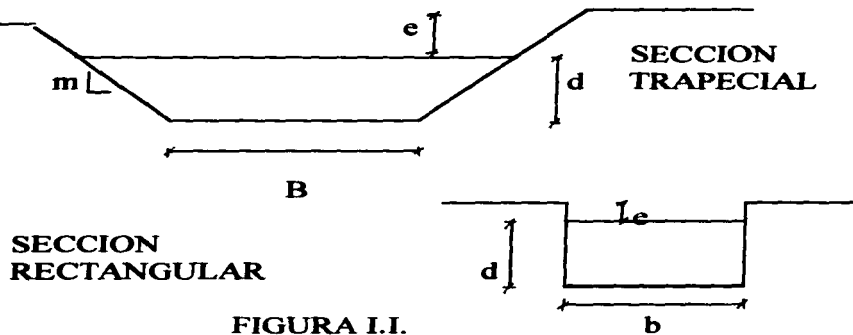
TALUD. Es el grado de inclinación de las paredes del canal (m, k, z).

SUPERFICIE LIBRE. Es la altura entre la superficie libre del agua y la altura del canal, la cual nos permite un rango de seguridad en la operación del canal, con el fin de evitar derrames de líquidos (e).

PENDIENTE. La pendiente de un canal es la relación entre el desnivel y la distancia horizontal (S).

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD. La selección de un adecuado coeficiente de rugosidad es de importancia debido a que con este factor se podrán conocer pérdidas y la resistencia que opone el material a que circule el fluido, así como su porosidad (n).

En la figura I.I., se ilustran los principales elementos, en las secciones de canales mas empleadas.



VISCOSIDAD, DENSIDAD Y GRAVEDAD. Se puede definir en forma sencilla que la viscosidad es un factor muy importante para definir los tipos de fluido que se pueden presentar en los canales.

Cuando se presenta que las fuerzas de viscosidad de un fluido son mayores a las de inercia se dice que el flujo es laminar.

Cuando se tiene que las fuerzas de viscosidad son menores a las de inercia se dice que es un flujo turbulento y cuando existe la igualdad aparente se dice que es un flujo de transición.

Pero todo esto se puede expresar matemáticamente, fundados en la formula del numero de Reynolds, en los cuales se van a encontrar intervalos de valores para determinar un tipo de flujo, y esta formula es:

$$R = \mu L/r$$

de donde:

μ = Velocidad característica del flujo, después de tomar la velocidad promedio del flujo.

L = Longitud característica.

r = Viscosidad cinemática.

Como conclusión de este apartado se tendría :

Un flujo laminar es aquel en que las fuerzas de viscosidad son relativamente mas grandes que las fuerzas inerciales.

Un flujo turbulento, es aquel en que las fuerzas inerciales son relativamente mas grandes que las fuerzas de viscosidad.

Un flujo de transición, es aquel considerado como ni laminar ni turbulento, es decir, se encuentra en una etapa de cambio entre uno y otro.

Los intervalos para determinar el tipo de flujo (comportamiento) en función del numero de Reynolds son:

$R < 500$

$500 < R < 12500$

$12500 < R$

El flujo es Laminar

El flujo es Transicional

El flujo es Turbulento.

TIPOS DE CANALES.

Los canales abiertos pueden ser clasificados como naturales o artificiales. Los canales naturales se refieren a todos los canales que han sido desarrollados por procesos naturales y que no han tenido un cambio significativo, como ejemplo se podrían citar los ríos, los estuarios, etc... La categoría de los canales artificiales se refiere a todos los canales que han sufrido un impulso por parte de los

humanos , como ejemplo se tiene, canales de navegación, canales de riego, cunetas, etc..

Son construidos los canales para fines de irrigación, abastecimiento, saneamiento, para generar energía eléctrica, drenaje, control de avenidas para navegación, etc..

Características:

- 1.- Forma
- 2.- Pendiente.
- 3.- Area.
- 4.- Perímetro.
- 5.- Radio Hidráulico.
- 6.- Talud.

Por su forma pueden ser:

- 1.- Rectangulares.
- 2.- Trapezoidales.
- 3.- Triangulares.
- 4.- Semicircular.
- 5.- Parabólico.
- 6.- Ovalada.
- 7.- De herradura.
- 8.- Circular.
- 9.- Abovedada.
- 10 Elíptica.
11. Secciones Mixtas.

* Siendo la mas usual, la sección trapezoidal, y en ocasiones, la rectangular y la de herradura.

MOVIMIENTO DE AGUA EN LOS CANALES.

Distribución de Velocidades. Las velocidades en un canal son menores en los filetes líquidos que están en contacto con las paredes o que están cerca de ellas que en los filetes cercanos o centrales o los que se encuentran en la superficie libre, esto se debe a que la fricción es mucho mayor en las paredes que los que se encuentran alejados de ellas, por efecto de la rugosidad de las mismas. Si no existiera ninguna participación en el escurrimiento, la velocidad máxima se presentaría en la superficie libre del agua, pero en la practica no sucede así, debido en parte a la influencia de la atmósfera con lo que la velocidad máxima ocurre un poco abajo de la superficie libre.

A continuación se muestran las distribuciones de velocidades en las secciones transversales de canales trapeciales y rectangulares.

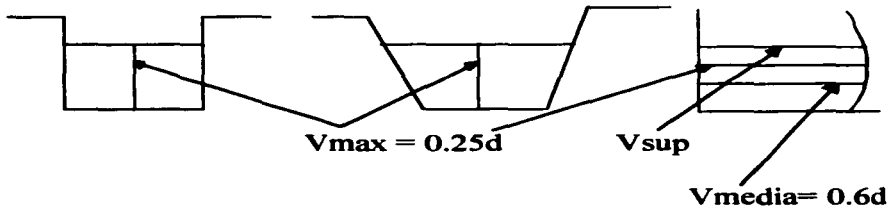


FIGURA I.II.

En la figura I.II. se ilustra la forma en que se presenta la distribución de velocidades sobre una vertical y con ella se observa que la velocidad media se localiza a una profundidad aproximada de 0.6 del tirante y es entre 0.8 y 0.95 de la velocidad superficial.

En un canal ancho, con gran velocidad y poco tirante, o bien en un canal liso, la velocidad máxima se puede encontrar con frecuencia sobre la superficie libre. La rugosidad de un canal aumenta la curvatura de la curva de distribución de velocidades sobre una vertical y la máxima se presenta abajo de la superficie libre (figura I.III).

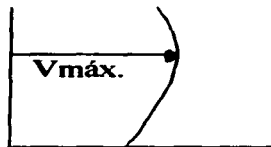


FIGURA I.III.

En canales muy anchos, la distribución de velocidades en la región central de la sección es prácticamente la misma que la que ocurre en un canal rectangular de ancho infinito, esto es, los bordes del canal prácticamente no afectan al flujo y si el ancho del canal es mayor de 5 a 10 veces el tirante, el canal se puede considerar como un flujo de tipo bidimensional.

CAPITULO II.

CAPITULO II.- FLUJO UNIFORME.

ASPECTOS FUNDAMENTALES.

La definición de flujo uniforme muy pocas veces se presenta en la realidad al analizar algún tipo de fluido, pero marca la pauta para visualizar el comportamiento del líquido debido a las condiciones que se presentan:

- a) El tirante, área hidráulica y la velocidad en un tramo de vena líquida son constantes.
- b) La línea del gradiente de energía, la línea de la plantilla y la superficie libre del agua son paralelos entre sí.

En general el flujo uniforme ocurre únicamente en canales prismáticos muy largos y rectos, donde puede obtenerse una velocidad terminal del flujo, y la pérdida de energía.

Se puede considerar aunque el flujo uniforme no permanente es teóricamente posible, rara vez ocurre en canales abiertos debido a varias circunstancias, entre las cuales se puede mencionar, la pendiente del canal, superficie rugosa, obras hidráulicas intermedias, etc., pero en este apartado trataremos el caso del flujo uniforme permanente.

- a) Superficie Rugosa. La superficie rugosa del perímetro de un canal proporciona un punto crítico de referencia en

la estimación del coeficiente de rugosidad. Una superficie rugosa depende del tipo de material de que este construido el canal y principalmente del material del que este revestido. Cuando el material del perímetro es fino, el valor de n (coeficiente de rugosidad) es relativamente bajo y no es afectado por cambios en el tirante del flujo, sin embargo cuando el perímetro es afectado con materiales granulares el valor de n es mayor y puede variar.

Se puede citar como ejemplo algunos canales en los cuales existen depósitos de material o bien existe la presencia de aluviones en el fondo del canal, lo cual ocasiona un valor de n alto en estados bajos del canal y un estado de n alto en la parte superior del mismo.

b) Vegetación. El valor estimado de n deberá tomar en cuenta el efecto de la vegetación en el retardo del fluido, es decir en su trayectoria. La importancia de la vegetación sobre n es una función del tirante del flujo, altura, densidad, distribución y tipo de vegetación.

c) Superficies no regulares en canales. Existen ocasiones que en el diseño de un canal el Ingeniero se ve obligado a hacer modificaciones en el proyecto del canal, esto como resultado, principalmente, de la topografía del terreno, al tipo de suelo, etc.. Pero también se presentan irregularidades en un canal debido a factores naturales, como pueden ser, el resultado de sedimentos o depósitos en general, estos dos factores (diseño y naturales) influyen en el valor de n .

d) Obstrucciones. Por lo regular en los canales se presentan una serie de objetos que dificultan el flujo del agua, estos tipos de obstrucciones influyen de manera significativa en el valor de n , en algunos casos se presentan una mezcla de fluidos en canales abiertos como

resultado de desechos arrojados al canal o bien ramas o arboles en el fluido, los cuales van a ser variar el valor de n ..

- f) La topografía en el canal. Como se menciona anteriormente en ocasiones en el diseño de un canal no quedan alternativas para su diseño, lo cual lleva al proyectista a emplear criterios que involucren curvas horizontales muy cerradas en el canal o bien el caso opuesto, lo cual trae como consecuencia un valor de n muy grande o un valor de n muy pequeño respectivamente, por que si hablamos de una curva cerrada, entendemos que el fluido al chocar con cada una de las paredes que forman al canal, dejara plasmado una diferencial de sedimento, lo cual convertirá al canal poco a poco en un conducto mas rugoso, mientras si la curva es moderada o abierta este problema se vera minimizado.
- e) El tirante en el fluido. Hablando hidrológicamente existen épocas en el año en que en los canales abiertos cambia constantemente su tirante Hidráulico, lo cual trae consigo una diferencia relativa de n , que en la mayoría de las ocasiones no es muy representativa.

PROBLEMA II.I.- Calcular el gasto de un canal de sección trapezoidal con $b=4$ mts., el tirante es de 2.2 mts., con un talud 3:2, con una pendiente de $S=0.0002$, y cuyas paredes están construidas de cemento liso, utilizar formula de Bazin.

Solución.

Obteniendo sus elementos Hidráulicos:

$$A = bd + md^2 = 4(2.2) + (3/2)*(2.2)^2 = 16.06 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2d(1 + m^2)^{1/2} = 4 + 2(2.2)(1 + (3/2)^2)^{1/2} = 11.93 \text{ m}$$

$$R = A/P = 16.06 \text{ m}^2 / 11.93 \text{ m} = 1.34 \text{ m}$$

Aplicando la formula No. 3.

$$c = 1 / (\alpha + (\beta/R))$$

De la tabla No. 2 obtenemos los valores de α y β

$$c = 1 / (0.00015 + (0.0000045/1.34)) = 6520$$

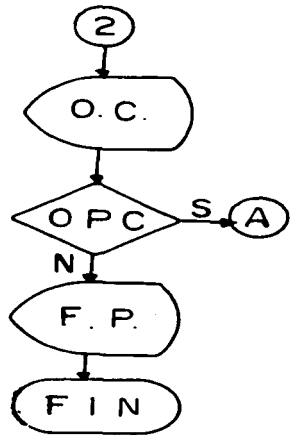
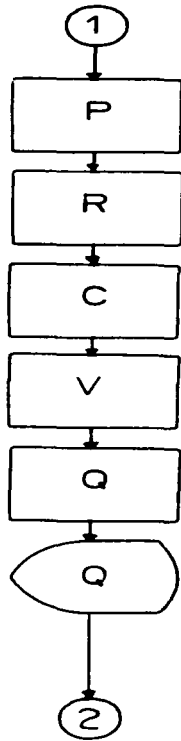
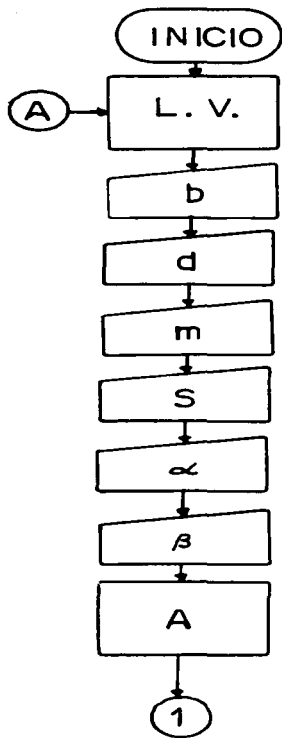
Aplicando la formula No. 2 de Manning.

$$V = c(RS)^{1/2} = 6520 * (1.34 * 0.0002)^{1/2} = 106.73 \text{ m/s}$$

y finalmente, por continuidad:

$$Q = VA = 106.73 \text{ m/s} * 16.06 \text{ m}^2 = 1714 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\underline{\underline{Q = 1714 \text{ m}^3/\text{s}}}$$



```

5 b = d = m = s = alf = bet = A = P = R = C = V = 0
10 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
20 INPUT "TIRANTE DEL CANAL"; d
30 INPUT "TALUD"; m
40 INPUT "PENDIENTE"; s
50 INPUT "alfa basin"; alf
60 INPUT "beta basin"; bet
70 A = (b * d) + m * (d ^ 2)
80 P = b + (2 * d * ((1 + m ^ 2) ^ (1 / 2)))
90 R = A / P
100 C = (1 / (alf + (bet / R)))
110 V = C * ((R * s) ^ (1 / 2))
120 Q = V * A
130 PRINT "EL GASTO ES:"; Q
140 INPUT "OTRO CALCULO (S=1 N=2)?"; OPC
150 IF OPC = 1 GOTO 5
160 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
170 END

```

$$\text{AREA} = A^2 + B^2 + (C^2 + B^2)^2$$

$$\text{PERIMETRO} = A^2 + ((2 * B^2) * (1 + (C^2 + 2)))^{(1/2)}$$

$$\text{RADIO} = G^2 / H^2$$

$$\text{COEF. C.} = 1 / (E^2 + (F^2 / Y^2))$$

$$\text{VELOCIDAD} = J^2 * ((I^2 * D^2)^{(1/2)})$$

$$\text{GASTO} = G^2 * K^2$$

BASE	FRONTE	TALLD	PENSIENTE	ALFA	BETA	AREA	PERIMTRO	RADIO	COEF. C	VELOCIDAD
4	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	16,06	11,93	1,35	6521,31	106,99
4,5	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	17,16	12,43	1,36	6524,85	108,41
5	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	18,26	12,93	1,41	6527,97	109,70
5,5	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	19,36	13,43	1,44	6530,73	110,88
6	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	20,46	13,93	1,47	6533,20	111,97
6,5	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	21,56	14,43	1,49	6535,42	112,97
7	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	22,66	14,93	1,52	6537,43	113,89
7,5	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	23,76	15,43	1,54	6539,25	114,75
8	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	24,86	15,93	1,56	6540,91	115,55
8,5	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	25,96	16,43	1,58	6542,43	116,29
9	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	27,06	16,93	1,60	6543,83	116,99
9,5	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	28,16	17,43	1,62	6545,12	117,64
10	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	29,26	17,93	1,63	6546,31	118,26
10,5	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	30,36	18,43	1,65	6547,41	118,84
11	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	31,46	18,93	1,66	6548,44	119,38
11,5	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	32,56	19,43	1,68	6549,40	119,89
12	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	33,66	19,93	1,69	6550,30	120,38
12,5	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	34,76	20,43	1,70	6551,14	120,84
13	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	35,86	20,93	1,71	6551,93	121,28
13,5	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	36,96	21,43	1,72	6552,67	121,69
14	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	38,06	21,93	1,74	6553,37	122,09
14,5	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	39,16	22,43	1,75	6554,04	122,46
15	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	40,26	22,93	1,76	6554,66	122,82
15,5	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	41,36	23,43	1,77	6555,25	123,17
16	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	42,46	23,93	1,77	6555,81	123,49
16,5	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	43,56	24,43	1,78	6556,35	123,81
17	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	44,66	24,93	1,79	6556,85	124,11
17,5	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	45,76	25,43	1,80	6557,33	124,39
18	2,2	1,5	0,0002	0,00015	0,0000045	46,86	25,93	1,81	6557,79	124,67

GASTO
1718,33
1860,32
2003,12
2146,85
2290,81
2435,54
2580,77
2726,46
2872,54
3019,00
3165,79
3312,67
3460,24
3607,85
3755,70
3903,75
4052,00
4200,43
4348,03
4497,78
4646,67
4795,70
4944,85
5094,11
5243,49
5392,96
5542,53
5692,19
5841,93

PROBLEMA II.II.- En una zona de lluvias se desea (canal abierto) conocer el gasto en un canal de sección trapezoidal con una base de 2mts., tirante de 1.2 mts., un talud de 2:1, con pendiente de 0.00066 y cuyas paredes debido al diseño están construidas de concreto, utilizar fórmulas de Koseny y Manning.

Solución.

Por Manning:

Cálculo de sus elementos geométricos:

$$A = bd + md^2 = 2 \cdot (1.2) + 2 \cdot (1.2)^2 = 5.28 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2d(1 + m^2)^{1/2} = 7.37 \text{ m}$$

$$R = A/P = 5.28/7.37 = 0.72 \text{ m}$$

Aplicando la fórmula No. 6, de Manning.

$$c = 1/n \cdot R^{1/6} = 1/0.014 \cdot (0.72)^{1/6} = 67.62$$

Sustituyendo en la fórmula 2, de Manning.

$$V = c(RS)^{1/2} = 67.62 \cdot (0.72 \cdot (0.00066))^{1/2} = 1.474 \text{ m/s}$$

Por continuidad:

$$Q = VA = 1.474 \cdot 5.28 = 7.783 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\underline{Q = 7.783 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Por Koseny:

Aplicando la formula No. 7.

$$T = b + 2md = 2 + 2 * (2/1) * (1.2) = 6.8 \text{ m}$$

$$D = A/T = 5.28/6.8 = 0.776 = 0.78 \text{ m}$$

De la tabla No. 8, $N_c = 62$

$$c = 20 \log D + N_c$$

$$c = 20 \log (0.78) + 62$$

$$c = 59.84$$

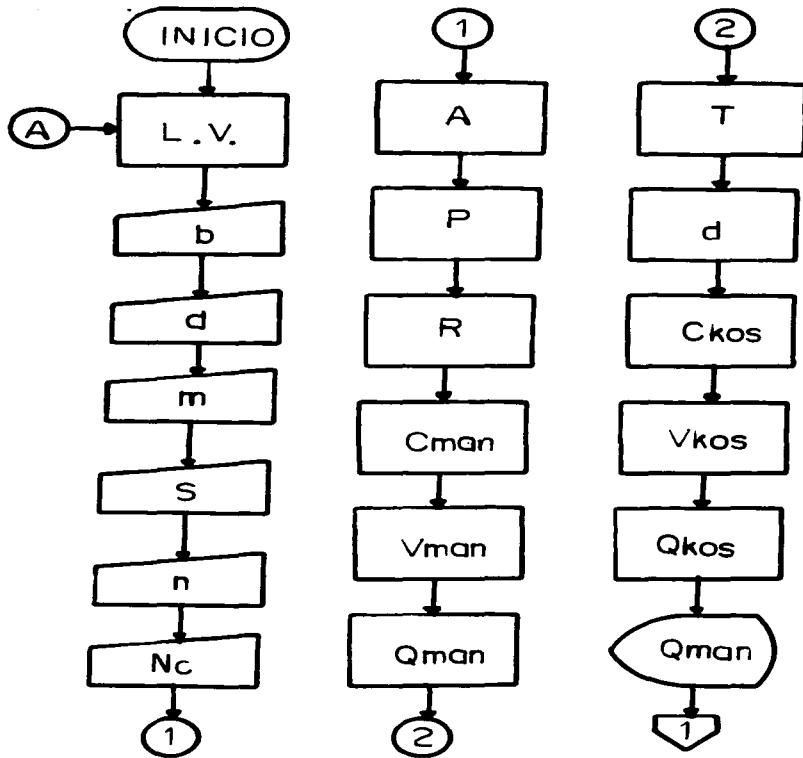
Aplicando Manning.

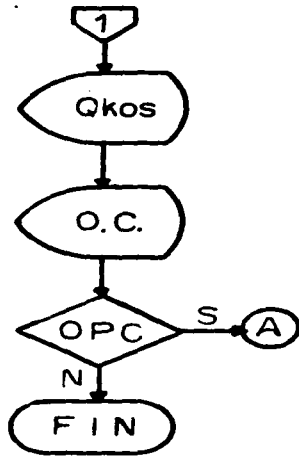
$$V = c(RS)^{1/2} = 59.84(0.72 * 0.00066)^{1/2} = 1.304 \text{ m/s}$$

Por continuidad:

$$Q = VA = 1.304 * 5.28 = 6.89 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\underline{\underline{Q = 6.89 \text{ m}^3/\text{s}}}$$





```

5 b = d = A = P = R = S = m = n = Nc = T = d = 0
10 INPUT "BASE"; b
20 INPUT "TIRANTE"; d
30 INPUT "TALUD"; m
40 INPUT "PENDIENTE"; S
50 INPUT "C. RUGOSIDAD"; n
60 INPUT "Nc"; Nc
70 A = (b * d) + (m * d ^ 2)
80 P = b + (2 * d * ((1 + m ^ 2) ^ (1 / 2)))
90 R = A / P
110 Qman = (1 / n) * (R ^ (1 / 6))
120 Vman = Qman * ((R * S) ^ (1 / 2))
130 Qman = Vman * A
135 T = b + (2 * m * d)
140 d = A / T
150 ckos = 20 * LOG(d) + Nc
160 Vkos = ckos * ((R * S) ^ (1 / 2))
170 Qkos = Vkos * A
180 PRINT "EL GASTO DE MANNING ES:"; Qman
190 PRINT "EL GASTO DE KOSENY ES:"; Qkos
200 INPUT "OTRO CALCULO (S=1 N=2)?"; OPC
210 IF OPC = 1 GOTO 5
220 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
230 END

```

$$\text{AREA} = A2 * B2 + ((2 * (B2^2)))$$

$$\text{PERIMETRO} = A2 + (2 * B2 * (1 + C2^(2))^(1/2))$$

$$\text{RADIO HID.} = G2/H2$$

$$\text{C. MAN.} = (1 / E2) * (I2^(1/6))$$

$$\text{V. MAN.} = J2 * ((I2 * D2)^(1/2))$$

$$\text{SUP. LIBRE} = A2 + (2 * C2 * B2)$$

$$D = G2/L2$$

$$\text{CKOS} = 20 * \text{LOG}(M2) + F2$$

$$\text{VKOS} = N2 * ((I2 * D2)^(1/2))$$

$$\text{QMAN} = K2 * G2$$

$$\text{QKOS} = O2 * G2$$

BASE	FRANTE	FALLO	PENDIENTE	C. REG. 1	CREF. No	AREA	PERMETRO	BANDO IND.	C. REG.	V. MIN	SUP. LINEA
2	1,2	2	0,00088	0,014	62	5,28	7,37	0,72	67,57	1,47	6,8
2	1,3	2	0,00088	0,014	62	5,98	7,81	0,77	68,31	1,54	7,2
2	1,4	2	0,00088	0,014	62	6,72	8,28	0,81	69,01	1,60	7,6
2	1,5	2	0,00088	0,014	62	7,5	8,71	0,86	69,67	1,66	8
2	1,6	2	0,00088	0,014	62	8,32	9,18	0,91	70,30	1,72	8,4
2	1,7	2	0,00088	0,014	62	9,18	9,60	0,96	70,89	1,78	8,8
2	1,8	2	0,00088	0,014	62	10,08	10,05	1,00	71,46	1,84	9,2
2	1,9	2	0,00088	0,014	62	11,02	10,50	1,05	72,01	1,90	9,6
2	2	2	0,00088	0,014	62	12	10,94	1,10	72,53	1,95	10
2	2,1	2	0,00088	0,014	62	13,02	11,39	1,14	73,04	2,01	10,4
2	2,2	2	0,00088	0,014	62	14,08	11,84	1,19	73,52	2,06	10,8
2	2,3	2	0,00088	0,014	62	15,18	12,29	1,24	73,99	2,11	11,2
2	2,4	2	0,00088	0,014	62	16,32	12,73	1,28	74,45	2,17	11,6
2	2,5	2	0,00088	0,014	62	17,5	13,18	1,33	74,88	2,22	12
2	2,6	2	0,00088	0,014	62	18,72	13,63	1,37	75,31	2,27	12,4
2	2,7	2	0,00088	0,014	62	19,98	14,07	1,42	75,72	2,32	12,8
2	2,8	2	0,00088	0,014	62	21,28	14,52	1,47	76,13	2,37	13,2
2	2,9	2	0,00088	0,014	62	22,62	14,97	1,51	76,52	2,42	13,6
2	3	2	0,00088	0,014	62	24	15,42	1,56	76,90	2,46	14
2	3,1	2	0,00088	0,014	62	25,42	15,86	1,60	77,27	2,51	14,4
2	3,2	2	0,00088	0,014	62	26,88	16,31	1,65	77,63	2,56	14,8
2	3,3	2	0,00088	0,014	62	28,38	16,76	1,69	77,98	2,61	15,2
2	3,4	2	0,00088	0,014	62	29,92	17,21	1,74	78,33	2,65	15,6
2	3,5	2	0,00088	0,014	62	31,5	17,65	1,78	78,67	2,70	16
2	3,6	2	0,00088	0,014	62	33,12	18,10	1,83	79,00	2,75	16,4
2	3,7	2	0,00088	0,014	62	34,78	18,55	1,88	79,32	2,79	16,8
2	3,8	2	0,00088	0,014	62	36,48	18,99	1,92	79,64	2,84	17,2
2	3,9	2	0,00088	0,014	62	38,22	19,44	1,97	79,95	2,88	17,6
2	4	2	0,00088	0,014	62	40	19,89	2,01	80,25	2,92	18

D	C. 600	V. 600	Q. 600	Q. 600
0,76	59,80	1,30	7,76	6,87
0,83	60,39	1,36	9,16	8,12
0,88	60,93	1,41	10,75	9,49
0,94	61,44	1,46	12,46	10,99
0,99	61,92	1,52	14,32	12,62
1,04	62,37	1,57	16,35	14,38
1,10	62,79	1,62	18,53	16,29
1,15	63,20	1,66	20,89	18,33
1,20	63,58	1,71	23,41	20,53
1,25	63,95	1,76	26,12	22,87
1,30	64,30	1,80	29,00	25,37
1,36	64,64	1,85	32,07	28,02
1,41	64,97	1,89	35,34	30,84
1,46	65,28	1,93	38,79	33,82
1,51	65,58	1,97	42,45	36,96
1,56	65,87	2,02	46,31	40,28
1,61	66,15	2,06	50,38	43,78
1,66	66,42	2,10	54,66	47,45
1,71	66,68	2,14	59,16	51,30
1,77	66,94	2,18	63,88	55,33
1,82	67,18	2,22	68,82	59,56
1,87	67,42	2,25	73,99	63,97
1,92	67,66	2,29	79,40	68,58
1,97	67,88	2,33	85,04	73,38
2,02	68,10	2,37	90,92	78,39
2,07	68,32	2,40	97,05	83,60
2,12	68,53	2,44	103,43	89,01
2,17	68,74	2,48	110,06	94,63
2,22	68,94	2,51	116,95	100,46

PROBLEMA II.III.- En una zona con flujo uniforme se desea determinar el gasto de un canal trapecial teniendo como datos exploratorios los siguientes:

$$d = 2.28 \text{ m.}$$

$$b = 5.0 \text{ m.}$$

$$S = 0.00025$$

$$n = 0.030$$

$$m = 1.5$$

Solución.

Cálculo de sus elementos geométricos:

$$A = bd + md^2 = 5(2.28) + 1.5(2.28)^2 = 19.2 \text{ m}^2$$

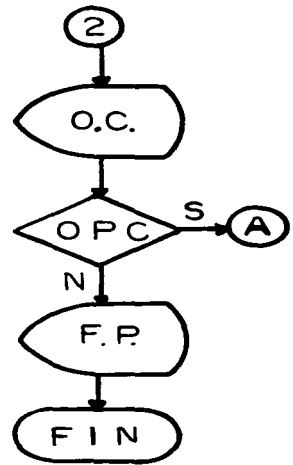
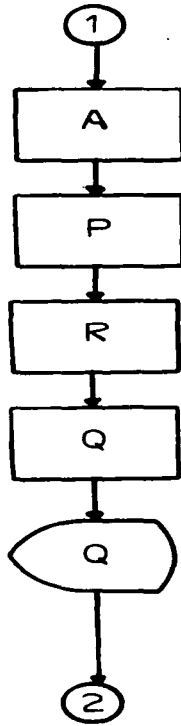
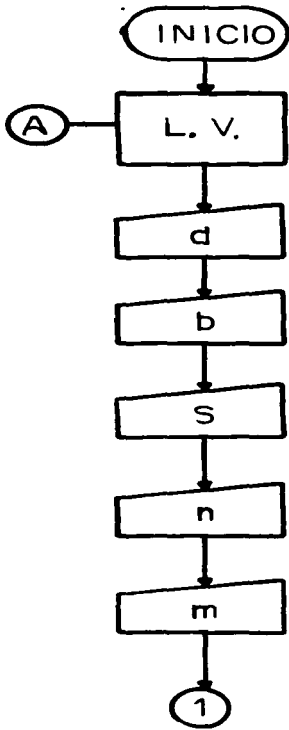
$$P = b + 2d(1+m^2)^{1/2} = 13.22 \text{ m}$$

$$R = A/P = 19.2/13.22 = 1.45 \text{ m}$$

De la fórmula No. 1, aplicando continuidad:

$$Q = A/n * R^{2/3} * S^{1/2} = 19.2/0.030 * (1.45)^{2/3} * (0.00025)^{1/2} \\ = 12.97 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\underline{\underline{Q = 12.97 \text{ m}^3/\text{s}}}$$



```

5 b = d - A = P = R = S = M = 0
10 INPUT "TIRANTE DEL CANAL"; d
20 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
30 INPUT "PENDIENTE DEL CANAL"; S
40 INPUT "C. rugosidad"; n
50 INPUT "TALUD"; m
60 A = (b * d) + (m * d ^ 2)
70 P = b + (2 * d * ((1 + m ^ 2) ^ (1 / 2)))
80 R = A / P
90 Q = A / n * (R ^ (2 / 3) * S ^ (1 / 2))
100 PRINT "EL GASTO ES:"; Q
110 INPUT "OTRO CALCULO (S=1, M=2)"; OPC
120 IF OPC = 1 GOTO 5
130 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
140 END

```


$$\text{AREA} = (B2 \cdot A2) + ((E2 \cdot A2 \cdot A2))$$

$$\text{PERIMETRO} = B2 + (2 \cdot A2 \cdot ((1 + (E2 \cdot E2))^{(1/2)}))$$

$$\text{RADIO} = F2 / G2$$

$$\text{GASTO} = (F2 / D2) \cdot ((H2)^{(2/3)}) \cdot ((C2)^{(1/2)})$$

Hoja 1

TIRANTE	BASE	PENSIÓN	C. MUDAN.	TALLU	AREA	PENSIÓN	BASE	BASE
2.20	5	0,00025	0,03	1,5	19,20	13,22	1,45	12,97
3.20	5	0,00025	0,03	1,5	32,54	18,83	1,93	28,82
4.20	5	0,00025	0,03	1,5	48,88	20,43	2,39	40,08
5.20	5	0,00025	0,03	1,5	68,22	24,04	2,84	72,07
6.20	5	0,00025	0,03	1,5	90,56	27,64	3,28	105,28
7.20	5	0,00025	0,03	1,5	115,90	31,25	3,71	148,36
8.20	5	0,00025	0,03	1,5	144,24	34,85	4,14	195,95
9.20	5	0,00025	0,03	1,5	175,58	38,46	4,57	254,66
10.20	5	0,00025	0,03	1,5	209,92	42,07	4,99	323,08
11.20	5	0,00025	0,03	1,5	247,26	45,67	5,41	401,80
12.20	5	0,00025	0,03	1,5	287,60	49,28	5,84	491,36
13.20	5	0,00025	0,03	1,5	330,94	52,88	6,26	592,32
14.20	5	0,00025	0,03	1,5	377,28	56,49	6,68	705,21
15.20	5	0,00025	0,03	1,5	426,62	60,09	7,10	830,55
16.20	5	0,00025	0,03	1,5	478,96	63,70	7,52	968,85
17.20	5	0,00025	0,03	1,5	534,30	67,30	7,94	1120,83
18.20	5	0,00025	0,03	1,5	592,64	70,91	8,36	1286,36
19.20	5	0,00025	0,03	1,5	653,98	74,52	8,78	1466,53
20.20	5	0,00025	0,03	1,5	718,32	78,12	9,19	1661,62
21.20	5	0,00025	0,03	1,5	785,66	81,73	9,61	1872,11
22.20	5	0,00025	0,03	1,5	856,00	85,33	10,03	2098,44
23.20	5	0,00025	0,03	1,5	929,34	88,94	10,45	2341,08
24.20	5	0,00025	0,03	1,5	1005,68	92,54	10,87	2600,47
25.20	5	0,00025	0,03	1,5	1085,02	96,15	11,28	2877,06
26.20	5	0,00025	0,03	1,5	1167,36	99,75	11,70	3171,29
27.20	5	0,00025	0,03	1,5	1252,70	103,36	12,12	3483,58
28.20	5	0,00025	0,03	1,5	1341,04	106,96	12,54	3814,37
29.20	5	0,00025	0,03	1,5	1432,38	110,57	12,95	4164,07
30.20	5	0,00025	0,03	1,5	1526,72	114,18	13,37	4533,11

PROBLEMA II.IV.- Encontrar la velocidad y la pendiente en un canal de sección trapezoidal teniendo como datos los siguientes valores:

$$Q = 12.97 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$d = 2.28 \text{ m}$$

$$b = 5 \text{ m}$$

$$n = 0.030$$

$$m = 1.5$$

Solución.

Aplicando la formula 1.

$$V = 1/n * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Por continuidad:

$$V = Q/A$$

$$V = 12.97/19.197 = 0.675 \text{ m/s}$$

$$\underline{V = 0.675 \text{ m/s}}$$

Cálculando sus elementos geométricos:

$$A = bd + md^2 = 5(2.28) + 1.5(2.28)^2 = 19.197 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2d(1+m^2)^{1/2} = 5 + 2(2.28)*(1+1.5^2)^{1/2} = 13.22 \text{ m}$$

$$R = A/P = 19.197/13.22 = 1.452 \text{ m}$$

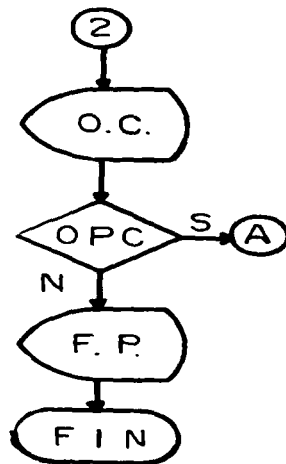
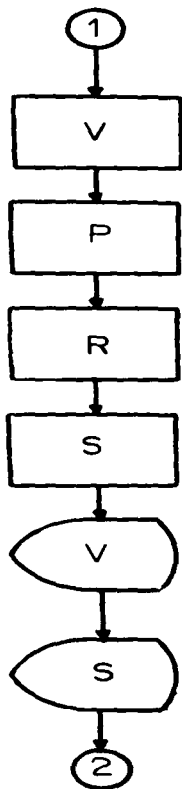
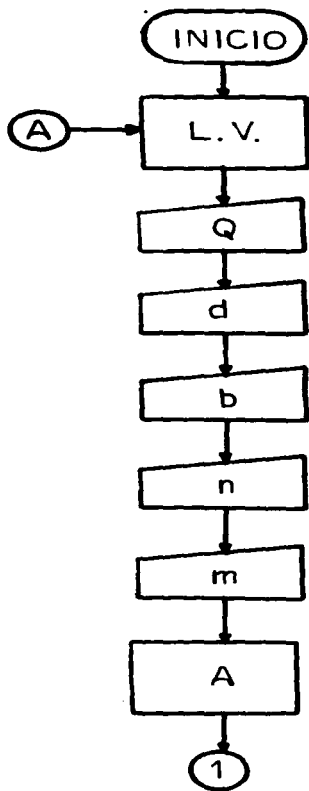
De la formula No. 1:

$$V = 1/n * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Despejando:

$$S = (Vn/R^{2/3})^2 = (0.675*0.030/1.452^{2/3})^2 = 0.00024$$

$$\underline{\underline{S = 0.00024}}$$



```

5 b = d = A = P = R = S = n = 0
10 INPUT " GASTO DEL CANAL"; Q
20 INPUT " TIRANTE DEL CANAL"; d
30 INPUT " BASE DEL CANAL"; b
40 INPUT "C. rugosidad"; n
50 INPUT "TALUD"; m
55 A = (b * d) + (m * d ^ 2)
60 V = Q / A
70 P = b + (2 * d * ((1 + m ^ 2) ^ (1 / 2)))
80 R = A / P
100 S = ((V * n) / (R ^ (2 / 3))) ^ 2
110 PRINT "LA VELOCIDAD ES:"; V
120 PRINT "LA PENDIENTE ES:"; S
130 INPUT "OTRO CALCULO (S=1, N=2)"; OPC
140 IF OPC = 1 GOTO 5
150 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
160 END

```

$$Q(m^3/S) = A2*1000$$

$$VELOCIDAD = B2/H2$$

$$AREA = (C2*D2)+(F2*C2*C2)$$

$$PERIMETRO = D2 +(2*C2*((1+(F2*F2))^(1/2))))$$

$$RADIO = H2/I2$$

$$PENDIENTE = ((G2*E2)/((J2)^(2/3)))^(2)$$

Q (LTS/S)	Q (m³/S)	TIRANTE	BASE	C. MARGINAL	ALZADO	VELOCIDAD	AREA	PERIMETRO	RANCHO	PENSIERE
0,01297	12,97	2,28	5	0,03	1,5	0,68	19,20	13,22	1,45	0,0002
0,08937	89,37	2,28	5	0,03	1,5	3,61	19,20	13,22	1,45	0,0071
0,12577	125,77	2,28	5	0,03	1,5	6,55	19,20	13,22	1,45	0,0235
0,18217	182,17	2,28	5	0,03	1,5	9,49	19,20	13,22	1,45	0,0493
0,23857	238,57	2,28	5	0,03	1,5	12,43	19,20	13,22	1,45	0,0845
0,29497	294,97	2,28	5	0,03	1,5	15,36	19,20	13,22	1,45	0,1292
0,35137	351,37	2,28	5	0,03	1,5	18,30	19,20	13,22	1,45	0,1834
0,40777	407,77	2,28	5	0,03	1,5	21,24	19,20	13,22	1,45	0,2469
0,46417	464,17	2,28	5	0,03	1,5	24,18	19,20	13,22	1,45	0,3200
0,52057	520,57	2,28	5	0,03	1,5	27,12	19,20	13,22	1,45	0,4025
0,57697	576,97	2,28	5	0,03	1,5	30,05	19,20	13,22	1,45	0,4944
0,63337	633,37	2,28	5	0,03	1,5	32,99	19,20	13,22	1,45	0,5958
0,68977	689,77	2,28	5	0,03	1,5	35,93	19,20	13,22	1,45	0,7098
0,74617	746,17	2,28	5	0,03	1,5	38,87	19,20	13,22	1,45	0,8289
0,80257	802,57	2,28	5	0,03	1,5	41,81	19,20	13,22	1,45	0,9598
0,85897	858,97	2,28	5	0,03	1,5	44,74	19,20	13,22	1,45	1,0958
0,91537	915,37	2,28	5	0,03	1,5	47,68	19,20	13,22	1,45	1,2444
0,97177	971,77	2,28	5	0,03	1,5	50,62	19,20	13,22	1,45	1,4024
1,02817	1028,17	2,28	5	0,03	1,5	53,56	19,20	13,22	1,45	1,5700
1,08457	1084,57	2,28	5	0,03	1,5	56,50	19,20	13,22	1,45	1,7469
1,14097	1140,97	2,28	5	0,03	1,5	59,43	19,20	13,22	1,45	1,9333
1,19737	1197,37	2,28	5	0,03	1,5	62,37	19,20	13,22	1,45	2,1292
1,25377	1253,77	2,28	5	0,03	1,5	65,31	19,20	13,22	1,45	2,3345
1,31017	1310,17	2,28	5	0,03	1,5	68,25	19,20	13,22	1,45	2,5492
1,36657	1366,57	2,28	5	0,03	1,5	71,18	19,20	13,22	1,45	2,7735
1,42297	1422,97	2,28	5	0,03	1,5	74,12	19,20	13,22	1,45	3,0071
1,47937	1479,37	2,28	5	0,03	1,5	77,06	19,20	13,22	1,45	3,2502
1,53577	1535,77	2,28	5	0,03	1,5	80,00	19,20	13,22	1,45	3,5027
1,59217	1592,17	2,28	5	0,03	1,5	82,94	19,20	13,22	1,45	3,7647

PROBLEMA II.V.- Determinar el coeficiente de rugosidad para un canal con los siguientes datos encontrados:

$$Q = 12.97 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$d = 2.28 \text{ m}$$

$$b = 5 \text{ m}$$

$$S = 0.00025$$

$$m = 1.5$$

Solución.

Utilizando la formula No. 1:

$$Q = A/n * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Cálculando sus elementos geométricos:

$$A = bd + md^2 = 5(2.28) + 1.5(2.28)^2 = 19.197 \text{ m}^2$$

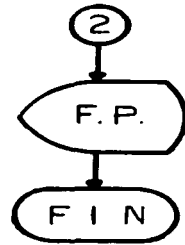
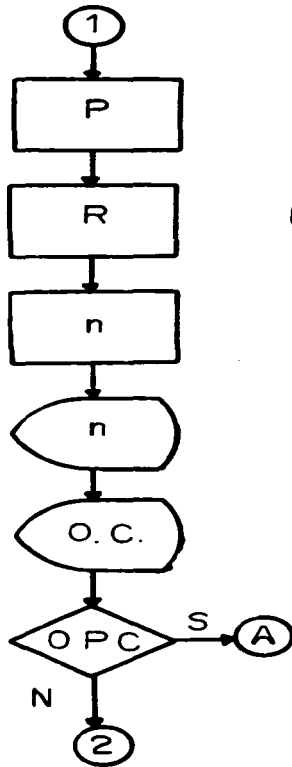
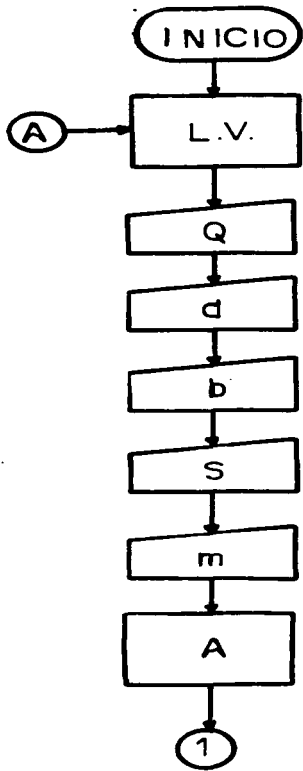
$$P = b + 2d(1+m^2)^{1/2} = 5 + 2(2.28)(1+1.5^2)^{1/2} = 13.22 \text{ m}$$

$$R = A/P = 19.197/13.22 = 1.452 \text{ m}$$

Despejando de la formula 1:

$$n = AR^{2/3} * S^{1/2} / Q = 19.197*(1.452)^{2/3}*(0.00025)^{1/2}/12.97 = 0.030$$

$$\underline{\underline{n = 0.030}}$$



```

5 b = d - A = P = R = S = n = Q = m = 0
10 INPUT "GASTO DEL CANAL"; Q
20 INPUT "TIRANTE DEL CANAL"; d
30 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
40 INPUT "PENDIENTE DEL CANAL"; S
50 INPUT "TALUD DEL CANAL"; m
60 A = (b * d) + (m * d ^ 2)
70 P = b + (2 * d * ((1 + m ^ 2) ^ (1 / 2)))
80 R = A / P
90 n = (A / Q) * (R ^ (2 / 3)) * (S ^ (1 / 2))
100 PRINT "EL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD ES:"; n
110 INPUT "OTRO CALCULO (S=1, M=2)"; OPC
120 IF OPC = 1 GOTO 5
130 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
140 END

```

$$Q(m^3/S) = A2 * 1000$$

$$AREA = (D2 * C2) + (F2 * C2 * C2)$$

$$PERIMETRO = D2 + (2 * C2 * ((1 + (F2 * F2))^{(1/2)}))$$

$$RADIO = G2 / H2$$

$$C. RUGOSI. = ((G2 * (I2)^{(2/3)}) * ((E2)^{(1/2)})) / B2$$

Q (LTS/S)	Q (m³/S)	TUBO (mm)	BASE	PENETRACION	TALLO	AREA	PERMETRO	BAÑO	C. BUENOS
0,01297	12,97	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,03001
0,09527	95,27	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00598
0,11757	117,57	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00331
0,16987	169,87	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00229
0,22217	222,17	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00175
0,27447	274,47	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00142
0,32677	326,77	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00119
0,37907	379,07	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00103
0,43137	431,37	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00090
0,48367	483,67	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00080
0,53597	535,97	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00073
0,58827	588,27	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00066
0,64057	640,57	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00061
0,69287	692,87	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00056
0,74517	745,17	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00052
0,79747	797,47	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00049
0,84977	849,77	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00046
0,90207	902,07	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00043
0,95437	954,37	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00041
1,00667	1006,67	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00039
1,05897	1058,97	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00037
1,11127	1111,27	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00035
1,16357	1163,57	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00033
1,21587	1215,87	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00032
1,26817	1268,17	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00031
1,32047	1320,47	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00029
1,37277	1372,77	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00028
1,42507	1425,07	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00027
1,47737	1477,37	2,28	5	0,00025	1,5	19,20	13,22	1,45	0,00026

PROBLEMA II.G.- Un constructor decide construir un canal de mampostería de ladrillo bien terminado que tendrá una base de 4m., un tirante Hidráulico de 5m., con un talud de 2:1, y debido a la topografía del lugar emplea una pendiente de 0.1% , con un coeficiente de rugosidad de 0.015. ¿Cual será el gasto que circulara por el mismo, utilizando las fórmulas de:

- a) Ganguillet y Kutter.
- b) Kutter.
- c) Manning.
- d) Bazin.
- e) Gráfica de la formula de Ganguillet y Kutter.
- f) Gráfica de Bazin.

Solución.

Cálculando sus elementos geométricos:

$$A = bd + md^2 = 4(5) + 2(5)^2 = 70 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2d (1+m^2)^{1/2} = 4 + 2(5) (1+2^2)^{1/2} = 26.36 \text{ m}$$

$$R = A/P = 70/26.36 = 2.65 \text{ m.}$$

a) De la tabla No. 7.

$$c = 77.5$$

Aplicando la formula 2, tenemos:

$$V = c (RS)^{1/2} = 77.5(2.65*0.001)^{1/2} = 3.98 \text{ m/s}$$

Por último, por continuidad:

$$Q = VA = 3.98(70) = 278.6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\underline{Q = 278 \text{ m}^3/\text{s}}$$

b)

De la tabla No.5, tomamos un valor de :

$$c = 44.86$$

o bien por la formula No. 5:

$$c = 100R^{1/2}/(m+R^{1/2}) = 100(2.65)^{1/2}/2+2.65^{1/2} = 44.86$$

Aplicando la formula No. 2.

$$V = c(RS)^{1/2} = 44.86(2.65*0.001)^{1/2} = 2.309 \text{ m/s}$$

Por continuidad:

$$Q = VA = 2.309 * 70 = 161.65 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\underline{Q = 161.65 \text{ m}^3/\text{s}}$$

c)

Aplicando la formula No. 6

$$c = 1/n R^{1/6}$$

$$c = 1/0.015 * (2.65)^{1/6} = 78.42$$

Con la formula 2, tenemos:

$$V = 78.42(2.65*0.001)^{1/2} = 4.030 \text{ m/s}$$

Por continuidad:

$$Q = VA = 4.030 * 70 = 282.58 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\underline{Q = 282.58 \text{ m}^3/\text{s}}$$

d)

De la tabla No. 2, $\gamma = 0.16$

Aplicando la formula No. 4:

$$V = 87 (RS)^{1/2} / (1+\gamma/R^{1/2})$$

$$V = 87 (2.65*0.001)^{1/2} / (1+0.16/2.65^{1/2}) = 4.07 \text{ m/s}$$

Por continuidad, tenemos:

$$Q = VA = 4.07 * 70 = 285.53 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\underline{Q = 285,53 \text{ m}^3/\text{s}}$$

c)

Uniendo el valor de $R^{1/2}$ con la intersección de la pendiente con la rugosidad del nomograma No. 3 se obtiene el valor de $c = 76$

De la formula 2:

$$V = 76(2.65 \cdot 0.001)^{1/2}$$

$$V = 3.91 \text{ m/s}$$

Por continuidad:

$$Q = VA = 3.91 \cdot 70 = 273.86 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\underline{Q = 273.86 \text{ m}^3/\text{s}}$$

f)

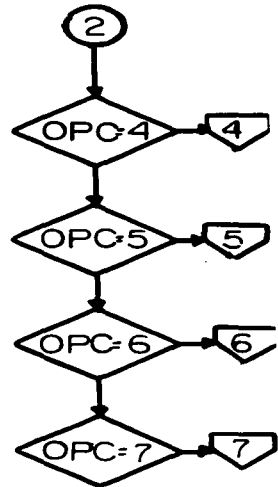
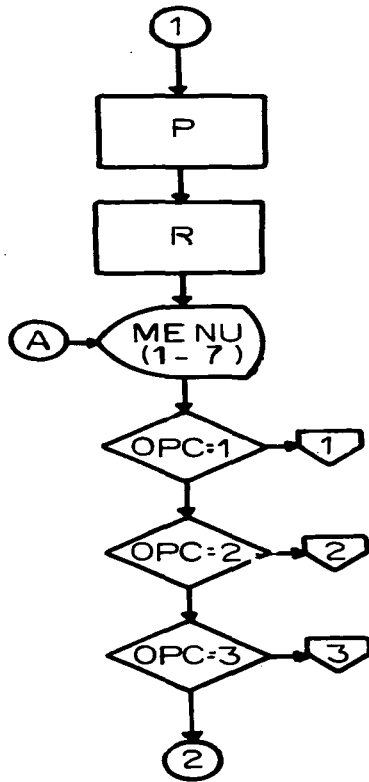
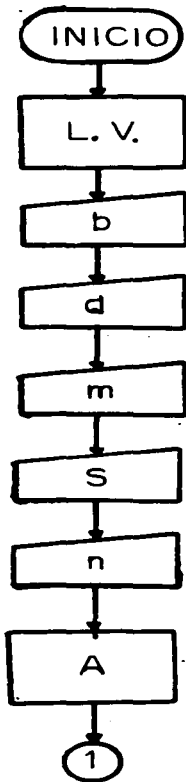
Del nomograma No. 2.

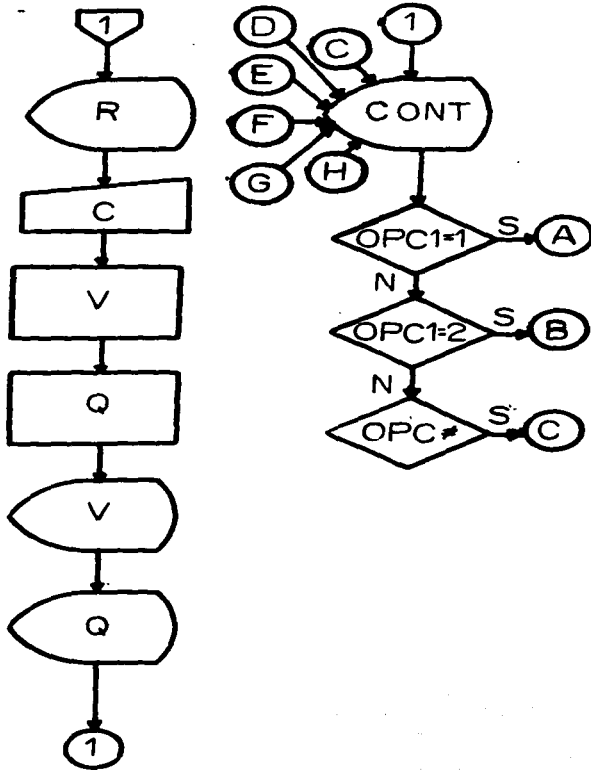
Uniendo el valor del radio con la pendiente se observa el valor de V y g

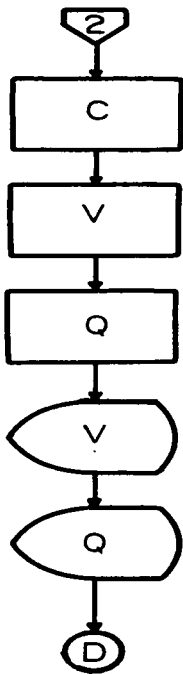
$$V = 3.2 \text{ m/s}$$

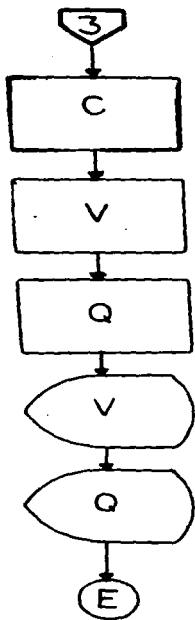
$$Q = 3.2 \cdot 70 = 224 \text{ m}^3/\text{s}$$

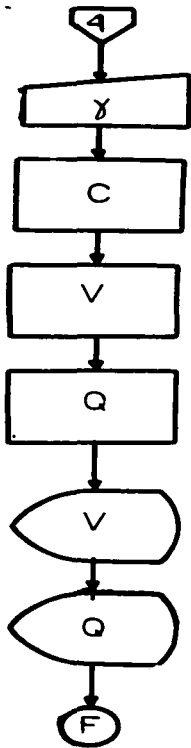
$$\underline{Q = 224 \text{ m}^3/\text{s}}$$

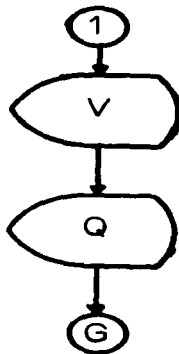
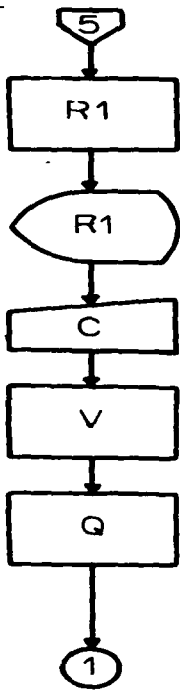


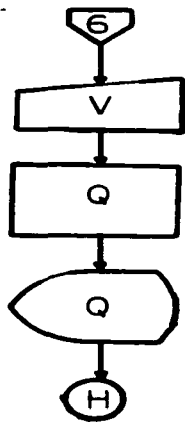


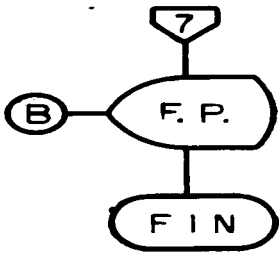












```

20 b = d = A = P = R = S = n = Q = c = 0
22 GOTO 155
25 PRINT "1.....GANGUILLET Y KUTTER"
30 PRINT "2.....KUTTER"
40 PRINT "3.....MANNING"
50 PRINT "4.....BAZIN"
60 PRINT "5.....GRAFICA DE G y K"
70 PRINT "6.....GRAFICA BAZIN"
75 PRINT "7.....FIN"
80 INPUT "OPCION (1-7)"; OPC
90 IF OPC = 1 GOTO 185
100 IF OPC = 2 GOTO 340
110 IF OPC = 3 GOTO 430
120 IF OPC = 4 GOTO 510
130 IF OPC = 5 GOTO 650
140 IF OPC = 6 GOTO 770
150 IF OPC = 7 GOTO 820
155 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
156 INPUT "TIRANTE DEL CANAL"; d
157 INPUT "TALUD DEL CANAL"; m
158 INPUT "PENDIENTE DEL CANAL"; S
159 INPUT "COEFICIENTE DE RUGOSIDAD"; n
160 A = (b * d) + (m * (d ^ 2))
161 P = b + ((2 * d) * ((1 + (m ^ 2)) ^ (1 / 2)))
162 R = A / P
183 GOTO 25
185 PRINT "EL RADIO HIDRAULICO ES:"; R
200 INPUT "C. velocidad"; c
210 V = c * ((R * S) ^ (1 / 2))
220 Q = V * A
230 PRINT "LA VELOCIDAD ES:"; V
240 PRINT "EL GASTO ES:"; Q
250 INPUT "CONTINUAR 1-SI, 2-NO"; OPC1
260 IF OPC1 = 1 GOTO 25
270 IF OPC1 = 2 OR OPC1 < 1 GOTO 250
280 IF OPC1 > 2 OR OPC1 < 1 GOTO 250
340 c = (100 * ((R ^ (1 / 2)) / (m + ((R ^ (1 / 2))))))
350 V = c * ((R * S) ^ (1 / 2))
360 Q = V * A
370 PRINT "VELOCIDAD DEL CANAL ES:"; V
380 PRINT "EL GASTO ES:"; Q
390 GOTO 250
430 c = (1 / n) * (R ^ (1 / 6))
450 V = c * ((R * S) ^ (1 / 2))
470 Q = V * A
480 PRINT "LA VELOCIDAD ES:"; V
490 PRINT "EL GASTO ES:"; Q
500 GOTO 250
510 INPUT "C. gama"; gama
550 c = (87 / (1 + (gama / ((R ^ (1 / 2))))))
560 V = c * ((R * S) ^ (1 / 2))
580 Q = V * A
590 PRINT "LA VELOCIDAD ES:"; V
600 PRINT "EL GASTO ES:"; Q
610 GOTO 250
650 R1 = (R ^ (1 / 2))
660 PRINT "R^1/2"; R1
670 INPUT "VALOR DE c"; c
671 V = c * ((R * S) ^ (1 / 2))
680 Q = V * A

```

```
710 PRINT "LA VELOCIDAD DEL CANAL ES"; V
720 PRINT "EL GASTO DEL CANAL ES"; Q
730 GOTO 250
770 INPUT "VELOCIDAD DEL CANAL"; V
790 Q = V * A
800 PRINT "EL GASTO DEL CANAL ES"; Q
810 GOTO 250
820 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
830 END
```

$$\mathbf{Arect} = \mathbf{A2*B2}$$

$$\mathbf{Prect} = \mathbf{A2*(2*B2)}$$

$$\mathbf{Rrect} = \mathbf{G2/H2}$$

$$\mathbf{Atrap} = \mathbf{(A2*B2)+(C2*(B2^2))}$$

$$\mathbf{Ptrap} = \mathbf{(A2+((2*B2)*((1+C2^2)^(1/2))))}$$

$$\mathbf{Rtrap} = \mathbf{J2/K2}$$

$$\mathbf{Ckutter} = \mathbf{(100*(L2^(1/2)))/(C2+(L2^(1/2)))}$$

$$\mathbf{Cman} = \mathbf{((1/E2)*(L2^(1/6)))}$$

$$\mathbf{Cbazin} = \mathbf{(87/(1+(F2/(L2^(1/2)))))}$$

$$\mathbf{Vgang} = \mathbf{M2*((L2*D2)^(1/2))}$$

$$\mathbf{Vkutter} = \mathbf{N2*((L2*D2)^(1/2))}$$

$$\mathbf{Vman} = \mathbf{O2*((L2*D2)^(1/2))}$$

$$\mathbf{Vbazin} = \mathbf{P2*((L2*D2)^(1/2))}$$

$$\mathbf{Vgk} = \mathbf{Q2*((L2*D2)^(1/2))}$$

$$\mathbf{Qgang} = \mathbf{S2*J2}$$

$$\mathbf{Qkutter} = \mathbf{T2*J2}$$

$$Q_{man} = U^2 \cdot J_2$$

$$Q_{bazin} = V^2 \cdot J_2$$

$$Q_{ggk} = W^2 \cdot J_2$$

$$Q_{gb} = R^2 \cdot J_2$$

BASE	FRONTE	TALLO	PENDIENTE	C. BUCCEL	GAMA	Arst	Prof	Arst	Armp	Pemp	Armp	Cmas	Clasier	Cmas
4	5	2	0,001	0,015	0,16	20	14	1,43	70,00	26,36	2,96	77,5	44,90	78,45
5	5,5	2	0,001	0,015	0,16	27,5	16	1,72	88,00	29,90	2,97	75,8	46,30	79,94
5	6	2	0,001	0,015	0,16	30	17	1,76	102,00	31,83	3,20	75,87	47,23	80,95
5	6,5	2	0,001	0,015	0,16	32,5	18	1,81	117,00	34,07	3,43	76,14	48,09	81,99
5	7	2	0,001	0,015	0,16	35	19	1,84	133,00	36,30	3,66	76,41	48,90	82,77
5	7,5	2	0,001	0,015	0,16	37,5	20	1,88	150,00	38,54	3,89	76,68	49,66	83,61
5	8	2	0,001	0,015	0,16	40	21	1,90	168,00	40,78	4,12	76,95	50,37	84,41
5	8,5	2	0,001	0,015	0,16	42,5	22	1,93	187,00	43,01	4,35	77,22	51,04	85,17
5	9	2	0,001	0,015	0,16	45	23	1,96	207,00	45,25	4,57	77,49	51,68	85,90
5	9,5	2	0,001	0,015	0,16	47,5	24	1,98	228,00	47,49	4,80	77,76	52,26	86,59
5	10	2	0,001	0,015	0,16	50	25	2,00	250,00	49,72	5,03	78,03	52,86	87,26
5	10,5	2	0,001	0,015	0,16	52,5	26	2,02	273,00	51,96	5,25	78,3	53,40	87,90
5	11	2	0,001	0,015	0,16	55	27	2,04	297,00	54,19	5,48	78,57	53,93	88,52
5	11,5	2	0,001	0,015	0,16	57,5	28	2,05	322,00	56,43	5,71	78,84	54,43	89,12
5	12	2	0,001	0,015	0,16	60	29	2,07	348,00	58,67	5,93	79,11	54,91	89,70
5	12,5	2	0,001	0,015	0,16	62,5	30	2,08	375,00	60,90	6,16	79,38	55,37	90,26
5	13	2	0,001	0,015	0,16	65	31	2,10	403,00	63,14	6,38	79,65	55,82	90,80
5	13,5	2	0,001	0,015	0,16	67,5	32	2,11	432,00	65,37	6,61	79,92	56,24	91,32
5	14	2	0,001	0,015	0,16	70	33	2,12	462,00	67,61	6,83	80,19	56,65	91,84
5	14,5	2	0,001	0,015	0,16	72,5	34	2,13	493,00	69,85	7,06	80,46	57,05	92,33
5	15	2	0,001	0,015	0,16	75	35	2,14	525,00	72,08	7,28	80,73	57,44	92,82
5	15,5	2	0,001	0,015	0,16	77,5	36	2,15	558,00	74,32	7,51	81	57,81	93,29
5	16	2	0,001	0,015	0,16	80	37	2,16	592,00	76,55	7,73	81,27	58,17	93,75
5	16,5	2	0,001	0,015	0,16	82,5	38	2,17	627,00	78,79	7,96	81,54	58,51	94,20
5	17	2	0,001	0,015	0,16	85	39	2,18	663,00	81,03	8,18	81,81	58,85	94,64
5	17,5	2	0,001	0,015	0,16	87,5	40	2,19	700,00	83,26	8,41	82,08	59,18	95,08
5	18	2	0,001	0,015	0,16	90	41	2,20	738,00	85,50	8,63	82,35	59,50	95,48
5	18,5	2	0,001	0,015	0,16	92,5	42	2,20	777,00	87,73	8,86	82,62	59,81	95,89
5	19	2	0,001	0,015	0,16	95	43	2,21	817,00	89,97	9,08	82,89	60,11	96,29

Chasle	Cogh	Hgh	Hgng	Huitor	Huan	Huata	Hvgh	Hgan	Huitor	Huan	Huata	Cogh	Hgh
79,22	76	3,2	3,99	2,31	4,04	4,08	3,92	279,8	162,0	283,0	285,8	274,1	224,0
79,61	76,2	3,38	4,12	2,52	4,36	4,34	4,18	362,8	222,2	363,6	362,0	365,6	297,4
79,86	76,4	3,56	4,29	2,67	4,58	4,52	4,32	436,1	272,7	467,4	461,1	441,1	363,1
80,09	76,6	3,74	4,46	2,82	4,80	4,69	4,49	522,1	329,8	561,5	549,1	525,2	437,8
80,29	76,8	3,92	4,62	2,96	5,01	4,86	4,65	615,1	393,7	666,3	646,3	618,2	521,4
80,47	77	4,1	4,78	3,10	5,22	5,02	4,80	717,8	464,7	782,4	753,1	720,6	615,0
80,64	77,2	4,28	4,94	3,23	5,42	5,18	4,96	829,8	543,2	910,2	869,6	832,5	719,0
80,80	77,4	4,46	5,09	3,37	5,62	5,33	5,10	952,1	629,3	1050,1	996,3	954,3	834,0
80,94	77,6	4,64	5,24	3,50	5,81	5,47	5,25	1084,9	723,5	1202,8	1133,3	1086,5	960,5
81,08	77,8	4,82	5,39	3,62	6,00	5,62	5,39	1226,5	826,0	1368,0	1281,0	1229,1	1099,0
81,21	78	5	5,53	3,75	6,19	5,78	5,53	1383,2	937,0	1546,8	1439,5	1382,7	1250,0
81,32	78,2	5,18	5,68	3,87	6,37	5,89	5,67	1549,5	1056,8	1739,5	1609,3	1547,5	1414,1
81,43	78,4	5,36	5,82	3,99	6,55	6,03	5,80	1727,5	1185,7	1946,3	1790,5	1723,8	1591,9
81,54	78,6	5,54	5,96	4,11	6,73	6,18	5,94	1917,7	1323,9	2167,7	1963,3	1911,6	1783,9
81,64	78,8	5,72	6,09	4,23	6,91	6,29	6,07	2120,4	1471,7	2404,1	2188,1	2112,0	1990,8
81,73	79	5,9	6,23	4,34	7,08	6,41	6,20	2335,8	1629,4	2655,9	2405,0	2324,7	2212,5
81,82	79,2	6,08	6,36	4,46	7,25	6,54	6,33	2564,5	1797,1	2923,4	2634,3	2550,0	2450,2
81,90	79,4	6,26	6,50	4,57	7,42	6,66	6,45	2806,6	1975,1	3207,1	2876,2	2788,3	2704,3
81,98	79,6	6,44	6,63	4,68	7,59	6,78	6,58	3062,5	2163,7	3507,3	3131,0	3040,0	2975,3
82,06	79,8	6,62	6,76	4,79	7,76	6,89	6,70	3332,6	2363,0	3824,4	3396,8	3305,2	3263,7
82,13	80	6,8	6,89	4,90	7,92	7,01	6,83	3617,1	2573,4	4158,7	3679,9	3584,4	3570,0
82,20	80,2	6,98	7,02	5,01	8,08	7,12	6,95	3916,4	2795,0	4510,6	3974,4	3877,7	3694,8
82,27	80,4	7,16	7,15	5,12	8,24	7,23	7,07	4230,9	3026,1	4880,5	4282,7	4185,6	4236,7
82,33	80,6	7,34	7,27	5,22	8,40	7,34	7,19	4560,7	3272,9	5268,7	4605,0	4508,2	4602,2
82,39	80,8	7,52	7,40	5,32	8,56	7,45	7,31	4906,4	3529,5	5675,8	4941,3	4845,8	4985,8
82,45	81	7,7	7,53	5,43	8,72	7,56	7,43	5268,2	3796,3	6101,5	5261,9	5166,9	5390,0
82,51	81,2	7,88	7,65	5,53	8,87	7,67	7,54	5646,4	4079,5	6546,8	5657,1	5567,5	5815,4
82,56	81,4	8,06	7,78	5,63	9,02	7,77	7,66	6041,3	4373,2	7011,8	6037,0	5952,1	6262,6
82,61	81,6	8,24	7,90	5,73	9,18	7,87	7,78	6453,3	4679,8	7496,8	6431,8	6352,9	6732,1

CAPITULO III.

CAPITULO III.- ENERGIA **ESPECIFICA Y REGIMEN CRITICO.**

ASPECTOS FUNDAMENTALES.

Secciones de Máxima Eficiencia.

Como se explico en los capítulos anteriores en donde se trato de las características Hidráulicas de los canales, estos son por lo regular de forma trapecial (sección transversal), dicha forma adoptada por los estudios de mecánica de suelos y/o mecánica de rocas, debido a que presentan mayor estabilidad, a su vez estos canales trapeciales dentro de sus características Hidráulicas se observo que a los lados del canal se cuenta en la mayoría de las veces con un talud (m, k) , donde en ocasiones puede ser diferente el talud izquierdo que el derecho, esto como consecuencia de los resultados de un estudio geotécnico, lo que se llama estabilidad de taludes, como seria, si el suelo es cohesivo, friccionante, cohesivo-friccionante o si la roca tiene muchas discontinuidades, todos estos factores son de importancia para el Ingeniero Constructor, en el diseño del canal y a su vez en el proceso constructivo, considerar si el canal estará revestido o no, etc..

Una vez que el estudio mecánico resolvió el problema y da como conclusión que se requiere un canal

de sección trapezoidal (muy común) se estudia la inclinación de los taludes, los cuales llamaremos:

α = inclinación en grados del talud izquierdo y β inclinación en grados del talud derecho, con dichos valores se determinara las proporciones del canal de la siguiente forma (figura III.I):

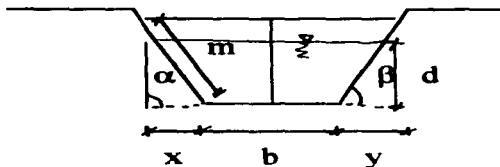


FIGURA III.I

El valor correspondiente de R es $\implies R = d/2$

Si α y $\beta = 90^\circ \implies d = b/2$ por lo tanto:
 $d/b = 1/2$

Lo cual indica la proporción de la sección rectangular mas ventajosa.

Como conclusión se tiene, que la sección que proporciona una mayor eficiencia en el manejo Hidráulico o la mas ventajosa es la que cumpla con la relación:

$$R = d/2 = A/P$$

Con una serie de expresiones matemáticas que están en función de α y β se tiene que la relación que hace a la sección del canal mas ventajosa que en palabras técnicas es “La sección de Máxima Eficiencia” es:

$$d/b = 1 / 2 \tan (\tau/2)$$

Observar la tabla No. 14.

ENERGIA ESPECIFICA Y REGIMEN CRITICO.

Se podría definir la energía como la capacidad que tiene un sistema para producir trabajo, la energía a pesar de ser un fenómeno único, puede manifestarse de diferentes formas : mecánica, eléctrica, calorífica, luminosa, radiante, etc.

El fin que se pretende o persigue en este capitulo es la energía en los fluidos, es decir la energía total de una porción de agua, viajando sobre una línea de corriente, donde esta se encuentra definida por:

$$H = z + P/\gamma + V^2/2g$$

Ecn. de Bernoulli

H = Energía total

z = Elevación de la línea de corriente sobre un plano de referencia.

P = Presión.

γ = Peso específico del fluido.

P/γ = Carga de presión.

V = Velocidad de la línea de corriente.

$V^2/2g$ = Carga de velocidad.

g = Aceleración local de la gravedad.

Las implicaciones de la ecuación anterior en el flujo de canales abiertos son significativas, se ignoran las fluctuaciones producidas por la turbulencia y las líneas de corriente no tiene componentes de aceleración, a este flujo se le conoce como paralelo y prevalece una distribución de presión hidrostática.

La energía específica de un flujo en el canal abierto, relativo al fondo del canal es:

$$E = Y + \alpha V^2/2g$$

α = Factor de corrección de energía cinética (usado para corregir la no uniformidad del perfil de velocidad, no se trata en este trabajo.).

V = Velocidad promedio del flujo.

Régimen Crítico.

Un examen cuidadoso de la ecuación de la energía específica a base de una serie de expresiones matemáticas demuestra que la energía específica es una función del tirante.

El flujo crítico se puede representar por medio de la expresión:

$$D = A/T$$

$$V^2/2g = D/2$$

$$V/(gD)^{1/2} = F = 1$$

Se puede decir que la energía específica mínima ocurre en el tirante Hidráulico crítico.

El tirante crítico es igual a las dos terceras partes de la energía cinética:

$$Y_c = 2/3 E_c$$

ESTA TEXA NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

PROBLEMA III.I- Calcular la pendiente Hidráulica de una sección de máxima eficiencia, para un canal rectangular que tiene:

$$\begin{aligned}V &= 2.5 \text{ m/s} \\Q &= 20 \text{ m}^3/\text{s} \\n &= 0.014\end{aligned}$$

Solución

Por continuidad:

$$Q = VA \implies A = Q/V = 20/2.5 = 8 \text{ m}^2$$

$$A = 2d \cdot d = 2d^2 \implies d = (A/2)^{1/2} = (8/2)^{1/2} = 2 \text{ m}$$

$$b = 2d = 2(2) = 4 \text{ m}$$

$$P = b + 2d = 4 + 2(2) = 8 \text{ m.}$$

$R = A/P = 8/8 = 1 \text{ m}$; de la ecuación $d/2 = 2/2 = 1$, se cumple

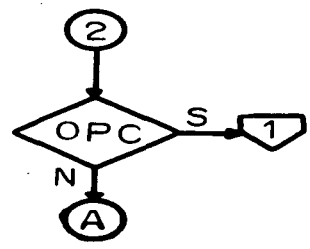
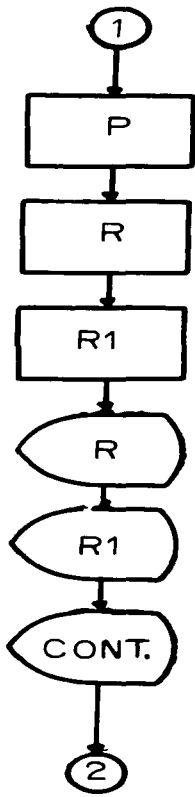
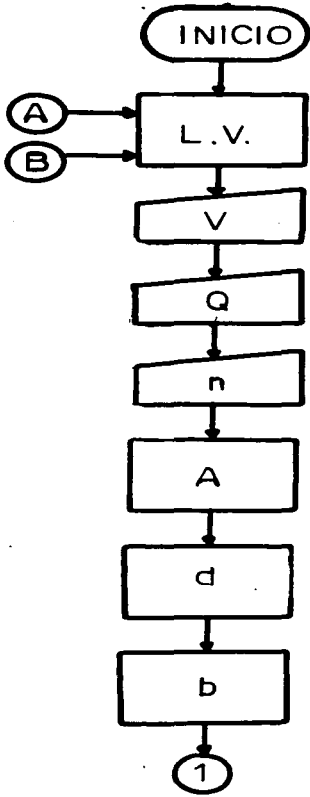
$$T = b = 4 \text{ m}$$

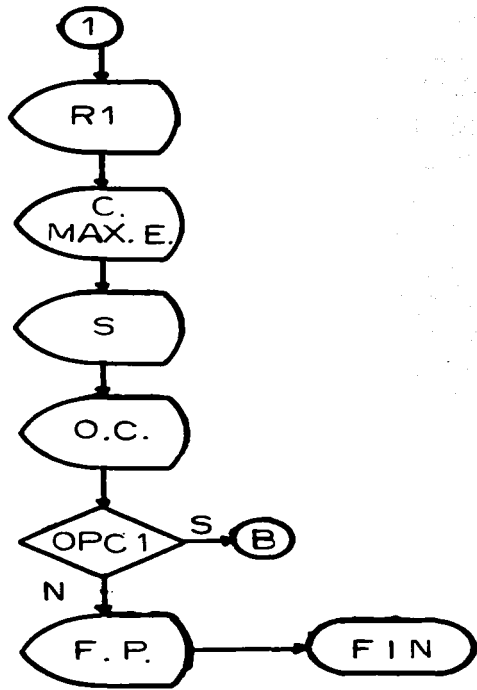
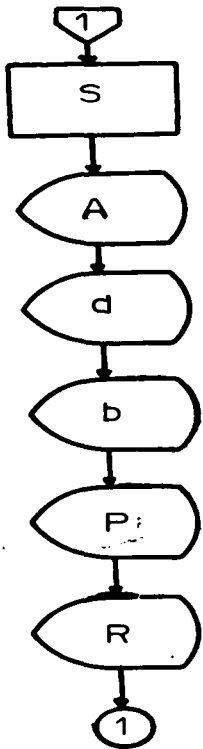
Con la formula No. 1.

$$V = 1/n R^{2/3} S^{1/2} \implies S = (Vn/R^{2/3})^2$$

$$S = (2.5 \cdot 0.014 / 1^{2/3})^2 = 0.0012$$

$S = 0.0012$






```

5 b = d - A - P - R - Q - S - n - 0
10 INPUT "VELOCIDAD"; V
20 INPUT "GASTO"; Q
30 INPUT "C. RUGOSIDAD"; n
40 A = Q / V
50 d = (A / 2) ^ (1 / 2)
60 b = 2 * d
70 P = b + (2 * d)
80 R = A / P
90 R1 = (d / 2)
100 PRINT "EL RADIO HIDRAULICO ES:"; R
105 PRINT "EL RADIO M. E. ES :"; R1
107 INPUT "CONTINUAR ? (1=S, 2=N) "; OPC
108 IF OPC = 1 GOTO 120
109 GOTO 5
120 S = ((V * n) / ((R ^ (2 / 3)))) ^ 2
130 PRINT "EL AREA ES:"; A
132 PRINT "EL TIRANTE DEL CANAL ES:"; d
134 PRINT "LA BASE DEL CANAL ES:"; b
140 PRINT "EL PERIMETRO ES:"; P
150 PRINT "EL RADIO HIDRAULICO ES:"; R
160 PRINT "EL RADIO M. E. ES:"; R1
165 PRINT "CUMPLE MAX. EPIC"
170 PRINT "LA PENDIENTE ES:"; S
180 INPUT "OTRO CALCULO 1=S, 2=N?"; OPC1
190 IF OPC1 = 1 GOTO 5
200 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
210 END

```

$$\text{AREA} = B^2/A^2$$

$$\text{TIRANTE} = (D^2/2)^{(1/2)}$$

$$\text{BASE} = 2 \cdot E^2$$

$$\text{PERIMETRO} = F^2 + (2 \cdot E^2)$$

$$\text{RADIO HID.} = D^2/G^2$$

$$\text{RADIO M. E.} = E^2/2$$

$$\text{SUP. LIBRE} = F^2 \cdot 1$$

$$\text{PENDIENTE} = ((A^2 \cdot C^2)/(H^2 \cdot (2/3)))^{1/2}$$

VELOCIDAD	GRUPO	C. MAGNIT.	AREA	PERIMETRO	BASE	PERIMETRO	RADIO H.	RADIO H. E.	SLP. LIBRE	PENETRACION
2,50	20	0,014	8,00	2,00	4,00	8,00	1,00	1,00	4,00	0,0012
3,13	20	0,014	6,40	1,79	3,58	7,16	0,89	0,89	3,58	0,0022
3,91	20	0,014	5,12	1,60	3,20	6,40	0,80	0,80	3,20	0,0040
4,88	20	0,014	4,10	1,43	2,86	5,72	0,72	0,72	2,86	0,0073
6,10	20	0,014	3,28	1,28	2,56	5,12	0,64	0,64	2,56	0,0132
7,63	20	0,014	2,62	1,14	2,29	4,58	0,57	0,57	2,29	0,0240
9,54	20	0,014	2,10	1,02	2,05	4,10	0,51	0,51	2,05	0,0435
11,92	20	0,014	1,68	0,92	1,83	3,66	0,46	0,46	1,83	0,0789
14,90	20	0,014	1,34	0,82	1,64	3,28	0,41	0,41	1,64	0,1431
18,63	20	0,014	1,07	0,73	1,47	2,93	0,37	0,37	1,47	0,2594
23,28	20	0,014	0,86	0,66	1,31	2,62	0,33	0,33	1,31	0,4703
29,10	20	0,014	0,69	0,59	1,17	2,34	0,29	0,29	1,17	0,8528
36,38	20	0,014	0,55	0,52	1,05	2,10	0,26	0,26	1,05	1,5462
45,47	20	0,014	0,44	0,47	0,94	1,88	0,23	0,23	0,94	2,9034
56,84	20	0,014	0,35	0,42	0,84	1,68	0,21	0,21	0,84	5,0829
71,05	20	0,014	0,28	0,38	0,75	1,50	0,19	0,19	0,75	9,2159
88,82	20	0,014	0,23	0,34	0,67	1,34	0,17	0,17	0,67	16,7095
111,02	20	0,014	0,18	0,30	0,60	1,20	0,15	0,15	0,60	30,2963
138,78	20	0,014	0,14	0,27	0,54	1,07	0,13	0,13	0,54	54,9309
173,47	20	0,014	0,12	0,24	0,48	0,96	0,12	0,12	0,48	99,5963
216,84	20	0,014	0,09	0,21	0,43	0,86	0,11	0,11	0,43	180,5802
271,05	20	0,014	0,07	0,19	0,38	0,77	0,10	0,10	0,38	327,4137
338,81	20	0,014	0,06	0,17	0,34	0,69	0,09	0,09	0,34	593,6405
423,52	20	0,014	0,05	0,15	0,31	0,61	0,08	0,08	0,31	1078,3418
529,40	20	0,014	0,04	0,14	0,27	0,55	0,07	0,07	0,27	1951,5378
661,74	20	0,014	0,03	0,12	0,25	0,49	0,06	0,06	0,25	3538,3731
827,18	20	0,014	0,02	0,11	0,22	0,44	0,05	0,05	0,22	6415,4973
1033,98	20	0,014	0,02	0,10	0,20	0,39	0,05	0,05	0,20	11832,0705
1292,47	20	0,014	0,02	0,09	0,18	0,35	0,04	0,04	0,18	21090,35

PROBLEMA III.II.- Encontrar el tirante con la condición de máxima eficiencia para un canal de sección trapecial, teniendo como datos los siguientes valores:

$$Q = 13 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$n = 0.030$$

$$m = 1.5$$

$$S = 0.00025$$

$$d/b = 1.60$$

Solución.

De la tabla No. 9.

$$Qn/d^{8/3} S^{1/2} = K$$

Entrando con el talud y la relación d/b se obtiene $K = 1.35$

Despejando:

$$d = (Qn/KS^{1/2})^{3/8}$$

$$d = (13 \cdot 0.030 / 1.35 \cdot 0.00025^{1/2})^{3/8} = 2.972 \text{ m}$$

$$\underline{\underline{d = 2.972 \text{ m.}}}$$

Sustituyendo en la relación d/b :

$$b = 2.972 / 1.60 = 1.857 \text{ m}$$

Cálculando sus elementos geométricos:

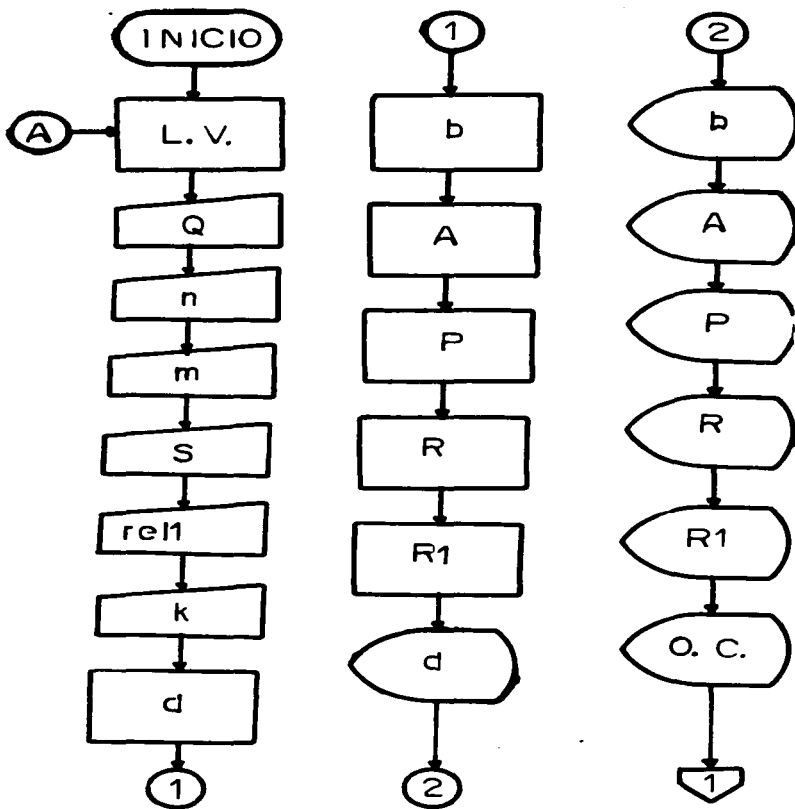
$$A = bd + md^2 = 1.857(2.972) + 1.5(2.972)^2 = 18.78 \text{ m}^2$$

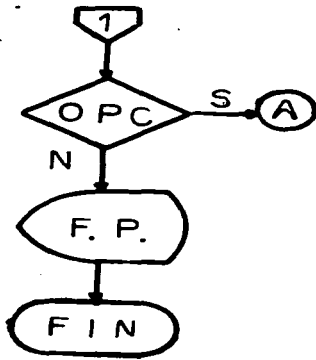
$$P = b + 2d(1+m^2)^{1/2} = 1.857 + 2(2.972)(1+1.5^2)^{1/2} \\ = 12.57 \text{ m}$$

$$\underline{R = A/P = 18.78/12.57 = 1.49 \text{ m}}$$

$$\underline{R = d/2 = 2.972/2 = 1.49 \text{ m}}$$

Se cumple la relación de máxima eficiencia





```

5 b = d = A = P = R = n = m = c = k = 0
10 INPUT "GASTO DEL CANAL"; Q
20 INPUT "C. RUGOSIDAD"; n
30 INPUT "TALUD DEL CANAL"; m
40 INPUT "PENDIENTE DEL CANAL"; s
50 INPUT "RELACION d/b"; r011
60 INPUT "k"; k
70 d = ((Q * n) / (k * (s ^ (1 / 2)))) ^ (3 / 8)
80 b = d / r011
90 A = (b * d) + (m * (d ^ (2)))
100 P = b + (2 * d * (1 + (m ^ (2)))) ^ (1 / 2)
110 R = A / P
120 R1 = d / 2
150 PRINT "EL TIRANTE DEL CANAL ES:"; d
160 PRINT "LA BASE DEL CANAL ES:"; b
170 PRINT "EL AREA DEL CANAL ES:"; A
180 PRINT "EL PERIMETRO DEL CANAL ES:"; P
190 PRINT "EL RADIO HIDRAULICO DEL CANAL ES:"; R
200 PRINT "EL RADIO H. E. ES:"; R1
210 INPUT "OTRO CALCULO 1-S, 2-M?"; OPC
220 IF OPC = 1 GOTO 5
230 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
240 END

```


$$\text{TIRANTE} = ((A^2 * B^2) / (F^2 * (D^2)^{(1/2)}))^{(3/8)}$$

$$\text{BASE} = G^2 / E^2$$

$$\text{AREA} = (H^2 * G^2) + (C^2 * G^2)^{(2)}$$

$$\text{PERIMETRO} = H^2 + (2 * G^2 * ((1 + C^2)^{(1/2)}))$$

$$\text{RADIO} = I^2 / J^2$$

$$\text{RADIO MAX. EF.} = G^2 / 2$$

CASO	C. MUDRIL	TALLO	PENSIENTE	g/s	h	TRONQUE	BASE	AREA	PERIMETRO	DIAM	IL. MOL. EF.
13	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	2,97	1,00	10,78	12,58	1,40	1,40
18	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	3,36	2,10	23,97	14,21	1,69	1,68
23	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	3,68	2,30	28,81	15,58	1,85	1,84
28	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	3,98	2,48	33,39	16,77	1,99	1,98
33	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	4,22	2,63	37,77	17,83	2,12	2,11
38	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	4,44	2,78	41,98	18,80	2,23	2,22
43	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	4,66	2,91	46,08	19,70	2,34	2,33
48	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	4,85	3,03	50,02	20,53	2,44	2,43
53	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	5,04	3,15	53,88	21,30	2,53	2,52
58	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	5,21	3,26	57,65	22,04	2,62	2,60
63	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	5,37	3,36	61,34	22,73	2,70	2,68
68	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	5,53	3,46	64,95	23,39	2,78	2,76
73	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	5,68	3,55	68,50	24,02	2,85	2,84
78	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	5,82	3,64	71,99	24,62	2,92	2,91
83	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	5,96	3,72	75,43	25,20	2,99	2,98
88	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	6,09	3,81	78,81	25,78	3,06	3,04
93	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	6,22	3,89	82,15	26,30	3,12	3,11
98	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	6,34	3,96	85,44	26,82	3,18	3,17
103	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	6,46	4,04	88,68	27,33	3,24	3,23
108	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	6,58	4,11	91,89	27,82	3,30	3,29
113	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	6,69	4,18	95,07	28,30	3,36	3,34
118	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	6,80	4,25	98,20	28,78	3,41	3,40
123	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	6,90	4,32	101,31	29,21	3,47	3,45
128	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	7,01	4,38	104,38	29,65	3,52	3,50
133	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	7,11	4,44	107,43	30,08	3,57	3,56
138	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	7,21	4,51	110,44	30,50	3,62	3,60
143	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	7,31	4,57	113,43	30,91	3,67	3,65
148	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	7,40	4,63	116,39	31,31	3,72	3,70
153	0,03	1,5	0,00025	1,0	1,35	7,49	4,68	119,33	31,70	3,78	3,75

PROBLEMA III.III.- Proyectar un canal de máxima eficiencia de sección trapecial que debe conducir un gasto de $4\text{m}^3/\text{s}$ con pendiente de 0.0005 y coeficiente de rugosidad de 0.030 , con $d/b=3^{1/2}/2$, suponiendo $\alpha = \beta = 60^\circ$.

Solución.

De la relación d/b :

$$d = 0.866 b$$

$$A = bd + md^2 = b(0.866b) + \cot 60^\circ(0.866b^2) = 1.298 b^2$$

$$P = b + 2d(1+m^2)^{1/2} = b + 2(0.866b)(1+0.5773^2)^{1/2} \\ = 2.999b$$

$$R = A/P = 1.298 b^2/2.999b = 0.4296 b$$

De la formula No. 1, aplicando continuidad:

$$Q = A/n R^{2/3} S^{1/2} = 1.298 b^2/0.030 (0.4296)^{2/3} \\ (0.00025)^{1/2}$$

Despejando : $b = 2.099$, y sustituyendo valores:

$$\underline{\underline{d = 1.817 \text{ m}}}$$

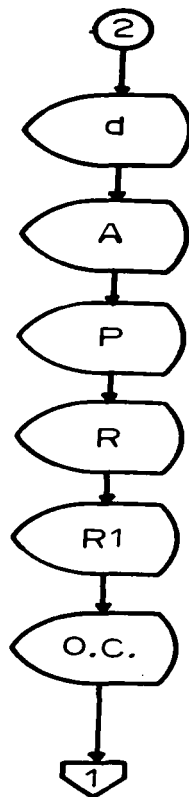
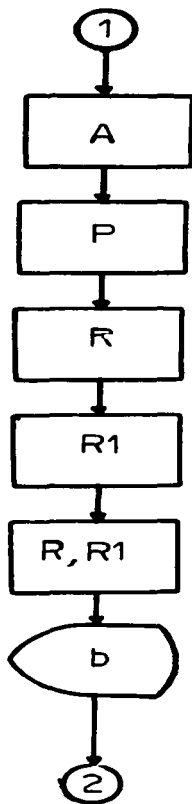
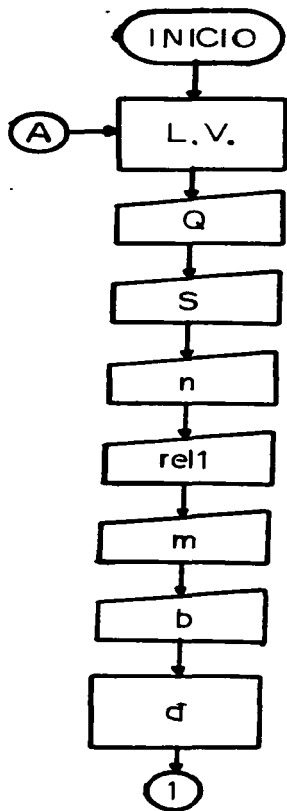
$$\underline{\underline{A = 5.679 \text{ m}^2}}$$

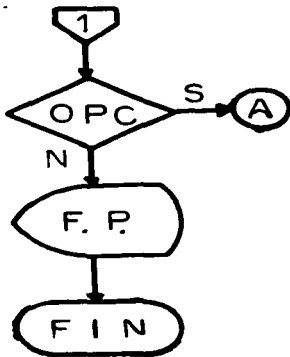
$$\underline{\underline{P = 6.297 \text{ m}}}$$

$$\mathbf{R = A/P = 0.901 \text{ m}}$$

$$\mathbf{R = d/2 = 1.817/2 = 0.908 \text{ m}}$$

Cumple con la condición de máxima eficiencia





```

5 b = d = P = A = R = S = E = C = k = 0
10 INPUT "GASTO DEL CANAL"; Q
20 INPUT "PENDIENTE DEL CANAL"; S
30 INPUT "C. RUGOSIDAD"; n
40 INPUT "RELACION d/b"; r:ll
50 INPUT "TALUD DEL CANAL"; m
60 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
70 d = r:ll * b
80 A = (b * d) + (m * d ^ 2)
90 P = b + 2 * d * ((1 + m ^ 2) ^ (1 / 2))
100 R = A / P
110 R1 = d / 2
120 PRINT "LA BASE DEL CANAL ES:"; b
130 PRINT "EL TIRANTE DEL CANAL ES:"; d
140 PRINT "EL AREA DEL CANAL ES:"; A
150 PRINT "EL PERIMETRO DEL CANAL ES:"; P
160 PRINT "EL RADIO HIDRAULICO DEL CANAL ES:"; R
170 PRINT "EL RADIO H.E. ES:"; R1
180 INPUT "OTRO CALCULO 1-S, 2-N?"; OPC
190 IF OPC = 1 GOTO 5
200 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
210 END

```

$$\text{TIRANTE} = D^2 \cdot G^2$$

$$\text{AREA} = (G^2 \cdot H^2) + (F^2 \cdot (H^2)^2)$$

$$\text{PERIMETRO} = (G^2 + (2 \cdot H^2 \cdot ((1 + (F^2)^2)^{1/2})))$$

$$\text{RADIO} = I^2 / J^2$$

$$\text{RADIO M. E.} = H^2 / 2$$

CARTE	PENETRANTE	C. BUBBLES	4/5	PER. GRAB	PENB. TAL.	BASE	PENANTE	AREA	PERMEYRD	BABD	BABD M.E.
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.10	1.82	5.72	6.30	0.91	0.91
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.10	1.82	5.73	6.30	0.91	0.91
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.10	1.82	5.73	6.30	0.91	0.91
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.10	1.82	5.74	6.31	0.91	0.91
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.10	1.82	5.74	6.31	0.91	0.91
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.10	1.82	5.75	6.31	0.91	0.91
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.11	1.82	5.76	6.31	0.91	0.91
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.11	1.82	5.76	6.32	0.91	0.91
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.11	1.82	5.77	6.32	0.91	0.91
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.11	1.83	5.77	6.32	0.91	0.91
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.11	1.83	5.78	6.33	0.91	0.91
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.11	1.83	5.78	6.33	0.91	0.91
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.11	1.83	5.79	6.33	0.91	0.91
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.11	1.83	5.79	6.34	0.91	0.91
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.11	1.83	5.80	6.34	0.91	0.91
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.11	1.83	5.81	6.34	0.92	0.92
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.12	1.83	5.81	6.34	0.92	0.92
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.12	1.83	5.82	6.35	0.92	0.92
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.12	1.83	5.82	6.35	0.92	0.92
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.12	1.83	5.83	6.35	0.92	0.92
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.12	1.84	5.83	6.36	0.92	0.92
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.12	1.84	5.84	6.36	0.92	0.92
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.12	1.84	5.84	6.36	0.92	0.92
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.12	1.84	5.85	6.37	0.92	0.92
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.12	1.84	5.85	6.37	0.92	0.92
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.12	1.84	5.86	6.37	0.92	0.92
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.13	1.84	5.87	6.37	0.92	0.92
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.13	1.84	5.87	6.38	0.92	0.92
4	0.0005	0.030	0.866	60	0.58	2.13	1.84	5.88	6.38	0.92	0.92

PROBLEMA III.IV.- Diseñar un canal de sección rectangular por máxima eficiencia obteniendo todos sus elementos geométricos si los datos con que se cuentan son:

$$d/b = 0.75$$

$$c = 39.81$$

$$S = 0.004$$

$$n = 0.014$$

Nota : Este problema se resuelve mediante un sistema iterativo.

Solución.

Aplicando la fórmula 1:

$$V = 1/n R^{2/3} S^{1/2}$$

De la relación d/b:

$$d = 0.75 b$$

Se calculan sus elementos geométricos:

$$A = bd = b(0.75 b) = 0.75 b^2$$

$$P = b + 2d = b + 2(0.75 b) = 2.5 b$$

$$R = A/P = 0.75b^2/2.5b = 0.3 b$$

Se tendrá que cumplir la igualdad de la ecuación 1, con la ecuación 2:

$$1 \dots\dots\dots c(RS)^{1/2} = 1/n R^{2/3} S^{1/2} \dots\dots\dots 2$$

Suponiendo una base de 10 cm. y sustituyendo valores, para los elementos geométricos:

$$\underline{d = 0.075 \text{ m.}}$$

$$\underline{A = 0.0075 \text{ m}^2}$$

$$\underline{P = 0.25 \text{ m.}}$$

$$\underline{R = 0.03 \text{ m}}$$

$$c(RS)^{1/2} = 39.81(0.03(0.004))^{1/2} = 0.436$$

$$\underline{c(RS)^{1/2} = 0.436}$$

$$1/n R^{2/3} S^{1/2} = 1/0.014 (0.03)^{2/3} (0.004)^{1/2} = 0.436$$

$$\underline{1/n R^{2/3} S^{1/2} = 0.436}$$

Se cumple la igualdad en las relaciones 1 y 2.

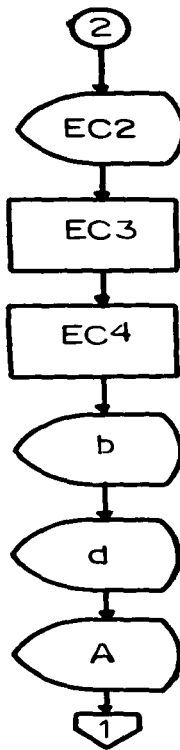
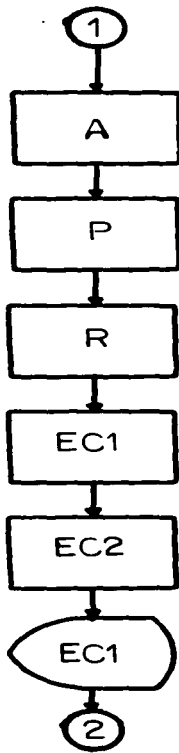
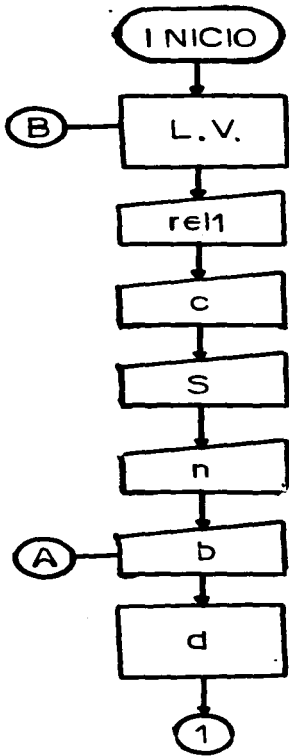
Observando la igualdad por máxima eficiencia:

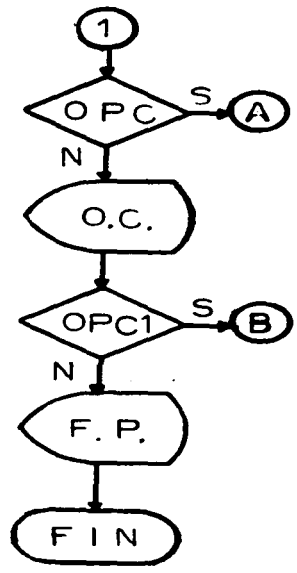
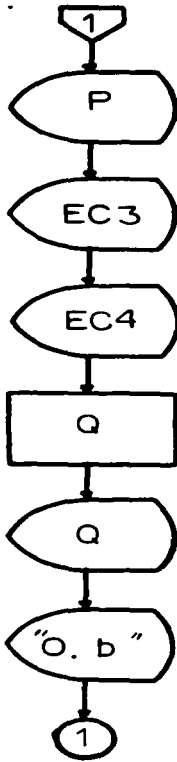
$$\underline{R = A/P = 0.03 \text{ m.}}$$

$$\underline{R = d/2 = 0.075/2 = 0.0375 \text{ m}}$$

Se cumple la relación anterior de máxima eficiencia.

Este es un caso típico de la solución de un problema por medio de un sistema iterativo, modificando la velocidad o bien la geometría del mismo, en este caso la base del canal.





```

5 b = d - A = P - R = S = E = C = 0
10 INPUT "RELACION d/b"; r11
20 INPUT "C. VELOCIDAD"; c
30 INPUT "PENDIENTE DEL CANAL"; S
40 INPUT "C. RUGOSIDAD"; n
50 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
60 d = r11 * b
70 A = d * b
80 P = b + (2 * d)
90 R = A / P
100 EC1 = c * ((R * S) ^ (1 / 2))
110 EC2 = (1 / n) * (R ^ (2 / 3)) * (S ^ (1 / 2))
120 PRINT "c (RS)^1/2"; EC1
130 PRINT "1/n R^2/3 S^1/2"; EC2
140 EC3 = A / P
150 EC4 = d / 2
152 PRINT "LA BASE DEL CANAL ES:"; b
154 PRINT "EL TIRANTE DEL CANAL ES:"; d
156 PRINT "EL AREA DEL CANAL ES:"; A
158 PRINT "EL PERIMETRO DEL CANAL ES:"; P
160 PRINT " EL RADIO HIDRAULICO DEL CANAL ES:"; EC3
170 PRINT "EL RADIO H.E. ES:"; EC4
180 Q = (A / n) * (R ^ (2 / 3)) * (S ^ (1 / 2))
190 PRINT "EL GASTO ES DE:"; Q
195 INPUT "OTRA b? (1=S, 2=N) ?"; OPC
197 IF OPC = 1 GOTO 50
200 INPUT "OTRO CALCULO (1=S, 2=N)?"; OPC1
210 IF OPC1 = 1 GOTO 5
220 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
230 END

```

$$\mathbf{C. VELOC. = (1/D2)*((I2)^{(1/6)})}$$

$$\mathbf{TIRANTE = A2*E2}$$

$$\mathbf{AREA = E2*F2}$$

$$\mathbf{PERIMETRO = E2+(2*F2)}$$

$$\mathbf{RADIO = G2/H2}$$

$$\mathbf{c(RS)^{1/2} = B2*(I2*C2)^{(1/2)}$$

$$\mathbf{1/n R^{2/3} S^{1/2} = (1/D2)*(I2^{(2/3)})*(C2^{(1/2)})}$$

$$\mathbf{A/P = G2/H2}$$

$$\mathbf{d/2 = F2/2}$$

A/D	C. VELOC.	PENETR.	C. INCLIN.	BASE	FRONTE	AREA	PERIMETRO	BASE	$\alpha(\text{GR})^{\circ}/3$	$1/n \text{ D}^2/3 \text{ D}^{\circ}/3$	A/P
0,75	39,82	0,004	0,014	0,1	0,08	0,01	0,25	0,03	0,438	0,438	0,030
0,75	39,88	0,005	0,014	0,101	0,08	0,01	0,25	0,03	0,491	0,491	0,030
0,75	39,95	0,006	0,014	0,102	0,08	0,01	0,26	0,03	0,541	0,541	0,031
0,75	40,01	0,007	0,014	0,103	0,08	0,01	0,26	0,03	0,588	0,588	0,031
0,75	40,08	0,008	0,014	0,104	0,08	0,01	0,26	0,03	0,633	0,633	0,031
0,75	40,14	0,009	0,014	0,105	0,08	0,01	0,26	0,03	0,678	0,678	0,032
0,75	40,20	0,01	0,014	0,106	0,08	0,01	0,27	0,03	0,717	0,717	0,032
0,75	40,27	0,011	0,014	0,107	0,08	0,01	0,27	0,03	0,757	0,757	0,032
0,75	40,33	0,012	0,014	0,108	0,08	0,01	0,27	0,03	0,795	0,795	0,032
0,75	40,39	0,013	0,014	0,109	0,08	0,01	0,27	0,03	0,833	0,833	0,033
0,75	40,45	0,014	0,014	0,11	0,08	0,01	0,28	0,03	0,870	0,870	0,033
0,75	40,51	0,015	0,014	0,111	0,08	0,01	0,28	0,03	0,905	0,905	0,033
0,75	40,58	0,016	0,014	0,112	0,08	0,01	0,28	0,03	0,941	0,941	0,034
0,75	40,64	0,017	0,014	0,113	0,08	0,01	0,28	0,03	0,978	0,978	0,034
0,75	40,70	0,018	0,014	0,114	0,09	0,01	0,29	0,03	1,010	1,010	0,034
0,75	40,75	0,019	0,014	0,115	0,09	0,01	0,29	0,03	1,043	1,043	0,035
0,75	40,81	0,02	0,014	0,116	0,09	0,01	0,29	0,03	1,077	1,077	0,035
0,75	40,87	0,021	0,014	0,117	0,09	0,01	0,29	0,04	1,110	1,110	0,035
0,75	40,93	0,022	0,014	0,118	0,09	0,01	0,30	0,04	1,142	1,142	0,035
0,75	40,99	0,023	0,014	0,119	0,09	0,01	0,30	0,04	1,174	1,174	0,036
0,75	41,04	0,024	0,014	0,12	0,09	0,01	0,30	0,04	1,206	1,206	0,036
0,75	41,10	0,025	0,014	0,121	0,09	0,01	0,30	0,04	1,238	1,238	0,036
0,75	41,16	0,026	0,014	0,122	0,09	0,01	0,31	0,04	1,270	1,270	0,037
0,75	41,21	0,027	0,014	0,123	0,09	0,01	0,31	0,04	1,301	1,301	0,037
0,75	41,27	0,028	0,014	0,124	0,09	0,01	0,31	0,04	1,332	1,332	0,037
0,75	41,32	0,029	0,014	0,125	0,09	0,01	0,31	0,04	1,363	1,363	0,038
0,75	41,38	0,03	0,014	0,126	0,09	0,01	0,32	0,04	1,393	1,393	0,038
0,75	41,43	0,031	0,014	0,127	0,10	0,01	0,32	0,04	1,424	1,424	0,038
0,75	41,49	0,032	0,014	0,128	0,10	0,01	0,32	0,04	1,454	1,454	0,038

d/x
0,038
0,038
0,038
0,039
0,039
0,039
0,040
0,040
0,041
0,041
0,041
0,042
0,042
0,042
0,043
0,043
0,044
0,044
0,044
0,045
0,045
0,045
0,046
0,046
0,047
0,047
0,047
0,048
0,048

PROBLEMA III.V.- Calcular el gasto para una sección de máxima eficiencia si los datos de diseño son:

$$n = 0.016$$

$$S = 0.0031$$

$$m = \frac{1}{2} : 1$$

$$k = 3.47$$

$$d/b = 0.26$$

Solución.

$$d/b = 0.26$$

$$d = 0.26 b$$

Suponiendo una base de 1.0 m.

$$d = 0.26 \text{ m.}$$

$$A = bd + md^2 = 1(0.26) + 1/2(0.26)^2 = 0.293 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2d(1+m^2)^{1/2} = 1 + 2(0.26)(1+0.5^2)^{1/2} = 1.581 \text{ m}$$

Observando si cumple por sección mas ventajosa:

$$\underline{\mathbf{R = A/P = 33/16.73 = 0.185 \text{ m}}}$$

$$\underline{\mathbf{R = d/2 = 2.75/2 = 0.139 \text{ m.}}}$$

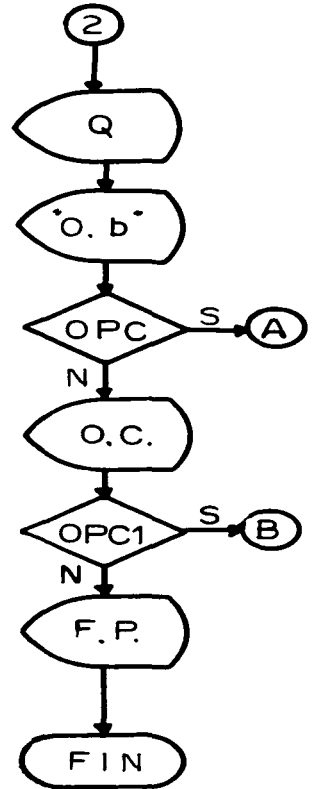
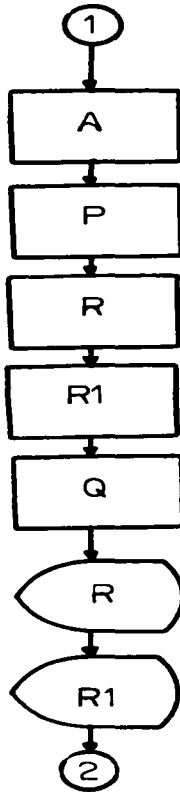
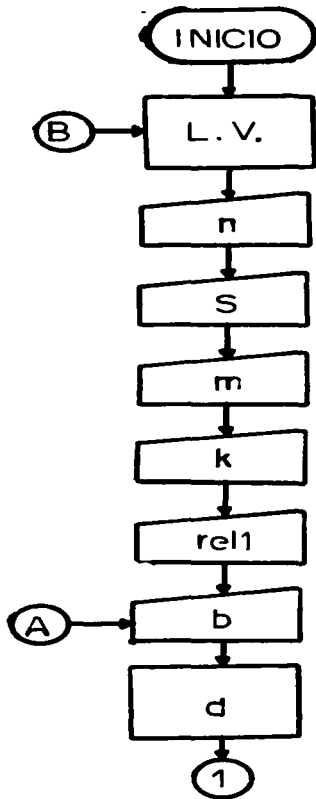
Observamos que falla por 4 centésimas, puede ser tolerable.

De la formula 1.

$$Q = A/n R^{2/3} S^{1/2} = 0.293/0.016 (0.139)^{2/3} (0.0031)^{1/2}$$

$$\underline{Q = 0.261 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Este problema se puede resolver mediante un sistema iterativo, proponiendo la base del canal



```

5 b = d - A - P - R - S - m - n = 0
10 INPUT "C. RUGOSIDAD"; n
20 INPUT "PENDIENTE DEL CANAL"; S
30 INPUT "TALUD DEL CANAL"; m
40 INPUT "FACTOR DE GASTO"; k
60 INPUT "RELACION d/b"; rell
70 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
80 d = rell * b
90 A = (b * d) + (m * (d ^ 2))
100 P = b + (2 * d) * ((1 + (m ^ 2)) ^ (1 / 2))
110 R = A / P
120 R1 = d / 2
130 Q = (A / n) * (R ^ (2 / 3)) * (S ^ (1 / 2))
131 PRINT "EL RADIO HIDRAULICO ES:"; R
132 PRINT "EL RADIO M.E. ES:"; R1
140 PRINT "EL GASTO DEL CANAL ES"; Q
142 INPUT "OTRA b (1-S, 2-N) ?"; OPC
144 IF OPC = 1 GOTO 70
150 INPUT "OTRO CALCULO 1-S, 2-N?"; OPC1
160 IF OPC1 = 1 GOTO 5
170 PRINT "FIN DEL PROGRAMA "
180 END

```

$$\text{TIRANTE} = E2 * F2$$

$$\text{AREA} = (F2 * G2) + (C2 * G2^2)$$

$$\text{PERIMETRO} = F2 + (2 * G2) * ((1 + (C2^2))^{(1/2)})$$

$$\text{RADIO} = H2 / I2$$

$$\text{RADIO M. E.} = G2 / 2$$

$$\text{GASTO} = (H2 / A2) * (K2^{(2/3)}) * (B2^{(1/2)})$$

C. BARRIO	PEDIMENTO	TALIB	K	4%	BASE	FRANJE	AREA	PERIMETRO	ANCHO	INDIC. ILE.	GASTO
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1	0,26	0,29	1,58	0,19	0,13	0,26
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,01	0,26	0,30	1,60	0,19	0,13	0,27
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,02	0,27	0,31	1,61	0,19	0,13	0,28
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,03	0,27	0,31	1,63	0,19	0,13	0,28
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,04	0,27	0,32	1,64	0,19	0,14	0,29
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,05	0,27	0,32	1,66	0,20	0,14	0,30
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,06	0,26	0,33	1,68	0,20	0,14	0,31
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,07	0,26	0,34	1,69	0,20	0,14	0,31
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,08	0,26	0,34	1,71	0,20	0,14	0,32
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,09	0,26	0,35	1,72	0,20	0,14	0,33
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,1	0,29	0,36	1,74	0,20	0,14	0,34
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,11	0,29	0,36	1,76	0,21	0,14	0,35
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,12	0,29	0,37	1,77	0,21	0,15	0,35
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,13	0,29	0,38	1,79	0,21	0,15	0,36
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,14	0,30	0,38	1,80	0,21	0,15	0,37
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,15	0,30	0,39	1,82	0,21	0,15	0,38
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,16	0,30	0,40	1,83	0,22	0,15	0,39
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,17	0,30	0,40	1,85	0,22	0,15	0,40
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,18	0,31	0,41	1,87	0,22	0,15	0,41
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,19	0,31	0,42	1,88	0,22	0,15	0,42
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,2	0,31	0,42	1,90	0,22	0,16	0,43
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,21	0,31	0,43	1,91	0,22	0,16	0,44
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,22	0,32	0,44	1,93	0,23	0,16	0,45
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,23	0,32	0,44	1,95	0,23	0,16	0,46
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,24	0,32	0,45	1,96	0,23	0,16	0,47
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,25	0,33	0,46	1,98	0,23	0,16	0,48
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,26	0,33	0,47	1,99	0,23	0,16	0,49
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,27	0,33	0,47	2,01	0,24	0,17	0,50
0,016	0,0031	0,5	3,47	0,26	1,28	0,33	0,48	2,02	0,24	0,17	0,51

PROBLEMA III.G.- En cierta parte de la república se requiere trasladar un caudal de agua de $40 \text{ m}^3/\text{s}$, con un talud de $\frac{1}{4} : 1$, una pendiente de 0.0004 , una rugosidad de material áspero $n = 0.020$, con una relación $d/b = 0.80$, diseñar por máxima eficiencia.

Solución.

$$d/b = 0.80$$

$$d = 0.80b$$

$$A = bd + md^2 = b(0.80b) + 1/4(0.80)^2$$

$$A = 0.96 b^2$$

$$P = b + 2d(1+m^2)^{1/2} = b + 2(0.8b)(1+0.25^2)^{1/2}$$

$$P = 2.649 b$$

$$Q = A/n R^{2/3} S^{1/2}$$

$$R = 0.96b^2/2.649b = 0.362 b$$

Suponiendo una base de 1.0 m . y sustituyendo en las expresiones anteriores:

$$\underline{d = 0.8 \text{ m.}}$$

$$\underline{A = 0.96 \text{ m}^2}$$

$$\underline{P = 2.649 \text{ m}}$$

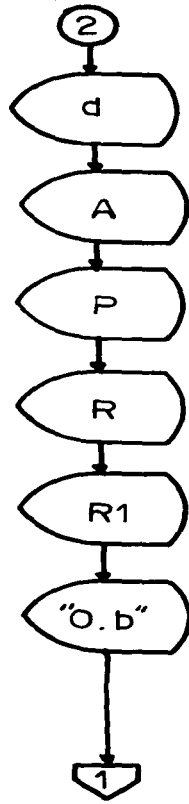
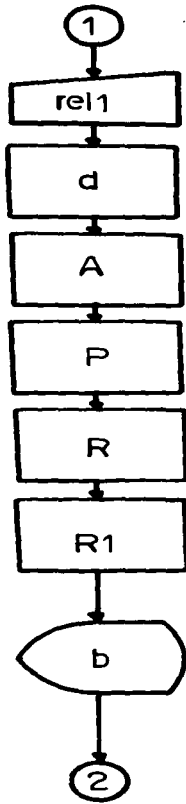
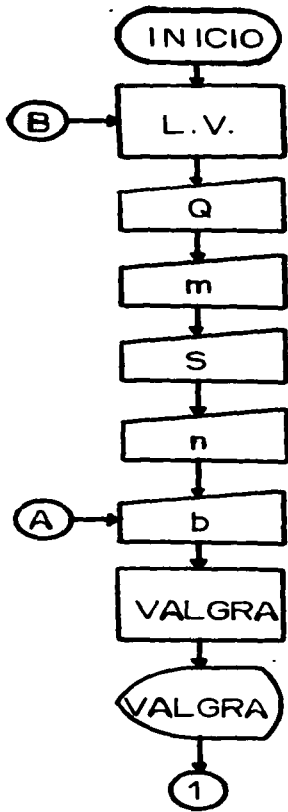
Por máxima eficiencia, observamos:

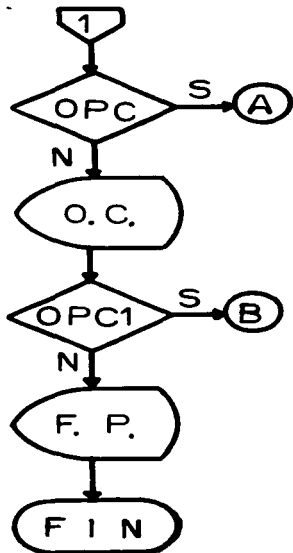
$$\underline{R = A/P = 0.96/2.649 = 0.362 \text{ m}}$$

$$\underline{R = d/2 = 0.8/2 = 0.40 \text{ m}}$$

Nuevamente un error tolerable 3.8 centésimas.

Nota: Problema en que si existe la igualdad pero varia por centésimas por la acumulación de decimales.





```

5 b = d - P - R - A - Q - m - S - n - 0
10 INPUT "GASTO DEL CANAL"; Q
20 INPUT "TALUD DEL CANAL"; m
30 INPUT "PENDIENTE DEL CANAL"; S
40 INPUT "C. RUGOSIDAD"; n
50 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
60 VALGRA = (Q * n) / (((b ^ (8 / 3)) * (S ^ (1 / 2))))
70 PRINT "ENTRAR A LA GRAFICA DEL dn CON:"; VALGRA
80 INPUT "RELACION dn/b"; rell
90 d = rell * b
100 A = (b * d) + (m * d ^ 2)
120 P = b + (2 * d * ((1 + m ^ 2) ^ (1 / 2)))
130 R = A / P
140 R1 = d / 2
180 PRINT "LA BASE DEL CANAL ES:"; b
190 PRINT "EL TIRANTE DEL CANAL ES:"; d
200 PRINT "EL AREA DEL CANAL ES:"; A
210 PRINT "EL PERIMETRO DEL CANAL ES:"; P
220 PRINT "EL RADIO HIDRAULICO ES:"; R
230 PRINT "EL RADIO N.E. ES:"; R1
280 INPUT "OTRA b (1-S, 2=N) ?"; OPC
282 IF OPC = 1 GOTO 50
290 INPUT "OTRO CALCULO 1-S, 2=N?"; OPC1
300 IF OPC1 = 1 GOTO 5
310 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
320 END

```

CASO	TALLD	PENSIENE	C. BLOGL	BASE	Q ₁ /Q ₂ /Q ₃ /Q ₄ /2	d/s	PERMRE	AREA	PERMETRO	DADO	DADO D.E.
40	0,25	0,0004	0,2	1,00	400,00	0,80	0,80	0,88	2,85	0,36	0,40
40	0,25	0,0004	0,2	1,10	314,02	0,80	0,88	1,15	2,90	0,40	0,44
40	0,25	0,0004	0,2	1,19	251,54	0,80	0,95	1,38	3,15	0,43	0,48
40	0,25	0,0004	0,2	1,29	204,95	0,80	1,03	1,59	3,40	0,47	0,51
40	0,25	0,0004	0,2	1,38	169,45	0,80	1,10	1,83	3,66	0,50	0,55
40	0,25	0,0004	0,2	1,48	141,89	0,80	1,18	2,09	3,91	0,53	0,59
40	0,25	0,0004	0,2	1,57	120,13	0,80	1,26	2,37	4,16	0,57	0,63
40	0,25	0,0004	0,2	1,67	102,71	0,80	1,33	2,66	4,41	0,60	0,67
40	0,25	0,0004	0,2	1,76	88,58	0,80	1,41	2,97	4,66	0,64	0,70
40	0,25	0,0004	0,2	1,86	77,00	0,80	1,48	3,30	4,91	0,67	0,74
40	0,25	0,0004	0,2	1,95	67,40	0,80	1,56	3,65	5,17	0,71	0,78
40	0,25	0,0004	0,2	2,05	59,37	0,80	1,64	4,01	5,42	0,74	0,82
40	0,25	0,0004	0,2	2,14	52,60	0,80	1,71	4,40	5,67	0,78	0,86
40	0,25	0,0004	0,2	2,24	46,84	0,80	1,79	4,80	5,92	0,81	0,89
40	0,25	0,0004	0,2	2,33	41,92	0,80	1,86	5,21	6,17	0,84	0,93
40	0,25	0,0004	0,2	2,43	37,68	0,80	1,94	5,65	6,42	0,88	0,97
40	0,25	0,0004	0,2	2,52	34,01	0,80	2,02	6,10	6,68	0,91	1,01
40	0,25	0,0004	0,2	2,62	30,82	0,80	2,09	6,56	6,93	0,95	1,05
40	0,25	0,0004	0,2	2,71	28,02	0,80	2,17	7,05	7,18	0,98	1,08
40	0,25	0,0004	0,2	2,81	25,56	0,80	2,24	7,55	7,43	1,02	1,12
40	0,25	0,0004	0,2	2,90	23,39	0,80	2,32	8,07	7,68	1,05	1,16
40	0,25	0,0004	0,2	3,00	21,46	0,80	2,40	8,61	7,93	1,09	1,20
40	0,25	0,0004	0,2	3,09	19,75	0,80	2,47	9,17	8,19	1,12	1,24
40	0,25	0,0004	0,2	3,19	18,22	0,80	2,55	9,74	8,44	1,15	1,27
40	0,25	0,0004	0,2	3,28	16,84	0,80	2,62	10,33	8,69	1,19	1,31
40	0,25	0,0004	0,2	3,38	15,61	0,80	2,70	10,94	8,94	1,22	1,35
40	0,25	0,0004	0,2	3,47	14,49	0,80	2,78	11,56	9,19	1,26	1,39
40	0,25	0,0004	0,2	3,57	13,49	0,80	2,85	12,20	9,44	1,29	1,43
40	0,25	0,0004	0,2	3,66	12,57	0,80	2,93	12,86	9,70	1,33	1,46

$$Qn/b^{8/3}S^{1/2} = (A^2 \cdot D^2) / (E^2)^{8/3} \cdot C^2^{(1/2)}$$

$$\text{TIRANTE} = G^2 \cdot E^2$$

$$\text{AREA} = (E^2 \cdot H^2) + (B^2 \cdot H^2)^2$$

$$\text{PERIMETRO} = (E^2 + (2 \cdot H^2) \cdot ((1 + (B^2)^2)^{1/2}))$$

$$\text{RADIO} = I^2 / J^2$$

$$\text{RADIO M. E.} = H^2 / 2$$

PROBLEMA III.VI.- Un canal de sección rectangular con $b = 4\text{m}$, $Q = 5 \text{ m}^3/\text{s}$, $n = 0.020$, calcular la pendiente critica.

Solución.

De la formula 15:

$$Q^2/g = A_c^3/T \implies A_c = (Q^2 T/g)^{1/3}$$

$$A_c = (25 \cdot 4 / 9.81)^{1/3} = 2.17 \text{ m}^2$$

$$A_c = bdc \implies dc = A_c/b = 2.17 \text{ m}^2/4 = 0.54 \text{ m}$$

$$dc = 0.54 \text{ m.}$$

Por continuidad:

$$V_c = Q/A_c = 5/2.17 = 2.30 \text{ m/s}$$

$$P = b + 2dc = 4 + 2(0.54) = 5.08 \text{ m}$$

$$R = A/P = 2.17/5.08 = 0.43 \text{ m}$$

De la formula No. 1, se tiene:

$$S_c = (V_c n / R^{2/3})^2 = (2.30 \cdot 0.020 / 0.43^{2/3})^2 = 0.0065$$

$$\underline{S_c = 0.0065}$$

$$\mathbf{P = 2.649\ m}$$

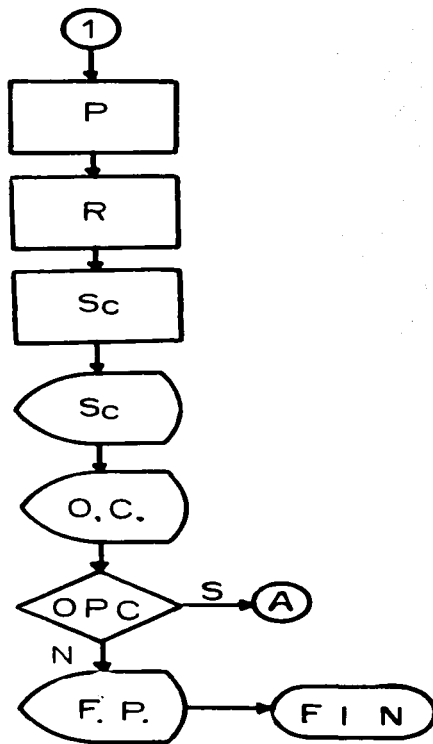
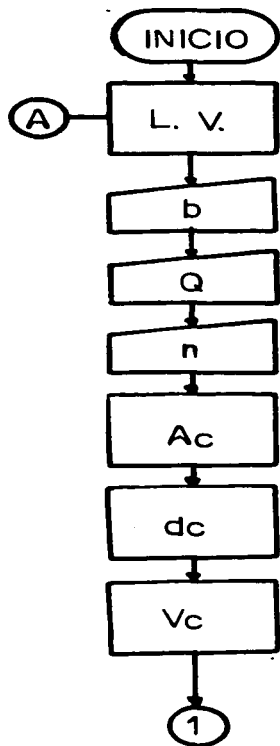
Por máxima eficiencia, observamos:

$$\mathbf{R = A/P = 0.96/2.649 = 0.362\ m}$$

$$\mathbf{R = d/2 = 0.8/2 = 0.40\ m}$$

Nuevamente un error tolerable 3.8 centésimas.

Nota: Problema en que si existe la igualdad pero varia por centésimas por la acumulación de decimales.



```

5 b = T = Ac = dc = Vc = P = R = Sc = 0
10 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
20 INPUT "GASTO DEL CANAL"; Q
30 INPUT "C. RUGOSIDAD"; n
50 Ac = (((Q ^ (2)) * b) / 9.81) ^ (1 / 3)
60 dc = Ac / b
70 Vc = Q / Ac
80 P = b + (2 * dc)
90 R = Ac / P
100 Sc = (Vc * n / (R ^ (2 / 3))) ^ 2
110 PRINT "LA PENDIENTE CRITICA ES:"; Sc
120 INPUT "OTRO CALCULO 1-S, 2-N?"; OPC
130 IF OPC = 1 GOTO 5
140 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
150 END

```

$$\text{AREA CRIT.} = ((B^2 \cdot A^2) / (9.81))^{1/3}$$

$$\text{TIRANTE CR.} = D^2 / A^2$$

$$\text{VEL. CRIT.} = B^2 / D^2$$

$$\text{PERIM. CRIT.} = A^2 + (2 \cdot E^2)$$

$$\text{RADIO H.} = D^2 / G^2$$

$$\text{PENDIENTE} = ((F^2 \cdot C^2) / ((H^2)^{2/3}))^{1/2}$$

BASE	GASTO	C. BUENOS	AREA CONT.	FINANTE CR.	VEL. CONT.	FINAN. CONT.	RAMOS R.	PENSIENTE
4,00	5,00	0,02	2,17	0,54	2,31	5,08	0,43	0,0086
5,00	5,00	0,02	2,34	0,47	2,14	5,93	0,39	0,0084
6,25	5,00	0,02	2,52	0,40	1,99	7,06	0,36	0,0082
7,81	5,00	0,02	2,71	0,35	1,84	8,51	0,32	0,0083
9,77	5,00	0,02	2,92	0,30	1,71	10,38	0,28	0,0084
12,21	5,00	0,02	3,15	0,26	1,59	12,72	0,25	0,0085
15,26	5,00	0,02	3,39	0,22	1,48	15,70	0,22	0,0087
19,07	5,00	0,02	3,65	0,19	1,37	19,48	0,19	0,0070
23,84	5,00	0,02	3,93	0,16	1,27	24,17	0,16	0,0073
29,80	5,00	0,02	4,23	0,14	1,18	30,09	0,14	0,0076
37,25	5,00	0,02	4,56	0,12	1,10	37,50	0,12	0,0080
46,57	5,00	0,02	4,91	0,11	1,02	46,78	0,11	0,0084
58,21	5,00	0,02	5,29	0,09	0,94	58,39	0,09	0,0088
72,78	5,00	0,02	5,70	0,08	0,86	72,92	0,08	0,0092
90,95	5,00	0,02	6,14	0,07	0,81	91,08	0,07	0,0097
113,69	5,00	0,02	6,62	0,06	0,76	113,80	0,06	0,0101
142,11	5,00	0,02	7,13	0,05	0,70	142,21	0,05	0,0107
177,64	5,00	0,02	7,68	0,04	0,65	177,72	0,04	0,0112
222,04	5,00	0,02	8,27	0,04	0,60	222,12	0,04	0,0118
277,58	5,00	0,02	8,91	0,03	0,56	277,82	0,03	0,0124
346,94	5,00	0,02	9,60	0,03	0,52	347,00	0,03	0,0130
433,68	5,00	0,02	10,34	0,02	0,48	433,73	0,02	0,0136
542,10	5,00	0,02	11,14	0,02	0,45	542,14	0,02	0,0143
677,83	5,00	0,02	12,00	0,02	0,42	677,86	0,02	0,0151
847,03	5,00	0,02	12,92	0,02	0,39	847,06	0,02	0,0158
1058,6	5,00	0,02	13,92	0,01	0,36	1058,82	0,01	0,0166
1323,5	5,00	0,02	15,00	0,01	0,33	1323,51	0,01	0,0175
1654,4	5,00	0,02	16,15	0,01	0,31	1654,38	0,01	0,0184
2068,0	5,00	0,02	17,40	0,01	0,29	2067,97	0,01	0,0193

PROBLEMA III.VII.- Un canal de sección trapezoidal tiene 6 m. de base y talud 1:1, el tirante normal es de 1m., circulando un gasto de 10 m³/s, con un coeficiente de rugosidad de 0.15, determinar la pendiente normal y el tirante crítico.

Solución.

Sus elementos geométricos son:

$$A = bd + md^2 = 6(1) + 1(1)^2 = 7 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2d(1+m^2)^{1/2} = 6 + 2(1)(1+1^2)^{1/2} = 8.82 \text{ m}$$

$$R = A/P = 7/8.82 = 0.793 \text{ m.}$$

Aplicando la formula No. 1, y por continuidad:

$$Q = A/n R^{2/3} S^{1/2}$$

$$S_n = (Q_n / AR^{2/3})^2 = (10 \cdot 0.15 / 7 \cdot 0.79^{2/3})^2 = 0.063$$

$$\underline{S_n = 0.063}$$

Se proponen tirantes para que se cumpla $Q^2/g = Ac^3/Bc$

$$\underline{dc = 0.633 \text{ m.}}$$

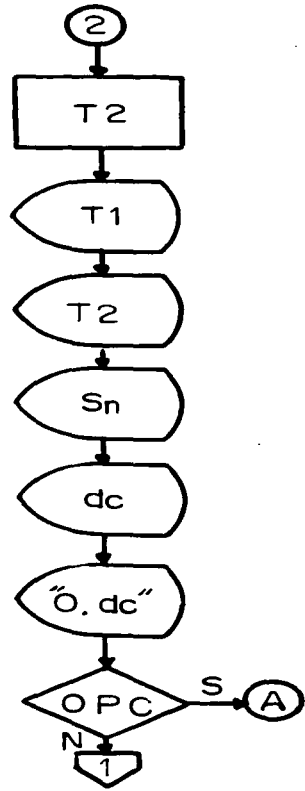
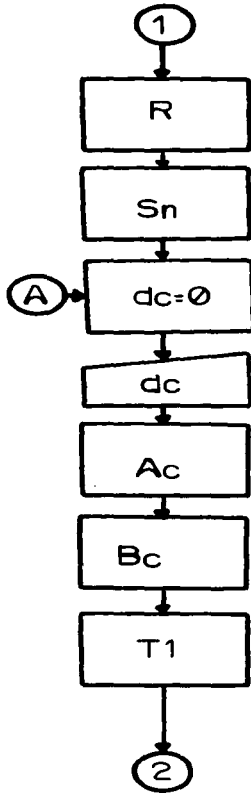
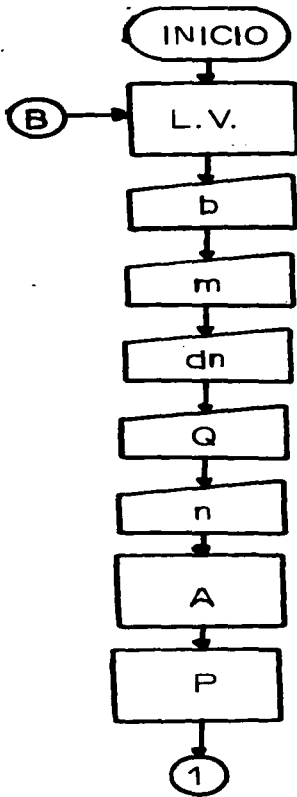
$$Ac = bdc + mdc^2 = 6(0.633) + 1(0.633)^2 = 4.198 \text{ m}^2$$

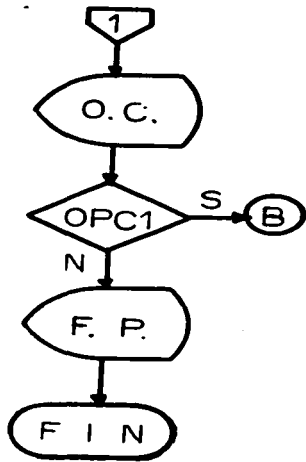
$$B_c = b + 2m d_c = 6 + 2(1)(0.633) = 7.266 \text{ m}$$

$$\underline{Q^2/g = 102 / 9.81 = 10.193}$$

$$\underline{A_c^3 / B_c = 4.1983 / 7.266 = 10.185}$$

Se cumple la relación.





```

5 b = d = Q = n = A = P = R = Sn = dc = Ac = Bc = T1 = T2 = 0
10 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
15 INPUT "TALUD DEL CANAL"; m
20 INPUT "TIRANTE NORMAL DEL CANAL"; dn
30 INPUT "GASTO DEL CANAL"; Q
40 INPUT "C. RUGOSIDAD"; n
60 A = (b * dn) + (m * (dn ^ 2))
70 P = b + ((2 * dn) * ((1 + (m ^ 2)) ^ (1 / 2)))
80 R = A / P
90 Sn = ((Q * n) / (A * R ^ (2 / 3))) ^ (2)
100 dc = 0
110 INPUT "TIRANTE CRITICO"; dc
120 Ac = (b * dc) + (m * (dc ^ 2))
130 Bc = b + (2 * m * dc)
140 T1 = (Q ^ 2) / 9.81
150 T2 = (Ac ^ 3) / Bc
160 PRINT "Q^2/g"; T1
170 PRINT "Ac^3/Bc"; T2
180 PRINT "LA PENDIENTE NORMAL ES:"; Sn
190 PRINT "EL TIRANTE CRITICO ES:"; dc
195 INPUT "OTRO dc (1-S, 2=N) ?"; OPC
197 IF OPC = 1 GOTO 100
200 INPUT "OTRO CALCULO 1-S, 2=N, ?"; OPC1
210 IF OPC1 = 1 GOTO 5
220 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
230 END

```

$$\text{AREA} = (A^2 \cdot C^2) + (B^2 \cdot (C^2)^2)$$

$$\text{PERIMETRO} = A + (C^2 \cdot C^2 \cdot ((1 + (B^2)^2))^{1/2})$$

$$\text{RADIO} = F^2 / G^2$$

$$\text{PENDIENTE} = ((D^2 \cdot E^2) / (F^2 \cdot (H^2)^{2/3}))^2$$

$$Q^2 / g = (D^2)^2 / 9.81$$

$$\text{AREA CRIT.} = (A^2 \cdot K^2) + (B^2 \cdot (K^2)^2)$$

$$A_c^3 = L^3$$

$$\text{BASE CRIT.} = A + (2 \cdot B^2 \cdot K^2)$$

$$A_c^3 / B_c = M^2 / N^2$$

BASE	TALLO	TIL. INCL.	GASFO	C. BUCOIL	AREA	PERMETRO	BASO	PERMEANTE	Q ² /g	REL. CON.	AREA CON.
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,633	4,199
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,633	4,199
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,633	4,199
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,633	4,197
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,633	4,197
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,633	4,196
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,633	4,195
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,632	4,195
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,632	4,194
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,632	4,194
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,632	4,193
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,632	4,192
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,632	4,192
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,632	4,191
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,632	4,190
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,632	4,190
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,632	4,189
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,632	4,188
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,631	4,186
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,631	4,187
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,631	4,186
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,631	4,185
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,631	4,184
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,631	4,184
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,631	4,183
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,631	4,182
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,631	4,182
6	1	1	10	0,15	7	8,828	0,793	0,063	10,194	0,631	4,181

Id-3	BASE CUR.	Id-3/Id:
74,057	7,206	10,19
74,022	7,206	10,19
73,968	7,206	10,18
73,953	7,206	10,18
73,919	7,205	10,17
73,884	7,205	10,17
73,850	7,205	10,16
73,815	7,205	10,16
73,781	7,205	10,16
73,746	7,205	10,15
73,712	7,204	10,15
73,677	7,204	10,14
73,643	7,204	10,14
73,608	7,204	10,13
73,574	7,204	10,13
73,539	7,204	10,12
73,505	7,203	10,12
73,471	7,203	10,12
73,436	7,203	10,11
73,402	7,203	10,11
73,367	7,203	10,10
73,333	7,202	10,10
73,299	7,202	10,09
73,264	7,202	10,09
73,230	7,202	10,08
73,196	7,202	10,08
73,161	7,202	10,08
73,127	7,201	10,07
73,093	7,201	10,07

PROBLEMA III.VIII.- Un canal trapecial tiene un ancho de plantilla de 2.5 m., un talud de 1.5, debe conducir un gasto de 20 m³/s, calcular el tirante utilizando un factor de rugosidad de 0.015, la energía específica mínima y la pendiente critica.

$$b = 2.5 \text{ m}$$

$$m = 1.5$$

$$Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$n = 0.015$$

Solución.

Por medio de nomograma No. 5, entrando con:

$Qk^{3/2} / b^{5/2} g^{1/2} = 20(1.5)^{3/2} / (2.5^{5/2}) 9.81^{1/2} = 1.19$, se obtiene un valor 0.85

$$kdc/b = x \quad ; \quad x = 0.85 \quad \implies \quad dc = 0.85b/k \\ = 0.85(2.5)/1.5$$

$$dc = 1.42 \text{ m}$$

Aplicando la condición critica de escurrimiento:

$$Q^2/g = Ac^3/Bc$$

$$Q^2/g = 20^2/9.81 = 40.77$$

$$Ac^3 = (bdc + mdc^2)^3 = (2.5*1.42 + 1.5*1.422)^3 \\ = 284.18 \text{ m}^6$$

$$Bc = b + 2mdc = 2.5 + 2*1.5*1.42 = 6.76 \text{ m}$$

$$Ac^3/Bc = 284.18 / 6.76 = 42.03$$

Se puede observar que el valor que se encontró para el dc es un valor aproximado, así por medio de iteraciones en el programa de computadora tenemos:

$$\underline{dc = 1.4089 \text{ m}}$$

$$Ac = 6.50 \text{ m}^2$$

$$Ac^3 = 274.49 \text{ m}^6$$

$$Bc = 6.726$$

$$\underline{Ac^3 / Bc = 40.81}$$

$$\underline{Q^2/g = 20^2/9.81 = 40.77}$$

Se cumple la igualdad.

de la misma gráfica:

$$k E_{min} / b = x \quad ; \quad x = 1.14 \quad \Longrightarrow \quad E_{min} = 1.14 \text{ b/k} \\ = 1.14(2.5)/1.5$$

$$\underline{E_{min} = 1.9 \text{ m.}}$$

De la formula No. 22.

$$E_c = d + Q^2 / A^2 2g = 1.41 + (20^2) / (6.50^2 * 2 * 9.81) \\ = 1.89 \text{ m} = 1.9 \text{ m}$$

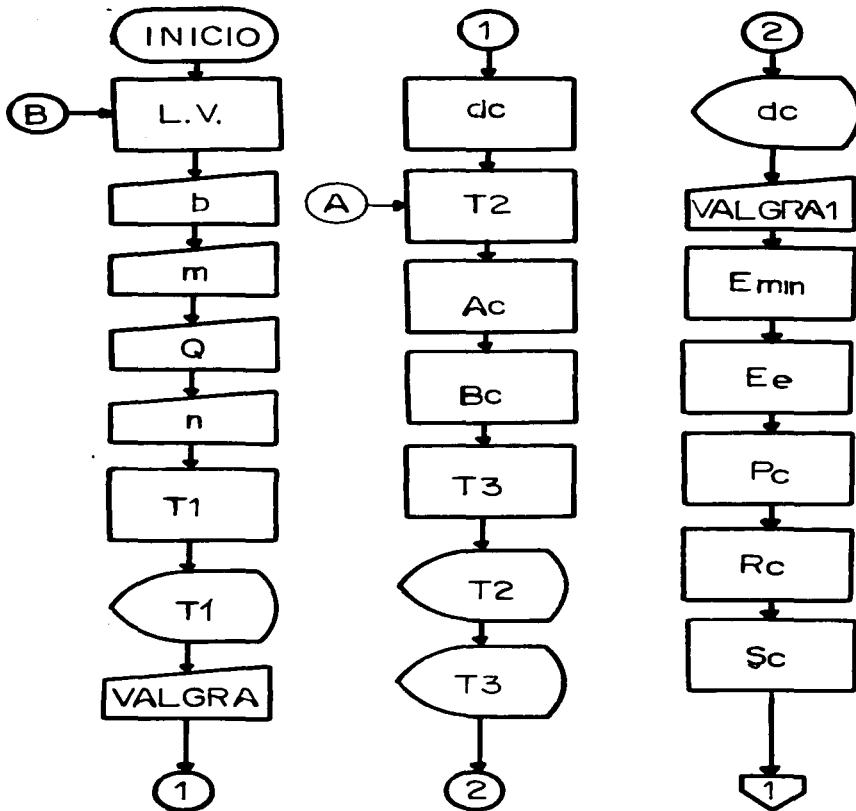
$$\mathbf{E_c = 1.9 m.}$$

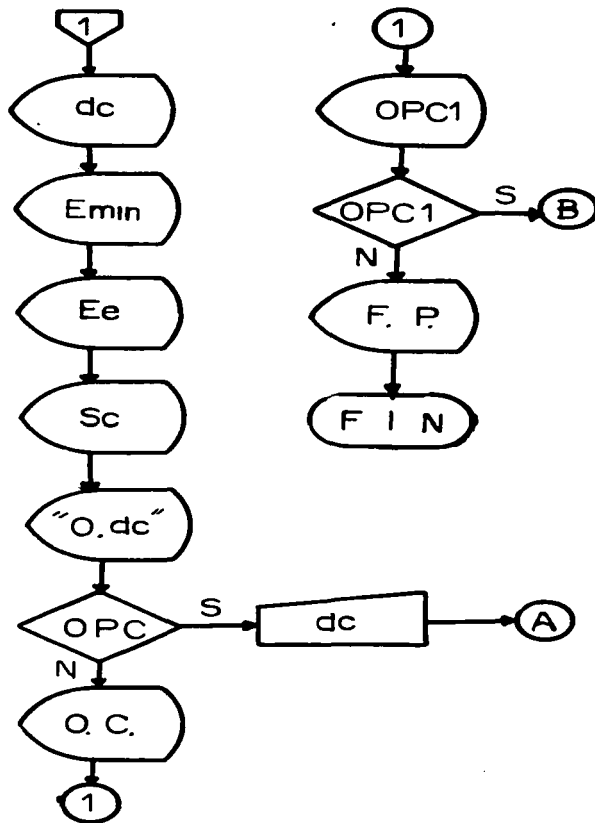
$$\mathbf{P_c = b + 2 dc(1+m^2)^{1/2}}$$

$$\mathbf{P_c = 2.5 + 2(1.4089)(1+1.5^2)^{1/2} = 7.58m}$$

$$\mathbf{R_c = A_c/P_c = 6.50 / 7.58 = 0.86 m}$$

$$\mathbf{S_c = (Q_n / AR^{2/3})^2 = 0.0026}$$





```

5 b = m = Q = n = T1 = valgra = dc = T2 = Ac = Bc = T3 = 0
10 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
20 INPUT "TALUD DEL CANAL"; m
30 INPUT "GASTO DEL CANAL"; Q
40 INPUT "C. RUGOSIDAD"; n
50 T1 = ((Q * (m ^ (3 / 2)) / ((b ^ (5 / 2)) * (9.81 ^ (1 / 2))))))
60 PRINT "VALOR PARA ENTRAR A LA GRAFICA DEL dc"; T1
70 INPUT "VALOR DE LA GRAFICA dc"; valgra
80 dc = (valgra * b) / m
90 T2 = Q ^ 2 / 9.81
100 Ac = (b * dc) + (m * (dc ^ 2))
110 Bc = b + (2 * m * dc)
120 T3 = ((Ac ^ 3) / Bc)
130 PRINT "EL VALOR Q^2/g ES:"; T2
140 PRINT "EL VALOR Ac^3/Bc ES:"; T3
150 PRINT "EL TIRANTE CRITICO ES:"; dc
160 INPUT "VALOR DE LA GRAFICA Emin :"; valgral
170 Emin = valgral * b / m
180 Ec = dc + ((Q ^ 2) / ((Ac ^ 2) * (2 * 9.81)))
190 Pc = b + (2 * dc * (1 + m ^ 2) ^ (1 / 2))
200 Rc = Ac / Pc
210 Sc = (Q * n / (Ac * Rc ^ (2 / 3))) ^ 2
220 PRINT "TIRANTE CRITICO ES:"; dc
230 PRINT "LA ENERGIA MINIMA ES:"; Emin
240 PRINT "LA ENERGIA CRITICA ES:"; Ec
250 PRINT "LA PENDIENTE CRITICA ES:"; Sc
255 INPUT "OTRO dc (1=S, 2=N) ?"; OPC
257 IF OPC = 2 GOTO 260
258 INPUT "TIRANTE CRITICO"; dc
259 GOTO 90
260 INPUT "OTRO CALCULO 1=S, 2=N ?"; OPC1
270 IF OPC1 = 1 GOTO 5
280 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
290 END

```

$$QK^{3/2}/b^{5/2}g^{1/2} = (C2*(B2^{(3/2)}))/((A2^{(5/2)})*(3.132))$$

$$TIR. CRIT. = (F2*A2)/B2$$

$$Q^2/g = (C2^2)/9.81$$

$$Ac = (A2*I2)+(B2*(I2^2))$$

$$Ac^3 = J2^3$$

$$Bc = (A2+(2*B2*I2))$$

$$Ac^3/Bc = K2/L2$$

$$Emin = (N2*A2)/B2$$

$$Ec = I2+((C2^2))/((J2^2))*2*9.81$$

$$PERI. CORR. = A2+(2*I2*(1+(B2^2))^{(1/2)})$$

$$RAD. CORR. = J2/Q2$$

$$PEND. CRIT. = ((C2*D2)/(J2*(R2^{(2/3)})))^2$$

Hojas

BASE	TALLUD	GASTO	C. RUO001	OK*1/2b*1/2g*1/2	Kdc/b	TWL CRT.	Q*2g	T.CRT. CORR.	Ac	Ac*3	Bc	Ac*3Bc	
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,50	274,59	6,73	40,82
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,50	274,51	6,73	40,81
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,50	274,42	6,73	40,80
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,50	274,34	6,73	40,79
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,50	274,25	6,73	40,78
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,50	274,17	6,73	40,77
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,50	274,06	6,72	40,76
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,50	274,00	6,72	40,75
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,49	273,91	6,72	40,73
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,49	273,83	6,72	40,72
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,49	273,74	6,72	40,71
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,49	273,66	6,72	40,70
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,49	273,57	6,72	40,69
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,49	273,49	6,72	40,68
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,49	273,40	6,72	40,67
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,49	273,32	6,72	40,66
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,49	273,23	6,72	40,65
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,49	273,15	6,72	40,64
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,49	273,06	6,72	40,63
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,49	272,96	6,72	40,62
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,49	272,89	6,72	40,60
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,49	272,81	6,72	40,59
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,48	272,72	6,72	40,58
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,48	272,64	6,72	40,57
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,48	272,55	6,72	40,56
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,48	272,47	6,72	40,55
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,48	272,38	6,72	40,54
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,48	272,30	6,72	40,53
2,5	1,5	20	0,015		1,19	0,85	1,42	40,77	1,41	6,48	272,21	6,72	40,52

KEmis/b	Emin	Ec	PERI. CORR.	RAD. CORR.	PEND. CRIT.
1,14	1,90	1,89	7,58	0,86	0,002614863
1,14	1,90	1,89	7,58	0,86	0,002615720
1,14	1,90	1,89	7,58	0,86	0,002616456
1,14	1,90	1,89	7,58	0,86	0,002617193
1,14	1,90	1,89	7,58	0,86	0,002617930
1,14	1,90	1,89	7,58	0,86	0,002618668
1,14	1,90	1,89	7,58	0,86	0,002619405
1,14	1,90	1,89	7,58	0,86	0,002620143
1,14	1,90	1,89	7,58	0,86	0,002620881
1,14	1,90	1,89	7,58	0,86	0,002621620
1,14	1,90	1,89	7,58	0,86	0,002622358
1,14	1,90	1,89	7,58	0,86	0,002623097
1,14	1,90	1,89	7,58	0,86	0,002623837
1,14	1,90	1,89	7,58	0,86	0,002624576
1,14	1,90	1,89	7,57	0,86	0,002625316
1,14	1,90	1,89	7,57	0,86	0,002626056
1,14	1,90	1,89	7,57	0,86	0,002626796
1,14	1,90	1,89	7,57	0,86	0,002627536
1,14	1,90	1,89	7,57	0,86	0,002628277
1,14	1,90	1,89	7,57	0,86	0,002629018
1,14	1,90	1,89	7,57	0,86	0,002629759
1,14	1,90	1,89	7,57	0,86	0,002630500
1,14	1,90	1,89	7,57	0,86	0,002631242
1,14	1,90	1,89	7,57	0,86	0,002631984
1,14	1,90	1,89	7,57	0,86	0,002632726
1,14	1,90	1,89	7,57	0,86	0,002633468
1,14	1,90	1,89	7,57	0,86	0,002634211
1,14	1,90	1,89	7,57	0,86	0,002634954
1,14	1,90	1,89	7,57	0,86	0,002635696

PROBLEMA III.IX.- Calcular el tirante critico de una alcantarilla de sección circular que tiene un diámetro de 91 cm. y conduce un gasto de 500 lts/s., aguas arriba de la sección en estudio se considera una pendiente de 0.002 y $n = 0.020$.

Solución.

$$Q = 500 \text{ lts/s. } (1\text{m}^3/1000\text{lts}) = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Utilizando la formula No. 12, para secciones circulares:

$$Q_n / S^{1/2} d^{8/3} = AR^{2/3} / d^{8/3}$$

$$Q_n / S^{1/2} d^{8/3} = 0.5 * 0.020 / 0.002^{1/2} 0.91^{8/3} = 0.01 / 0.034 \\ = 0.287$$

Entrando al nomograma No. 4, para determinar el tirante normal:

$$D/d = 0.8$$

$$dn = 0.8 * 0.91 = 0.728 \text{ m}$$

$$\underline{dn = 0.728 \text{ m}}$$

Por el nomograma No. 6 para determinar el tirante critico :

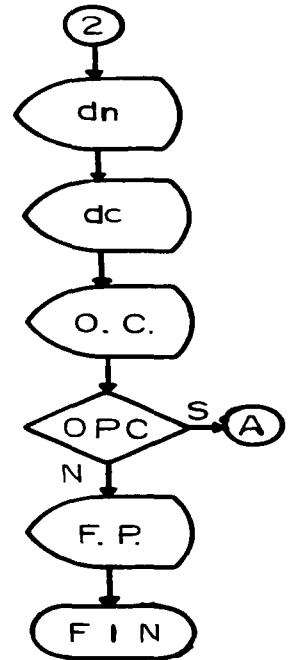
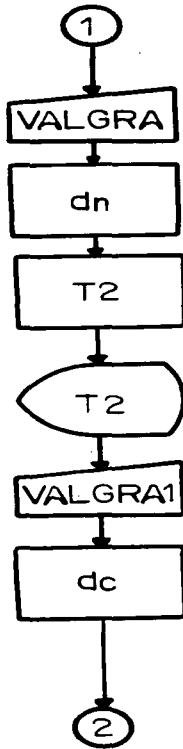
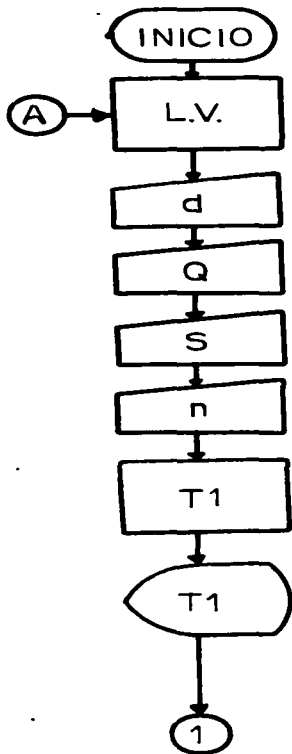
$$Q / g^{1/2} / D^{5/2} = 0.5 / 9.81^{1/2} / 0.728^{5/2} = 0.353$$

entrando al nomograma:

$$Y_c/D = 0.26$$

$$Y_c = 0.26 * 0.728 = 0.189$$

$$\underline{Y_c = d_c = 0.189 \text{ m}}$$



```

5 d = Q = S = n = T1 = valgra = dn = T2 = valgral = dc = dn = 0
10 INPUT "DIAMETRO DEL CONDUCTO"; d
20 INPUT "GASTO DEL CANAL"; Q
30 INPUT "PENDIENTE DEL CANAL"; S
40 INPUT "C. RUGOSIDAD"; n
50 T1 = ((Q * n) / ((S ^ (1 / 2)) * (d ^ (8 / 3))))
60 PRINT "EL VALOR PARA ENTRAR A LA GRAFICA dn ES"; T1
70 INPUT "VALOR DE LA GRAFICA"; valgra
80 dn = valgra * d
90 T2 = ((Q / (9.81 ^ (1 / 2)))) / (dn ^ (5 / 2))
100 PRINT "EL VALOR PARA ENTRAR A LA GRAFICA dc ES:"; T2
101 INPUT "VALOR DE LA GRAFICA"; valgral
102 dc = valgral * dn
110 PRINT "EL TIRANTE NORMAL ES:"; dn
120 PRINT "EL TIRANTE CRITICO ES:"; dc
130 INPUT "OTRO CALCULO 1=S, 2=N ?"; OPC
140 IF OPC = 1 GOTO 5
150 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
160 END

```

$$Qn/S^{1/2}d^{8/3} = (B2*D2/(C2^{(1/2)}*(A2^{(8/3))}))$$

$$\text{TIR. NORMAL} = F2*A2$$

$$Q/g^{1/2}D^{5/2} = (B2/(9.81^{(1/2)}))/(G2^{(5/2)})$$

$$\text{TIR. CRIT.} = I2*G2$$

FRANJE	GASTO	PENDIENTE	C. SUJER.	Q ₀ T ² /2 D ² S	S/D	VEL. MEDIAL	Q ₀ S ² /2 D ² S	d ₀ /d ₁	VEL. CRIT.
0,91	0,5	0,002	0,02	0,268	0,8	0,73	0,353	0,26	0,19
0,91	0,6	0,002	0,02	0,345	0,81	0,74	0,411	0,27	0,20
0,91	0,7	0,002	0,02	0,403	0,82	0,75	0,465	0,28	0,21
0,91	0,8	0,002	0,02	0,460	0,83	0,76	0,515	0,29	0,22
0,91	0,9	0,002	0,02	0,518	0,84	0,76	0,562	0,3	0,23
0,91	1	0,002	0,02	0,575	0,85	0,77	0,607	0,31	0,24
0,91	1,1	0,002	0,02	0,633	0,86	0,78	0,648	0,32	0,25
0,91	1,2	0,002	0,02	0,690	0,87	0,79	0,687	0,33	0,26
0,91	1,3	0,002	0,02	0,748	0,88	0,80	0,723	0,34	0,27
0,91	1,4	0,002	0,02	0,805	0,89	0,81	0,757	0,35	0,28
0,91	1,5	0,002	0,02	0,863	0,9	0,82	0,789	0,36	0,29
0,91	1,6	0,002	0,02	0,920	0,91	0,83	0,819	0,37	0,31
0,91	1,7	0,002	0,02	0,978	0,92	0,84	0,846	0,38	0,32
0,91	1,8	0,002	0,02	1,035	0,93	0,85	0,872	0,39	0,33
0,91	1,9	0,002	0,02	1,093	0,94	0,86	0,896	0,4	0,34
0,91	2	0,002	0,02	1,150	0,95	0,86	0,919	0,41	0,35
0,91	2,1	0,002	0,02	1,208	0,96	0,87	0,940	0,42	0,37
0,91	2,2	0,002	0,02	1,265	0,97	0,88	0,960	0,43	0,38
0,91	2,3	0,002	0,02	1,323	0,98	0,89	0,978	0,44	0,39
0,91	2,4	0,002	0,02	1,380	0,99	0,90	0,995	0,45	0,41
0,91	2,5	0,002	0,02	1,438	1	0,91	1,010	0,46	0,42
0,91	2,6	0,002	0,02	1,495	1,01	0,92	1,025	0,47	0,43
0,91	2,7	0,002	0,02	1,553	1,02	0,93	1,039	0,48	0,45
0,91	2,8	0,002	0,02	1,610	1,03	0,94	1,051	0,49	0,46
0,91	2,9	0,002	0,02	1,668	1,04	0,95	1,063	0,5	0,47
0,91	3	0,002	0,02	1,725	1,05	0,96	1,073	0,51	0,49
0,91	3,1	0,002	0,02	1,783	1,06	0,96	1,083	0,52	0,50
0,91	3,2	0,002	0,02	1,840	1,07	0,97	1,092	0,53	0,52
0,91	3,3	0,002	0,02	1,898	1,08	0,98	1,100	0,54	0,53

PROBLEMA III.X.- Calcular la pendiente crítica de un canal de sección de herradura que tiene una altura de 2.3 mts., transporta un gasto de 40 lts/s, con un coeficiente de rugosidad de 0.015.

Solución.

De la formula 1, tenemos por continuidad:

$$Q = A/n R^{2/3} S^{1/2}$$

Despejando:

$$S_c = (Qn / A_c R_c^{2/3})^2$$

Para entrar al nomograma No. 6:

$$Q/9.81^{1/2} / D^{5/2} = 0.04/9.81^{1/2} / 2.3^{5/2} = 0.00159$$

Del nomograma:

$$Y_c/D = 0.32$$

$$d_c = 0.32(2.3) = 0.736$$

$$\underline{d_c = 0.736 \text{ m.}}$$

Calculando el área y perímetro del círculo:

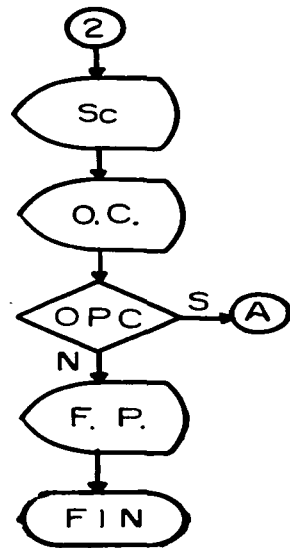
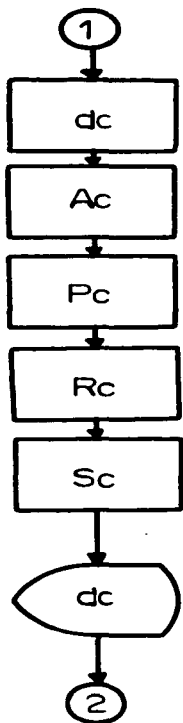
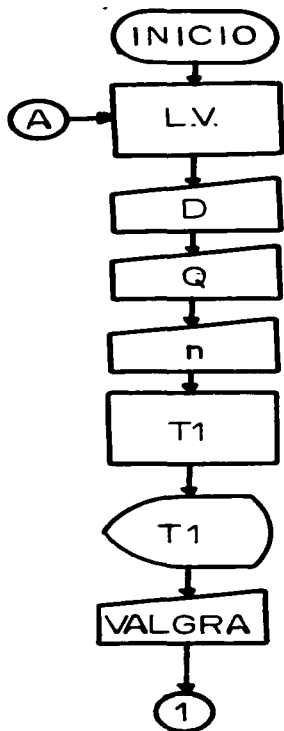
$$A_c = 3.1416 * d_c^2 / 4 = 3.1416 * (0.736^2) / 4 = 0.425 \text{ m}^2$$

$$Pc = 3.1416 dc = 3.1416 (0.736) = 2.312 \text{ m}$$

$$Rc = Ac/Pc = 0.425/2.312 = 0.183\text{m}$$

$$Sc = (0.04*0.015 / 0.425*0.183^{2/3})^2$$

$$\underline{\underline{Sc = 0.0000190}}$$



```

5 Q = D = n = T1 = valgra = dc = Ac = Pc = Rc = Sc = 0
10 INPUT "LA ALTURA DEL FLUJO"; D
20 INPUT "GASTO DEL CANAL"; Q
30 INPUT "C. RUGOSIDAD"; n
40 T1 = (Q / (9.81 ^ (1 / 2))) / (D ^ (5 / 2))
50 PRINT "EL VALOR PARA ENTRAR A LA GRAFICA DEL dc ES :"; T1
60 INPUT "VALOR DE LA GRAFICA dc"; valgra
70 dc = valgra * D
80 Ac = 3.141592 * (dc ^ 2) / 4
90 Pc = 3.141592 * dc
100 Rc = Ac / Pc
110 Sc = (((Q * n) / (Ac * (Rc ^ (2 / 3)))) ^ 2)
120 PRINT "EL TIRANTE CRITICO ES:"; dc
130 PRINT "LA PENDIENTE CRITICA ES:"; Sc
140 INPUT "OTRO CALCULO 1=S, 2=N ?"; OPC
150 IF OPC = 1 GOTO 5
160 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
170 END

```


$$Q/g^{1/2}D^{5/2} = (B2/(9.81^{(1/2)}))/(A2^{(5/2)})$$

$$\text{TIR. CRIT.} = E2 * A2$$

$$\text{AREA CRIT.} = (3.141592 * F2^2) / 4$$

$$\text{PER. CRIT.} = (3.141592 * F2)$$

$$\text{RADIO CRIT.} = G2 / H2$$

$$\text{PEND. CRIT.} = ((B2 * C2 / (G2 * (I2^{(2/3)}))))^2$$

TIRANTE	GASO	C. BURGAL.	$\frac{Q}{G^{1/2}} / \frac{W}{G/2}$	$\frac{G}{G}$	TIR. CONT.	AREA CONT.	PER. CONT.	BASIS CONT.	PERB. CONT.
2,3	0,04	0,015	0,0018	0,32	0,74	0,43	2,31	0,18	0,0000190
2,4	0,04	0,015	0,0014	0,33	0,79	0,49	2,49	0,20	0,0000129
2,5	0,04	0,015	0,0013	0,34	0,85	0,57	2,87	0,21	0,0000088
2,6	0,04	0,015	0,0012	0,35	0,91	0,65	2,86	0,23	0,0000081
2,7	0,04	0,015	0,0011	0,36	0,97	0,74	3,05	0,24	0,0000043
2,8	0,04	0,015	0,0010	0,37	1,04	0,84	3,25	0,26	0,0000031
2,9	0,04	0,015	0,0009	0,38	1,10	0,95	3,46	0,28	0,0000022
3	0,04	0,015	0,0008	0,39	1,17	1,08	3,68	0,29	0,0000018
3,1	0,04	0,015	0,0008	0,4	1,24	1,21	3,90	0,31	0,0000012
3,2	0,04	0,015	0,0007	0,41	1,31	1,35	4,12	0,33	0,0000009
3,3	0,04	0,015	0,0006	0,42	1,39	1,51	4,35	0,35	0,0000008
3,4	0,04	0,015	0,0006	0,43	1,46	1,68	4,59	0,37	0,0000005
3,5	0,04	0,015	0,0006	0,44	1,54	1,86	4,84	0,39	0,0000004
3,6	0,04	0,015	0,0005	0,45	1,62	2,06	5,09	0,41	0,0000003
3,7	0,04	0,015	0,0005	0,46	1,70	2,28	5,35	0,43	0,0000002
3,8	0,04	0,015	0,0005	0,47	1,79	2,51	5,61	0,45	0,0000002
3,9	0,04	0,015	0,0004	0,48	1,87	2,75	5,88	0,47	0,0000001
4	0,04	0,015	0,0004	0,49	1,96	3,02	6,16	0,49	0,0000001
4,1	0,04	0,015	0,0004	0,5	2,05	3,30	6,44	0,51	0,0000001
4,2	0,04	0,015	0,0004	0,51	2,14	3,60	6,73	0,54	0,0000001
4,3	0,04	0,015	0,0003	0,52	2,24	3,93	7,02	0,56	0,0000001
4,4	0,04	0,015	0,0003	0,53	2,33	4,27	7,33	0,58	0,0000000
4,5	0,04	0,015	0,0003	0,54	2,43	4,64	7,63	0,61	0,0000000
4,6	0,04	0,015	0,0003	0,55	2,53	5,03	7,95	0,63	0,0000000
4,7	0,04	0,015	0,0003	0,56	2,63	5,44	8,27	0,66	0,0000000
4,8	0,04	0,015	0,0003	0,57	2,74	5,88	8,60	0,68	0,0000000
4,9	0,04	0,015	0,0002	0,58	2,84	6,34	8,93	0,71	0,0000000
5	0,04	0,015	0,0002	0,59	2,95	6,83	9,27	0,74	0,0000000
5,1	0,04	0,015	0,0002	0,6	3,06	7,35	9,61	0,77	0,0000000

PROBLEMA III.G1.- Diseñar un canal, el cual por investigación se determino:

$$Q = 23.14 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$n = 0.16$$

$$S = 0.0002$$

$$m = 0.5$$

$$dn/b = 6.547$$

Afinar los tirantes normal y critico así como calcular el numero de Froude y concluir en que régimen se encuentra.

Solución.

De la formula No. 12, se tiene:

$$Qn / b^{8/3} S^{1/2} = AR^{2/3} / b^{8/3}$$

En el análisis se supone b:

$$\underline{\mathbf{b = 2m}}$$

De la relación tirante, base:

$$dn = 6.547(2) = 13.094 \text{ m}$$

$$\underline{\mathbf{dn = 13.094 m.}}$$

$$A = bdn + mdn^2 = 2(13.094) + 0.5(13.094)^2 = 111.91 \text{ m}^2$$

$$\underline{\mathbf{A = 111.91 m}^2}$$

$$P = b + 2dn(1+m^2)^{1/2} = 2 + 2(13.094)(1+0.5^2)^{1/2} \\ = 31.27\text{m}$$

$$\underline{P = 31.27 \text{ m}}$$

$$R = A/P = 111.91 / 31.27 = 3.57 \text{ m.}$$

$$\underline{R = 3.57 \text{ m.}}$$

De la formula No. 12.

$$Q_n / b^{8/3} S^{1/2} = 23.14 * 0.16 / 2^{8/3} * 0.0002^{1/2} = 41.23$$

$$\underline{Q_n / b^{8/3} S^{1/2} = 41.23}$$

$$AR^{2/3} / b^{8/3} = 111.91 * (3.57^{2/3}) / 2^{8/3} = 41.16$$

$$\underline{AR^{2/3} / b^{8/3} = 41.16}$$

Se cumple la igualdad.

Calculando el tirante critico, con la formula 13:

$$QK^{3/2} / b^{5/2} (g)^{1/2} = 23.14(0.5)^{3/2} / 2^{5/2} * 9.81^{1/2} \\ = 0.461$$

Del nomograma No. 5.

$$Kdc/b = 0.5$$

$$dc = 0.5 * 2 / 0.5 = 2\text{m}$$

$$\underline{dc = 2 \text{ m.}}$$

$$A_c = bdc + mdc^2 = 2(2) + 0.5(2)^2 = 6 \text{ m}^2$$

$$B_c = b + 2mdc = 2 + 2(0.5)(2) = 4 \text{ m}$$

$$\underline{A_c^{3/2}/B_c^{1/2} = 7.35}$$

$$\underline{Q/g^{1/2} = 7.38}$$

Se cumple la igualdad $A_c^3/B_c = Q^2/g$

$$P_c = b + 2dc(1+m^2)^{1/2} = 2 + 2(2)(1+0.5^2)^{1/2} = 6.472 \text{ m}$$

$$V_c = Q/A_c = 23.14/6 = 3.85 \text{ m/s}$$

$$S_c = (V_c n / R^{2/3})^2 = (3.85 \cdot 0.16 / 0.927^{2/3})^2 = 0.419$$

$$\underline{S_c = 0.419}$$

$$E_{min} = QD / D^{5/2} g^{1/2}$$

$$D = A_c/B_c = 6/4$$

$$E_{min} = 23.14(1.5) / (1.5)^{5/2}(9.81)^{1/2} = 4.02$$

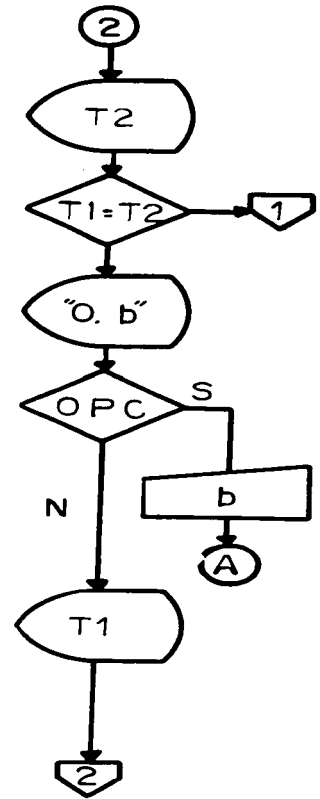
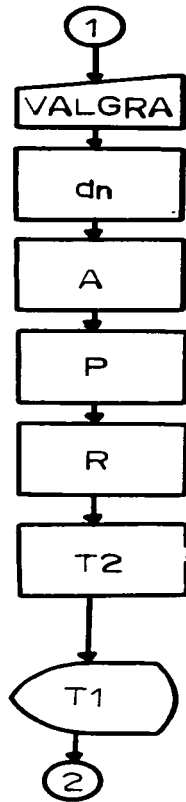
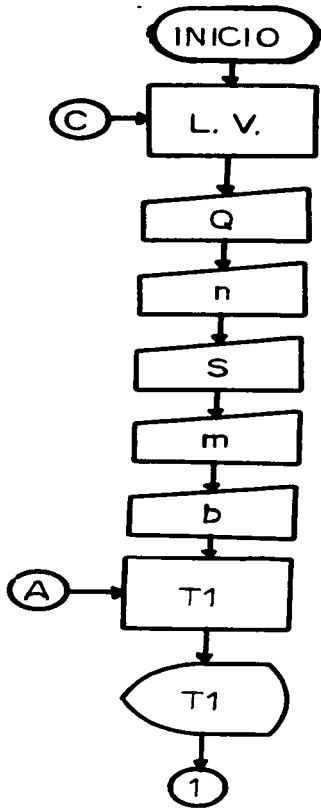
$$\underline{E_{min} = 4.02}$$

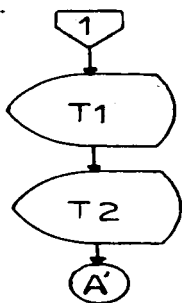
$$E_e = dc + V_c^2/2g = 2 + (3.85)^2/2(9.81) = 2.75$$

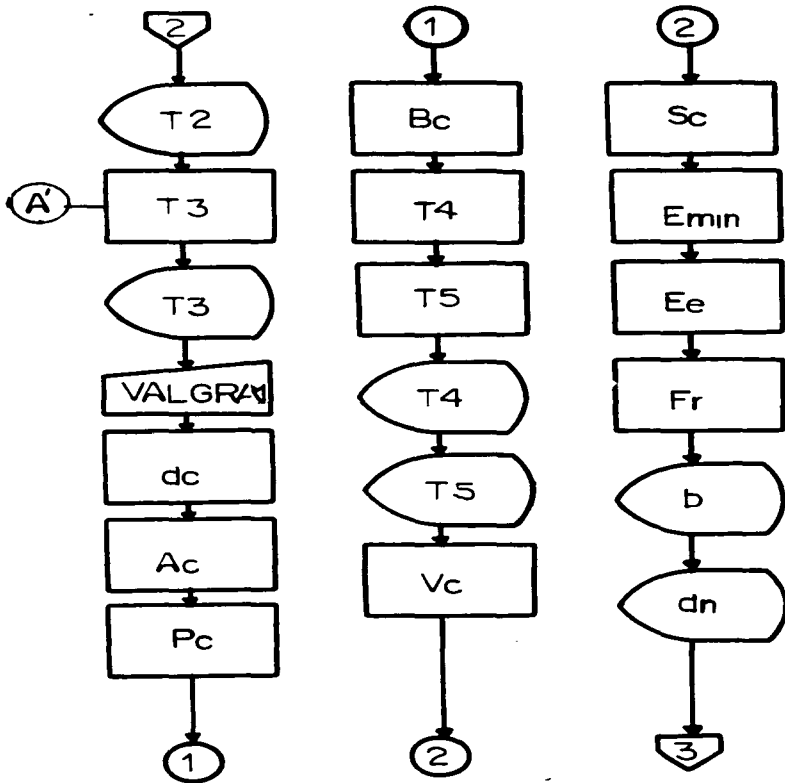
$$\underline{E_e = 2.75}$$

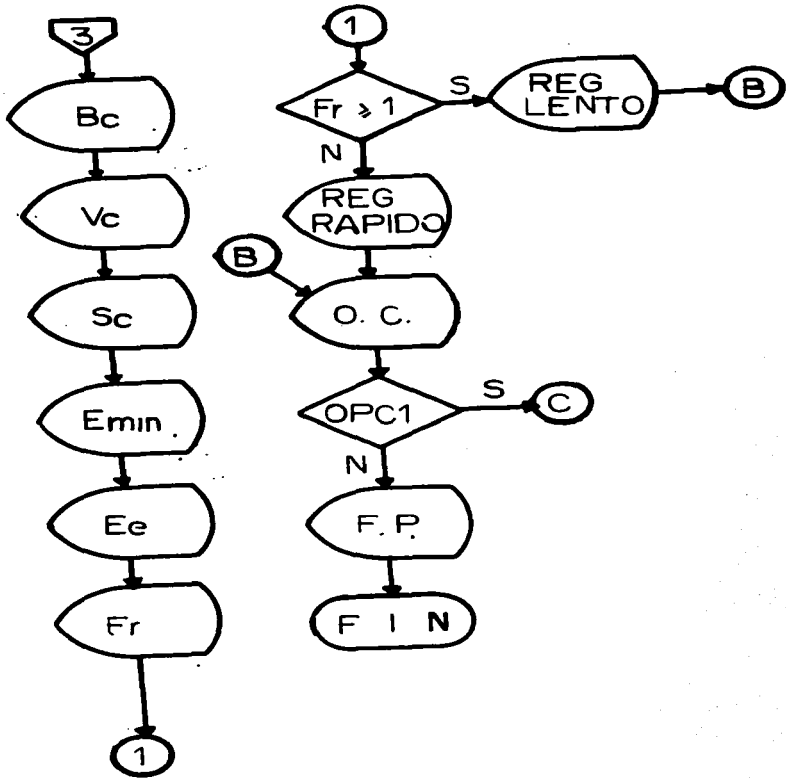
$$Fr = V_c / (gdc)^{1/2} = 3.85 / (9.81 \cdot 2)^{1/2} = 0.869$$

$$\underline{Fr = 0.869} \quad \underline{\text{FROUDE CRITICO.}}$$









```

5 b = d = A = P = R = dn = dc = Ac = Bc = T1 = T2 = T3 = T4 = 0
10 INPUT "GASTO DEL CANAL"; Q
20 INPUT "C. RUGOSIDAD"; n
30 INPUT "PENDIENTE DEL CANAL"; S
40 INPUT "TALUD DEL CANAL"; m
50 INPUT "BASE PROPUESTA"; b
60 T1 = (Q * n) / ((b ^ (8 / 3)) * (S ^ (1 / 2)))
70 PRINT "EL VALOR PARA ENTRAR A LA GRAFICA dn ES:"; T1
80 INPUT "VALOR DE LA GRAFICA"; valgra
90 dn = valgra * b
100 A = (b * dn) + (m * dn ^ (2))
101 P = b + (2 * dn) + (m * dn ^ (2))
110 R = A / P
120 T2 = ((A * R ^ (2 / 3)) / (b ^ (8 / 3)))
125 PRINT "Qn/b^8/3S^1/2"; T1
130 PRINT "AR^(2/3)/b^(8/3) ES"; T2
140 IF T1 = T2 GOTO 240
170 INPUT "OTRA b 1=S, 2=N?"; OPC
180 IF OPC = 1 GOTO 200
190 IF OPC = 2 GOTO 240
200 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
210 GOTO 60
240 PRINT "Qn/b^8/3S^1/2"; T1
250 PRINT "AR^(2/3)/b^(8/3)"; T2
260 T3 = ((Q / (9.81 ^ (1 / 2))) / (dn ^ (5 / 2)))
270 PRINT "EL VALOR PARA ENTRAR A LA GRAFICA DEL dc"; T3
280 INPUT "VALOR DE LA GRAFICA"; valgral
290 dc = valgral * dn
300 Ac = (b * dc) + (m * (dc ^ 2))
310 Pc = b + (2 * dc * (1 + m ^ (2)) ^ (1 / 2))
320 Bc = b + (2 * m * dc)
330 T4 = (Q / (9.81 ^ (1 / 2)))
340 T5 = ((Ac ^ (3 / 2)) / (Bc ^ (1 / 2)))
370 PRINT "Q/g^(1/2)"; T4
380 PRINT "Ac^3/2 / Bc ^1/2"; T5
390 Vc = Q / Ac
400 Sc = ((Q * n) / (Ac * ((Ac / (b + (2 * dc * ((1 + m ^ (2)) ^ (1 / 2)))))) ^
410 Emin = (Q / (9.81 ^ (1 / 2))) * (dn ^ (3 / 2)) (E/3)))
420 Es = dc + ((Vc ^ (2)) / (2 * 9.81))
430 Fr = (Vc / ((9.81 * dc) ^ (1 / 2)))
440 PRINT "LA BASE DEL CANAL ES"; b
450 PRINT "EL TIRANTE NORMAL ES"; dn
460 PRINT "LA BASE CRITICA DEL CANAL ES"; Bc
470 PRINT "LA VELOCIDAD CRITICA DEL CANAL ES:"; Vc
480 PRINT "LA PENDIENTE CRITICA DEL CANAL ES:"; Sc
482 PRINT "LA ENERGIA MINIMA ES :"; Emin
484 PRINT "LA ENERGIA ESPECIFICA ES:"; Ee
486 PRINT "EL NUMERO DE FROUDE ES:"; Fr
90 IF Fr > 1 OR Fr = 1 GOTO 510
00 PRINT "EL REGIMEN ES LENTO"
01 GOTO 520
10 PRINT "EL REGIMEN ES RAPIDO"
20 INPUT "OTRO CALCULO 1=S, 2=N ?"; OPC1
30 IF OPC1 = 1 GOTO 5
40 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
50 END

```

$$Qn/b^{8/3}S^{1/2} = (A2*B2)/(E2^{(8/3)}*C2^{(1/2)})$$

$$TIRANTE = G2*E2$$

$$AREA = (E2*H2)+(D2*(H2^2))$$

$$PERIMETRO = E2+(2*H2*((1+D2^2)^{(1/2)}))$$

$$RADIO H. = I2/J2$$

$$AR^{2/3}/b^{8/3} = (I2*(K2^{(2/3)}))/(E2^{(8/3)})$$

$$Q/g^{1/2}dn^{5/2} = (A2/(9.81^{(1/2)}))/(H2^{(5/2)})$$

$$dc = N2*H2$$

$$AREA CRIT. = (E2*O2+(D2*(O2^2)))$$

$$BASE CRIT. = E2+(2*D2*O2)$$

$$Q/g^{1/2} = A2/(9.81^{(1/2)})$$

$$Ac^{3/2}/Bc^{1/2} = ((P2^{(3/2)})/(Q2^{(1/2)}))$$

$$VEL. CRIT. = A2/P2$$

$$PEND. CRIT. = (A2*B2/(P2*(P2/(E2+(2*O2*((1+(D2^2)^{(1/2)}))))))^{(2/3)})^2$$

$$Emin = ((A2*(P2/Q2))/((P2/Q2)^{(5/2)}*(9.81)^{(1/2)}))$$

$$Ee = (O2 + ((T2^2) / (2 * 9.81)))$$

$$Fr = (T2 / ((9.81 * O2)^{1/2}))$$

CANTO	C. BARRIL	FRENTE	ALMO	GRU	Q. P. V. / M ² / S	Q. P. S	FRONTE	AREA	FRENTE	ALMO B. / M ² / S	Q. P. V. / M ² / S
23,14	0,10	0,0002	0,5	2	41,23	0,55	13,00	111,91	31,20	3,50	41,23
23,14	0,10	0,0002	0,5	2,1	30,20	0,10	13,00	111,75	31,10	3,50	30,20
23,14	0,10	0,0002	0,5	2,2	31,00	5,97	12,00	111,63	31,05	3,50	32,00
23,14	0,10	0,0002	0,5	2,3	20,40	5,50	12,02	111,70	30,97	3,01	20,50
23,14	0,10	0,0002	0,5	2,4	25,30	5,30	12,72	111,43	30,84	3,01	25,41
23,14	0,10	0,0002	0,5	2,5	22,74	5,05	12,63	111,20	30,73	3,02	22,70
23,14	0,10	0,0002	0,5	2,6	20,40	4,01	12,51	110,72	30,50	3,02	20,43
23,14	0,10	0,0002	0,5	2,7	18,32	4,00	12,42	110,00	30,47	3,03	18,50
23,14	0,10	0,0002	0,5	2,8	16,01	4,40	12,32	110,50	30,35	3,04	16,70
23,14	0,10	0,0002	0,5	2,9	15,31	4,22	12,24	110,37	30,20	3,05	15,20
23,14	0,10	0,0002	0,5	3	13,00	4,05	12,15	110,20	30,17	3,05	13,07
23,14	0,10	0,0002	0,5	3,1	12,01	3,00	12,00	110,00	30,00	3,00	12,00
23,14	0,10	0,0002	0,5	3,2	11,77	3,74	11,97	100,91	29,00	3,07	11,70
23,14	0,10	0,0002	0,5	3,3	10,85	3,00	11,00	100,77	29,00	3,00	10,83
23,14	0,10	0,0002	0,5	3,4	10,02	3,47	11,00	100,71	29,70	3,00	10,01
23,14	0,10	0,0002	0,5	3,5	0,27	3,35	11,73	100,70	20,72	3,00	0,20

$Q_{1/2}/Q_{1/2}$	$Q_{1/2}$	$Q_{1/2}$	AREA CUR.	BASE CUR.	$Q_{1/2}^2$	$Q_{1/2}^3$	VEL. CUR.	PEND. CUR.	Endo	Ex	Fr
0.0110	0.153	2.01	0.02	4.01	7.30	7.30	3.04	0.42	4.01	2.70	0.07
0.0121	0.151	1.97	0.06	4.07	7.30	7.30	3.02	0.41	4.00	2.71	0.07
0.0124	0.140	1.93	0.00	4.13	7.30	7.41	3.00	0.40	4.12	2.00	0.07
0.0125	0.147	1.89	0.13	4.10	7.30	7.42	3.77	0.40	4.17	2.02	0.08
0.0126	0.146	1.85	0.15	4.25	7.30	7.41	3.70	0.39	4.24	2.57	0.08
0.0130	0.144	1.81	0.18	4.31	7.30	7.30	3.75	0.39	4.31	2.53	0.09
0.0134	0.142	1.78	0.19	4.38	7.30	7.37	3.74	0.38	4.30	2.40	0.09
0.0138	0.141	1.75	0.23	4.45	7.30	7.30	3.71	0.38	4.45	2.45	0.09
0.0139	0.139	1.71	0.27	4.51	7.30	7.30	3.69	0.38	4.51	2.41	0.09
0.0141	0.137	1.68	0.28	4.58	7.30	7.30	3.68	0.37	4.60	2.37	0.01
0.0144	0.136	1.65	0.32	4.65	7.30	7.37	3.66	0.37	4.60	2.34	0.01
0.0148	0.135	1.63	0.38	4.73	7.30	7.30	3.64	0.37	4.73	2.30	0.01
0.0149	0.134	1.60	0.40	4.80	7.30	7.30	3.62	0.36	4.80	2.27	0.01
0.0152	0.133	1.58	0.43	4.88	7.30	7.41	3.59	0.36	4.88	2.23	0.01
0.0155	0.131	1.55	0.46	4.95	7.30	7.37	3.58	0.36	4.98	2.20	0.02
0.0157	0.130	1.53	0.51	5.03	7.30	7.41	3.58	0.35	5.01	2.17	0.02

CAPITULO IV.

CAPITULO IV.- SALTO HIDRAULICO.

ASPECTOS FUNDAMENTALES.

El fenómeno del salto Hidráulico es ocasionado cuando se presenta un cambio de régimen, esto es; una transición entre un flujo turbulento y un flujo laminar, o en otras palabras, un cambio de régimen de supercrítico a subcrítico.

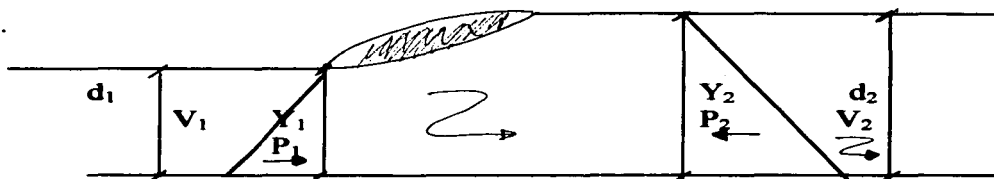
El salto Hidráulico se podría pensar fríamente que no tiene una aplicación practica, pero es sabido que tiene una gran gama de utilidades dentro de la Hidráulica para determinar el comportamiento del fluido.

Se puede observar físicamente este fenómeno cuando en la trayectoria de un fluido se coloca un cimacio, y mas aun en obras de toma, la importancia que tiene el salto es vital, dado que una vez ocurrido el salto Hidráulico se podría aforar.

Podríamos decir que dentro de sus aplicaciones mas importantes se encuentran:

- Generación de energía.**
- Salida de una compuerta.**
- Reducción de la pendiente del flujo.**
- Reducción de la sección Hidráulica.**

El salto Hidráulico se podría esquematizar en la figura IV.I.



d_2 = Tirante Conjugado Mayor.

d_1 = Tirante Conjugado Menor.

Y_2 = Tirante Subcrítico.

Y_1 = Tirante Supercrítico.

$d_2 = d_n$, Salto Hidráulico Normal.

$d_2 > d_n$, Salto Hidráulico Ahogado.

$d_2 < d_n$, Salto Hidráulico Barrido.

$d_c > d_n$, Régimen Supercrítico.

$d_c < d_n$, Régimen Subcrítico.

FIGURA IV.I.

En este tipo de fenómeno debido a que en un principio de desconoce la pérdida de energía asociada al salto Hidráulico, la aplicación de la ecuación de la energía de Bernoulli no es posible.

Otras de las aplicaciones importantes pueden ser:

- El fenómeno de socavación (prevención) aguas abajo de las estructuras Hidráulicas.
- Incremento del gasto descargado por la compuerta.

Al rechazar el retroceso del agua contra la compuerta, esto trae como consecuencia que se aumenta la carga efectiva y con ella la descarga.

Existen diferentes tipos de saltos.

Los tipos de flujo se pueden determinar de acuerdo al numero de Froude.

$$Frc = Vc / (g dc)^{1/2} \dots\dots\dots \text{Froude Critico.}$$

Tipo de Salto	No. Fr
- Flujo Critico (No hay salto)	1.0
- Flujo Ondulador	1.0 - 1.7
- Salto Débil	2.5 - 4.5
- Salto Oscilante	4.5 - 9.0
- Salto Permanente	> 9.0

Longitud del Salto.

Es la distancia en donde comienza el flujo turbulento y donde termina este.

La longitud del salto en un canal trapezoidal es mayor con respecto a un canal de sección rectangular.

Para determinar la longitud del salto existen varias investigaciones que llegan o finalizan con similar resultado.

Para flujo supercrítico en un canal horizontal rectangular, la energía del flujo esta disipada a través de la resistencia friccional a lo largo de un canal, trayendo esto como consecuencia la disminución de velocidad. Un salto Hidráulico se formara en un canal si el numero de Froude del flujo con una profundidad d_1 y una profundidad d_2 , tal que satisface la siguiente ecuación:

$$d_2/d_1 = (1 + 8Fr_1^2)^{1/2} - 1 / 2 \quad \text{tal que:}$$

$$Fr_2 = V_2 / (g d_2)^{1/2}$$

$$d_1 = d_2/2 (1 + 8Fr_2^2)^{1/2} - 1$$

$$Fr_1 = V_1 / (g d_1)^{1/2}$$

$$d_2 = d_1/2 (1 + 8Fr_1^2)^{1/2} - 1$$

Se observa en las anteriores ecuaciones, que no corresponden a un despeje matemático , si no que es una relación que se tiene que cumplir para calcular el número de Froude y de esta forma determinar que régimen estamos trabajando.

En los nomogramas 7, 8, 9, 10 se muestran las curvas que representan los valores de Y_2 y Y_1 y que

permiten el cálculo directo de los tirantes subcrítico y supercrítico, respectivamente.

PROBLEMA IV.I.- Un canal conduce un gasto de 11 m³/s, es de sección rectangular y tiene un coeficiente de rugosidad igual a 0.012, el ancho del canal es de 2m. y se desea determinar la pendiente para que el salto se forme al pie de la compuerta, la abertura de la compuerta es de 0.4 m.

Solución.

Primero se calcula el tirante crítico, para comparar con el tirante normal, de la formula 19:

$$d_c = (Q^2 / B^2 g)^{1/3} = (113 / 2^2 \cdot 9.81)^{1/3} = 1.45 \text{ m}$$

$$d_1 = \text{Tirante Conjugado Menor} = d_n$$

1.45 m > 0.4 m por lo tanto es régimen supercrítico.

De la formula No. 30:

$$Fr_1 = V_1 / (g d_1)^{1/2} = (11/2 \cdot 0.4) / (9.81 \cdot 0.4)^{1/2} = 6.94$$

Fr₁ = 6.94 De la tabla que se encuentra en la introducción a este tema tenemos que el salto es **oscilante.**

$$d_2 = d_1/2 (1 + 8 Fr_1^2)^{1/2} - 1 = 0.4/2 (1 + 8(6.94)^2)^{1/2} - 1$$

El Tirante Conjugado Mayor es:

$$d_2 = 3.73 \text{ m.}$$

$d_2 > d_n \implies$ Salto Hidráulico Ahogado.

Encontrando el numero de Froude por medio de la ecuación 23:

Determinando la pendiente:

$$A = bd = 2 * 3.73 = 7.46 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2d = 2 + 2(3.73) = 9.46 \text{ m}$$

$$R = A/P = 7.46/9.46 = 0.788 \text{ m}$$

De la formula No. 1.

$$Q = A/n R^{2/3} S^{1/2} \implies S = (Qn/AR^{2/3})^2$$

$$S = (11 * 0.012 / 7.46 * 0.788^{2/3})^2 = 0.00042$$

S = 0.00042

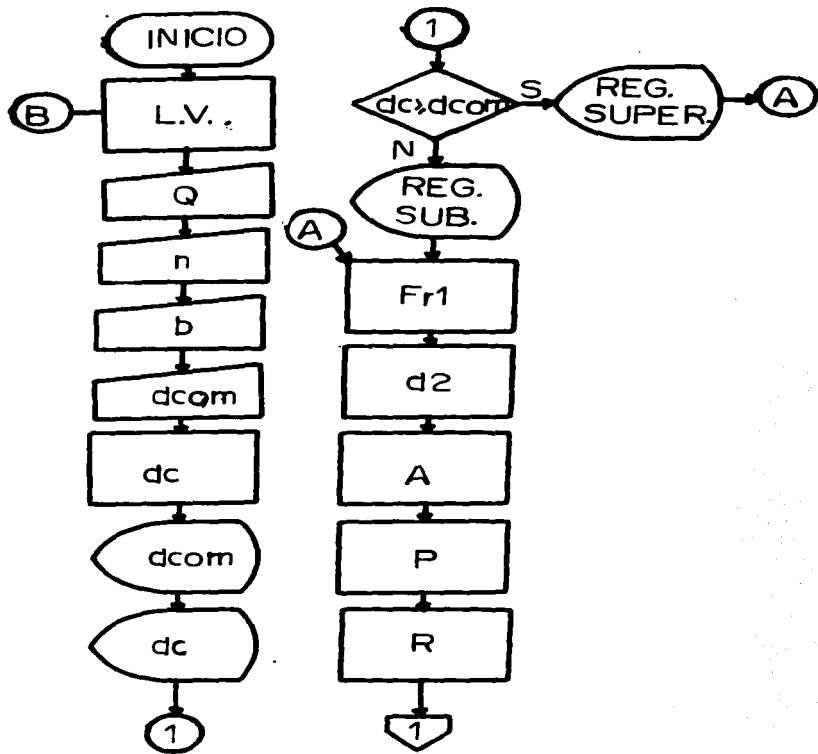
Entrando al nomograma No. 7 para la determinación del tirante subcrítico:

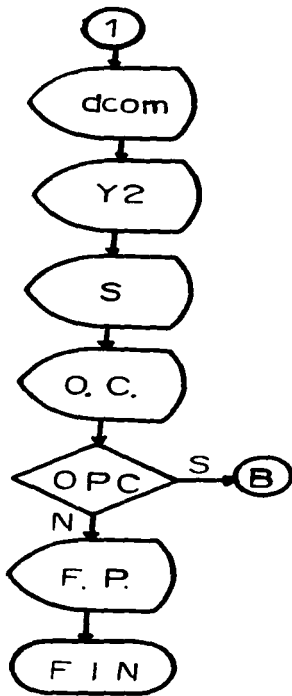
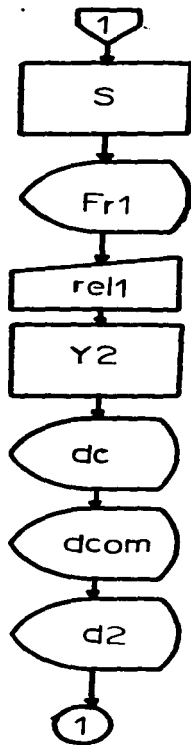
$$Fr_1 = 6.94$$

$$Y_2/Y_1 = 9.2 \implies Y_2 = 9.2(0.4) = 3.68 \text{ m}$$

El tirante Subcrítico es:

Y₂ = 3.68 m.






```

5 b = d = dcom = A = P = R = S = 0
10 INPUT "GASTO DEL CANAL"; Q
20 INPUT "C. RUGOSIDAD"; n
30 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
40 INPUT "ABERTURA DE LA COMPUERTA"; dcom
50 dc = (Q ^ 2 / ((b ^ (2)) * 9.81)) ^ (1 / 3)
55 PRINT "dcomp"; dcom
57 PRINT "dc"; dc
58 IF dc > dcom OR dc = dcom GOTO 90
70 PRINT "dc < dcom regimen subcritico"
30 GOTO 100
90 PRINT "dc > dcom regimen supercritico"
100 Fr1 = ((Q / (b * dcom)) / ((9.81 * dcom) ^ (1 / 2)))
110 d2 = (dcom / 2) * (((1 + (8 * (Fr1 ^ (2)))) ^ (1 / 2)) - 1)
120 A = (b * d2)
130 P = b + (2 * d2)
140 R = A / P
150 S = (Q * n / (A * (R ^ (2 / 3)))) ^ (2)
160 PRINT "EL VALOR PARA LA GRAFICA DEL TIRANTE SUBCRITICO ES:"; Fr1
170 INPUT "RELACION Y2/Y1"; r11
180 Y2 = r11 * dcom
190 PRINT "EL TIRANTE CRITICO ES:"; dc
200 PRINT "EL TIRANTE MENOR ES:"; dcom
210 PRINT "EL TIRANTE MAYOR ES:"; d2
220 PRINT "EL TIRANTE SUPERCRITICO ES:"; dcom
230 PRINT "EL TIRANTE SUBCRITICO ES:"; Y2
240 PRINT "LA PENDIENTE ES:"; S
250 INPUT "OTRO CALCULO (1= S, 2=N)?"; OPC
260 IF OPC = 1 GOTO 5
270 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
280 END

```

$$\text{TIR. CRITI.} = (A2^2 / (C2^2 * 9.81))^{(1/3)}$$

$$\text{Fr1} = ((A2 / (C2 * D2)) / ((9.81 * D2)^{(1/2)}))$$

$$\text{T.C.M.} = (D2/2) * ((1 + (8 * (F2^2)))^{(1/2)} - 1)$$

$$\text{AREA} = C2 * G2$$

$$\text{PERIMETRO} = (C2 + (2 * G2))$$

$$\text{RADIO} = H2 / I2$$

$$\text{PENDIENTE} = (A2 * B2 / (H2 * (J2^{(2/3)})))^{(2)}$$

$$\text{TIRANTE SUB.} = L2 * D2$$

Hojet

GASTO	C. BUDGET.	BASE	TIMANTE	TR. CONT.	Fr1	T.C.M.	AREA	PERIMETRO	INDIC	PENDEENTE	T2/T1
11	0,012	2	0,4	1,46	6,94	3,73	7,46	9,46	0,79	0,0004	9,2
11	0,012	2	0,8	1,46	3,78	2,92	5,84	7,84	0,74	0,0008	4,8
11	0,012	2	0,8	1,46	2,45	2,41	4,81	6,81	0,71	0,0012	3,11
11	0,012	2	1	1,46	1,78	2,03	4,07	6,07	0,67	0,0018	2,22
11	0,012	2	1,2	1,46	1,34	1,75	3,49	5,49	0,64	0,0026	1,88
11	0,012	2	1,4	1,46	1,08	1,51	3,02	5,02	0,60	0,0037	1,34
11	0,012	2	1,8	1,46	0,87	1,32	2,64	4,64	0,57	0,0053	1,1
11	0,012	2	1,8	1,46	0,73	1,16	2,32	4,32	0,54	0,0074	0,922
11	0,012	2	2	1,46	0,62	1,02	2,04	4,04	0,51	0,0104	0,787
11	0,012	2	2,2	1,46	0,54	0,90	1,81	3,81	0,47	0,0144	0,672
11	0,012	2	2,4	1,46	0,47	0,80	1,60	3,60	0,45	0,0198	0,598
11	0,012	2	2,8	1,46	0,42	0,72	1,43	3,43	0,42	0,0273	0,52
11	0,012	2	2,8	1,46	0,37	0,64	1,28	3,28	0,39	0,0373	0,45
11	0,012	2	3	1,46	0,34	0,58	1,15	3,15	0,37	0,0505	0,4
11	0,012	2	3,2	1,46	0,31	0,52	1,04	3,04	0,34	0,0680	0,36
11	0,012	2	3,4	1,46	0,28	0,47	0,94	2,94	0,32	0,0908	0,34
11	0,012	2	3,8	1,46	0,26	0,43	0,85	2,85	0,30	0,1208	0,3
11	0,012	2	3,8	1,46	0,24	0,39	0,78	2,78	0,28	0,1588	0,27
11	0,012	2	4	1,46	0,22	0,35	0,71	2,71	0,26	0,2077	0,27
11	0,012	2	4,2	1,46	0,20	0,32	0,65	2,65	0,25	0,2698	0,25
11	0,012	2	4,4	1,46	0,19	0,30	0,60	2,60	0,23	0,3478	0,24
11	0,012	2	4,6	1,46	0,18	0,28	0,55	2,55	0,22	0,4452	0,21
11	0,012	2	4,8	1,46	0,17	0,25	0,51	2,51	0,20	0,5862	0,2
11	0,012	2	5	1,46	0,16	0,24	0,47	2,47	0,19	0,7152	0,19
11	0,012	2	5,2	1,46	0,15	0,22	0,44	2,44	0,18	0,8977	0,17
11	0,012	2	5,4	1,46	0,14	0,20	0,41	2,41	0,17	1,1198	0,16
11	0,012	2	5,8	1,46	0,13	0,19	0,38	2,38	0,16	1,3886	0,16
11	0,012	2	5,8	1,46	0,13	0,18	0,36	2,36	0,15	1,7120	0,15
11	0,012	2	6	1,46	0,12	0,17	0,33	2,33	0,14	2,0993	0,14

TIPO DE BARRA
3,68
2,88
2,40
2,22
2,02
1,88
1,78
1,68
1,57
1,48
1,43
1,35
1,28
1,20
1,15
1,10
1,08
1,03
1,08
1,05
1,08
0,97
0,98
0,95
0,88
0,86
0,90
0,87
0,84

PROBLEMA IV.II.- Un canal de sección rectangular descarga un $Q=15 \text{ m}^3/\text{s}$, con una plantilla de 3m, un coeficiente de rugosidad de 0.015, con pendiente de 0.2.

Determinar que fenómeno Hidráulico se va a presentar aguas arriba de la compuerta.

Solución.

Haciendo la comparación de tirantes, por medio de las ecuaciones 12 y 19.

$$dc = (Q^2 / B^2 g)^{1/3}$$

$$dc = (15^2 / 3^2 \cdot 9.81)^{1/3} = 1.32 \text{ m}$$

$$dc = 1.32 \text{ m.}$$

Determinando el tirante normal:

$$Q_n / b^{8/3} S^{1/2} = AR^{2/3} / S^{1/2} b^{8/3} \dots\dots\dots 1$$

$$15(0.015) / 3^{8/3} \cdot 0.2^{1/2} = 0.027$$

Del nomograma No.4 se determina el tirante normal:

$$Y/b = 0.13 \implies Y = 3(0.13) = 0.39 \text{ m}$$

$$Y = dn = 0.39$$

dc > dn Flujo Supercrítico.

Por tanteos afinando el tirante en la igualdad 1

$$d = 0.39$$

$$V = Q/A = 15 / (0.39 \cdot 3) = 12.82 \text{ m/s}$$

$$Fr_1 = V_1 / (g d_1)^{1/2}$$

$$Fr_1 = 12.82 / (0.39 \cdot 9.8)^{1/2} = 6.55$$

$$\underline{Fr_1 = 6.55}$$

Se deduce que es un salto oscilante.

Y calculando la relación de tirantes se tiene que el tirante conjugado mayor es:

$$d_2 = d_1/2 (1 + 8 Fr_1^2)^{1/2} - 1$$

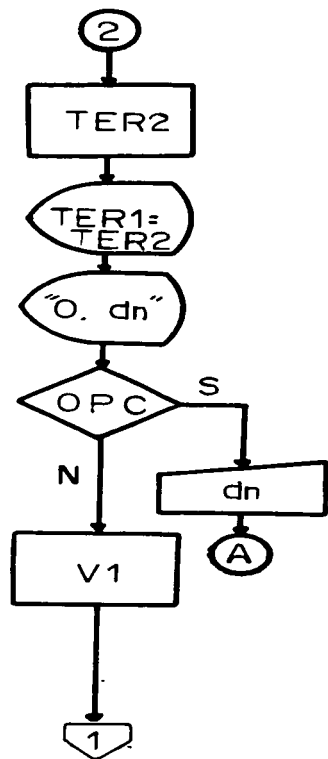
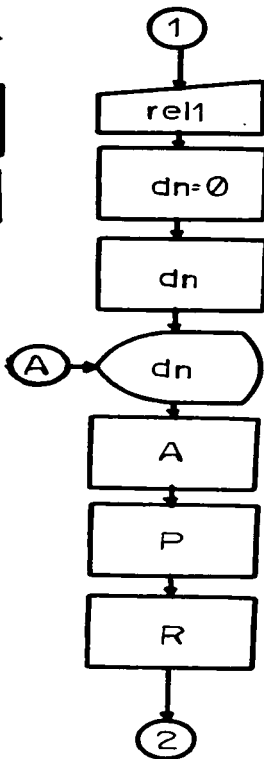
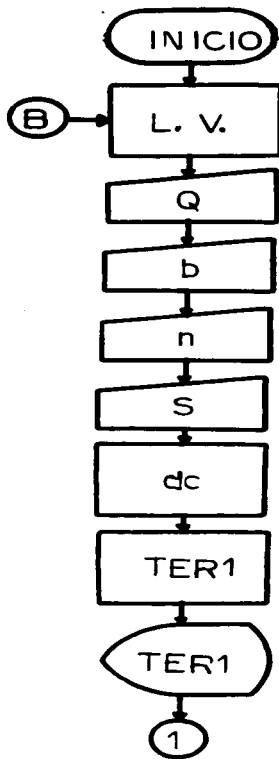
$$d_2 = 0.39/2 (1 + 8(6.55)^2)^{1/2} - 1 = 3.42 \text{ m}$$

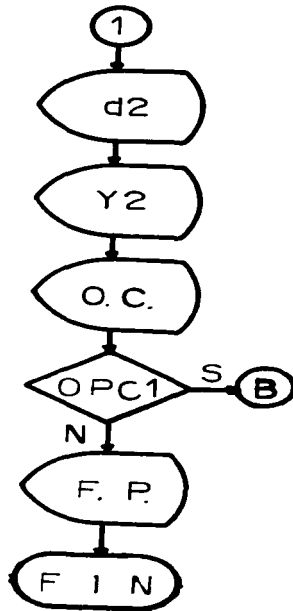
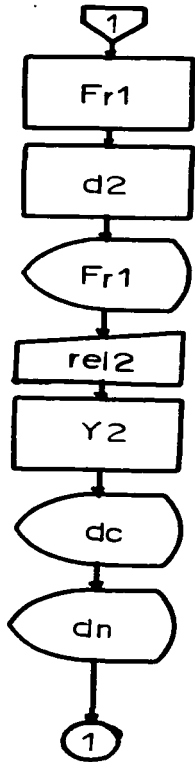
Del nomograma No. 7 conocemos el tirante subcrítico:

$$Y_2/Y_1 = 9.25$$

$$Y_2 = 9.25(0.39)$$

$$\underline{Y_2 = 3.60 \text{ m}}$$






```

5 Q = b - n - S - dc = Ter1 = dn = A = P = R = 0
10 INPUT "GASTO DEL CANAL"; Q
20 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
30 INPUT "C. DE RUGOSIDAD"; n
40 INPUT "PENDIENTE DEL CANAL"; S
50 dc = (Q ^ 2 / ((b ^ (2) * 9.81))) ^ (1 / 3)
60 Ter1 = (Q * n / ((b ^ (8 / 3)) * (S ^ (1 / 2))))
70 PRINT "EL VALOR PARA ENTRAR A LA GRAFICA DEL dn ES:"; Ter1
80 INPUT "RELACION Yn/b"; rell
90 dn = 0
100 dn = rell * b
101 GOTO 109
102 INPUT "TIRANTE NORMAL AJUSTADO"; dn
109 PRINT "EL TIRANTE NORMAL ES:"; dn
110 A = b * dn
120 P = b + (2 * dn)
130 R = A / P
140 Ter2 = (A * (R ^ (2 / 3))) / ((S ^ (1 / 2)) * (b ^ (8 / 3)))
150 PRINT "SE TIENE QUE IGUALAR LOS SIG. DOS VALORES"
160 PRINT "Qn/b^8/3S^1/2 PARA EL dn"; Ter1
170 PRINT "AR^2/3/S^1/2b^8/3 PARA EL dn"; Ter2
180 INPUT "OTRO TIRANTE 1-S, 2-N?"; OPC
181 IF OPC = 1 GOTO 102
200 V1 = Q / A
210 Fr1 = V1 / ((dn * 9.81) ^ (1 / 2))
220 d2 = (dn / 2) * ((1 + (8 * ((Fr1) ^ (2)))) ^ (1 / 2)) - 1)
230 PRINT "EL VALOR PARA ENTRAR A LA GRAFICA DEL Y2/Y1 ES:"; Fr1
240 INPUT "RELACION Y2/Y1"; rel2
250 Y2 = rel2 * dn
260 PRINT "EL TIRANTE CRITICO ES:"; dc
270 PRINT "EL TIRANTE NORMAL ES:"; dn
280 PRINT "EL TIRANTE CONJUGADO MAYOR ES:"; d2
290 PRINT "EL TIRANTE SUBCRITICO ES:"; Y2
300 INPUT "OTRO CALCULO 1-S, 2-N ?"; OPC1
310 IF OPC1 = 1 GOTO 5
320 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
330 END

```

$$\text{TIR. CRIT.} = ((A2^2)/(B2^2*(9.81)))^{(1/3)}$$

$$Qn/b^8/3S^{1/2} = ((A2*C2)/((B2^{(8/3)})*(D2^{(1/2)})))$$

$$\text{TIR. NORM.} = G2*B2$$

$$\text{VELOCIDAD} = A2/(B2*H2)$$

$$Fr1 = (F2/((H2*9.81)^{(1/2)}))$$

$$\text{T.C.M.} = (H2/2)*((1+(8*(J2^2)))^{(1/2)}-1)$$

$$Y2 = L2*H2$$

GRUPO	BASE	C. DIAM.	PENDIENTE	TR. CONV.	Q _v /D ⁵ /M ^{1/2}	V/D	TR. MIN.	VELOCIDAD	F _v	T.C.M.	TR/TI	TR
15	3	0,015	0,2	1,398	0,027	0,13	0,39	12,82	6,55	3,43	9,25	3,61
15	3,1	0,015	0,2	1,336	0,025	0,129	0,40	12,10	6,11	3,26	9,26	3,70
15	3,2	0,015	0,2	1,306	0,023	0,126	0,41	11,44	5,71	3,11	9,27	3,80
15	3,3	0,015	0,2	1,282	0,021	0,127	0,42	10,85	5,35	2,97	9,28	3,89
15	3,4	0,015	0,2	1,257	0,019	0,126	0,43	10,30	5,02	2,84	9,29	3,98
15	3,5	0,015	0,2	1,233	0,018	0,125	0,44	9,80	4,73	2,72	9,30	4,07
15	3,6	0,015	0,2	1,210	0,017	0,124	0,45	9,33	4,46	2,60	9,31	4,16
15	3,7	0,015	0,2	1,188	0,015	0,123	0,46	8,91	4,22	2,50	9,32	4,24
15	3,8	0,015	0,2	1,167	0,014	0,122	0,46	8,51	3,99	2,40	9,33	4,33
15	3,9	0,015	0,2	1,147	0,013	0,121	0,47	8,15	3,79	2,30	9,34	4,41
15	4	0,015	0,2	1,128	0,012	0,12	0,48	7,81	3,60	2,22	9,35	4,49
15	4,1	0,015	0,2	1,109	0,012	0,119	0,49	7,50	3,43	2,13	9,36	4,57
15	4,2	0,015	0,2	1,091	0,011	0,118	0,50	7,21	3,27	2,06	9,37	4,64
15	4,3	0,015	0,2	1,074	0,010	0,117	0,50	6,93	3,12	1,98	9,38	4,72
15	4,4	0,015	0,2	1,058	0,010	0,116	0,51	6,68	2,98	1,91	9,39	4,79
15	4,5	0,015	0,2	1,042	0,009	0,115	0,52	6,44	2,86	1,85	9,40	4,86
15	4,6	0,015	0,2	1,027	0,009	0,114	0,52	6,22	2,74	1,79	9,41	4,93
15	4,7	0,015	0,2	1,013	0,008	0,113	0,53	6,01	2,63	1,73	9,42	5,00
15	4,8	0,015	0,2	0,998	0,008	0,112	0,54	5,81	2,53	1,67	9,43	5,07
15	4,9	0,015	0,2	0,985	0,007	0,111	0,54	5,63	2,44	1,62	9,44	5,13
15	5	0,015	0,2	0,972	0,007	0,11	0,55	5,45	2,35	1,57	9,45	5,20
15	5,1	0,015	0,2	0,959	0,007	0,109	0,56	5,29	2,27	1,52	9,46	5,26
15	5,2	0,015	0,2	0,947	0,006	0,108	0,56	5,14	2,19	1,48	9,47	5,32
15	5,3	0,015	0,2	0,935	0,006	0,107	0,57	4,99	2,12	1,44	9,48	5,38
15	5,4	0,015	0,2	0,923	0,006	0,106	0,57	4,85	2,05	1,40	9,49	5,43
15	5,5	0,015	0,2	0,912	0,005	0,105	0,58	4,72	1,98	1,36	9,50	5,49
15	5,6	0,015	0,2	0,901	0,005	0,104	0,58	4,60	1,92	1,32	9,51	5,54
15	5,7	0,015	0,2	0,890	0,005	0,103	0,58	4,48	1,87	1,28	9,52	5,59
15	5,8	0,015	0,2	0,880	0,005	0,102	0,59	4,37	1,81	1,25	9,53	5,64

PROBLEMA IV.III .- Un canal trapezoidal de concreto conduce un gasto de $6 \text{ m}^3/\text{s}$, $n = 0.015$, $b = 4\text{m}$, $m = 1.5$: 1 , $S=0.08$. En una determinada sección se localiza la intersección con el río cuya rugosidad es de 0.030 , $S = 0.0002$, manteniéndose la misma sección del canal, determinar si sucede el salto Hidráulico y calcular sus características.

Solución.

Cálculo del tirante crítico:

De la formula del nomograma 5:

$$Qk^{3/2} / b^{5/2} 9.81^{1/2} = 6*(1.5^{3/2}) / 4^{5/2} 9.81^{1/2} = 0.11$$

Entrando al nomograma con el anterior valor:

$$kdc/b = 0.21 \implies dc = 0.21*4/1.5$$

$$\underline{\underline{dc = 0.56 \text{ m}}}$$

Determinando el tirante normal :

$$Qn / b^{8/3} S^{1/2} = 6*0.015 / 4^{8/3} 0.08^{1/2} = 0.007$$

Del nomograma No. 4:

$$Y/b = 0.05 \implies \begin{aligned} dn &= 0.05(4) \\ &= 0.20 \text{ m} = d1 \end{aligned}$$

$$\underline{\underline{dn = 0.20 \text{ m.}}}$$

dc > dn Régimen Supercrítico.

Utilizando el nomograma No. 9:

$$F1m = Q / 9.81^{1/2} k Y_1^{5/2} = 6 / 9.81^{1/2} * 1.5 * 0.20^{5/2} \\ = 71.4$$

F1m = 71.4

$$t1 = b / KY1 = 4 / 1.5 * 0.20 = 13.33$$

Por lo tanto es un salto permanente.

Los anteriores valores se proyectan en el nomograma No. 9, obteniéndose una correspondencia de tirantes y conociéndose el valor del tirante supercrítico:

$$Y2/Y1 = 6.2$$

$$Y2 = 6.2(0.20) = 1.24 \text{ m}$$

Y2 = 1.24 m.

Cálculando el tirante normal en el río:

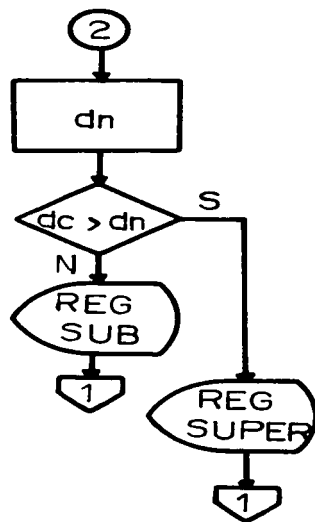
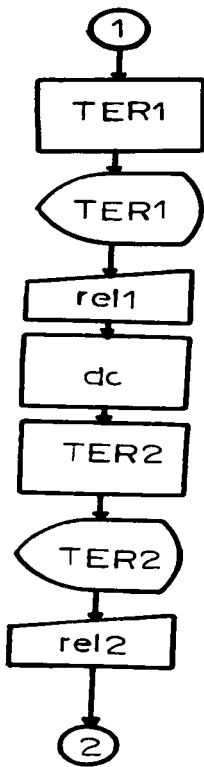
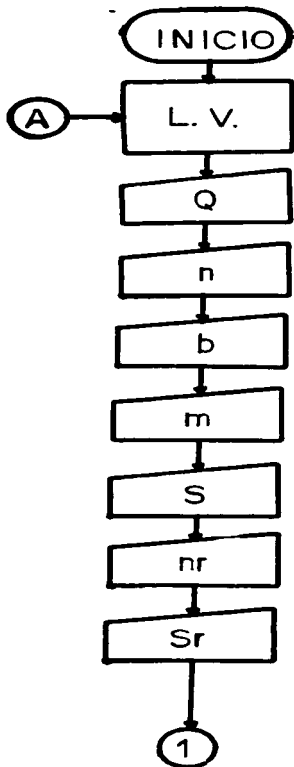
$$Qn / b^{8/3} S^{1/2} = 6 * 0.030 / 4^{8/3} 0.0002^{1/2} = 0.316$$

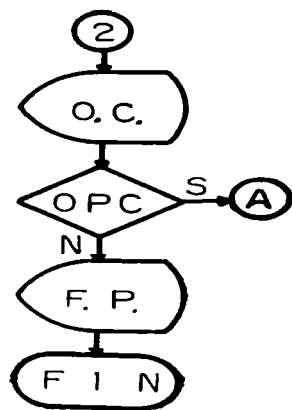
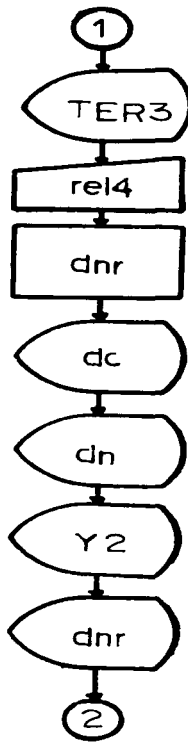
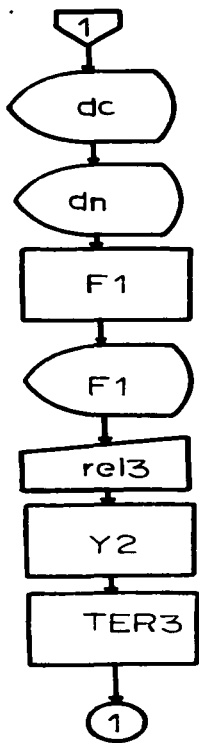
Del nomograma No. 4.

$$Y/b = 0.43$$

$$dn_{\text{rio}} = 0.43(4) = 1.72 \text{ m}$$

dn_{rio} = 1.72 m





```

5 Q = n = b = S = m = nr = Sr = 0
10 INPUT "GASTO DEL CANAL"; Q
20 INPUT "C. RUGOSIDAD"; n
30 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
40 INPUT "TALUD DEL CANAL"; m
50 INPUT "PENDIENTE DEL CANAL"; S
60 INPUT "C. RUGOSIDAD DEL RIO"; nr
70 INPUT "PENDIENTE DEL RIO"; Sr
80 Ter1 = (Q * (m ^ (3 / 2))) / ((b ^ (5 / 2)) * (9.81 ^ (1 / 2)))
90 PRINT "EL VALOR PARA ENTRAR A LA GRAFICA DEL dc ES:"; Ter1
100 INPUT "VALOR DE LA GRAFICA"; rel1
110 dc = (rel1 * b) / m
120 Ter2 = (Q * n) / (b ^ (8 / 3) * S ^ (1 / 2))
130 PRINT "EL VALOR PARA ENTRAR A LA GRAFICA DEL dn ES:"; Ter2
140 INPUT "VALOR DE LA GRAFICA"; rel2
150 dn = rel2 * b
160 IF dc > dn GOTO 190
170 PRINT "REGIMEN SUBCRITICO"
180 GOTO 200
190 PRINT "REGIMEN SUPERCITICO"
200 PRINT "EL TIRANTE CRITICO ES:"; dc
210 PRINT "EL TIRANTE NORMAL ES:"; dn
220 F1 = Q / (((9.81 ^ (1 / 2)) * m * (dn ^ (5 / 2))))
230 PRINT "EL VALOR DE F1 ES:"; F1
235 t1 = b / (m * dn)
237 PRINT "EL VALOR DE t1 ES:"; t1
240 INPUT "RELACION Y2/Y1"; rel3
250 Y2 = rel3 * dn
260 Ter3 = (Q * nr) / ((b ^ (8 / 3)) * (Sr ^ (1 / 2)))
265 PRINT "EL VALOR PARA ENTRAR A LA GRAFICA DEL dnr ES:"; Ter3
270 INPUT "VALOR DE LA GRAFICA"; rel4
280 dnr = rel4 * b
290 PRINT "EL TIRANTE CRITICO ES:"; dc
300 PRINT "EL TIRANTE NORMAL ES:"; dn
310 PRINT "EL TIRANTE SUPERCITICO ES:"; Y2
320 PRINT "EL TIRANTE NORMAL DEL RIO ES:"; dnr
330 INPUT "OTRO CALCULO 1=S, 2=N ?"; OPC
340 IF OPC = 1 GOTO 5
350 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
360 END

```


$$Qk^{3/2}/b^{5/2}g^{1/2} = ((A2*(D2^{(3/2)}))/((C2^{(5/2)}*(9.81^{(1/2))}))$$

$$TIR. CRIT. = (I2*C2)/D2$$

$$Qn/b^{8/3}S^{1/2} = (A2*B2/((C2^{(8/3)}*(E2^{(1/2))}))$$

$$TIR. NORMAL = L2*C2$$

$$F1 = (A2/((9.81^{(1/2)})*D2*(M2^{(5/2))}))$$

$$t1 = O2/(D2*M2)$$

$$TIR. SUBC. = P2*M2$$

$$Qn/b^{8/3}S^{1/2} = ((A2*F2)/(C2^{8/3}*G2^{(1/2)}))$$

$$TIR. NORRIO = S2*C2$$

GASTO	C. BUDGET.	BASE	TALLO	PENDIENTE	C. BUD. 000	PEND. 000	Q ² -1/2/P ² /2g ² /2	h ₀ /h	TIL. CONT.	Q ² -1/2/P ² /2	1/h
6	0,015	4	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,110	0,21	0,56	0,0079	0,05
6	0,015	4,1	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,103	0,31	0,85	0,0074	0,06
6	0,015	4,2	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,097	0,41	1,15	0,0069	0,07
6	0,015	4,3	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,092	0,51	1,46	0,0065	0,08
6	0,015	4,4	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,087	0,61	1,79	0,0061	0,09
6	0,015	4,5	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,082	0,71	2,13	0,0058	0,1
6	0,015	4,6	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,078	0,81	2,48	0,0054	0,11
6	0,015	4,7	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,073	0,91	2,85	0,0051	0,12
6	0,015	4,8	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,070	1,01	3,23	0,0049	0,13
6	0,015	4,9	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,068	1,11	3,63	0,0048	0,14
6	0,015	5	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,063	1,21	4,03	0,0044	0,15
6	0,015	5,1	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,060	1,31	4,45	0,0041	0,16
6	0,015	5,2	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,057	1,41	4,89	0,0039	0,17
6	0,015	5,3	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,054	1,51	5,34	0,0037	0,18
6	0,015	5,4	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,052	1,61	5,80	0,0035	0,19
6	0,015	5,5	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,050	1,71	6,27	0,0034	0,2
6	0,015	5,6	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,047	1,81	6,76	0,0032	0,21
6	0,015	5,7	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,045	1,91	7,26	0,0031	0,22
6	0,015	5,8	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,043	2,01	7,77	0,0029	0,23
6	0,015	5,9	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,042	2,11	8,30	0,0028	0,24
6	0,015	6	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,040	2,21	8,84	0,0027	0,25
6	0,015	6,1	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,038	2,31	9,39	0,0026	0,26
6	0,015	6,2	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,037	2,41	9,96	0,0025	0,27
6	0,015	6,3	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,035	2,51	10,54	0,0024	0,28
6	0,015	6,4	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,034	2,61	11,14	0,0023	0,29
6	0,015	6,5	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,033	2,71	11,74	0,0022	0,3
6	0,015	6,6	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,031	2,81	12,36	0,0021	0,31
6	0,015	6,7	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,030	2,91	13,00	0,0020	0,32
6	0,015	6,8	1,5	0,08	0,03	0,0002	0,029	3,01	13,65	0,0019	0,33

FIL. NUMBER	F1	F1	F2/F1	FIL. NO. 2	Q1/Q2/DP1/2	Q1/Q2	FIL. NUMBER
0,20	71,39	13,33	6,20	1,24	0,318	0,43	1,72
0,25	42,55	11,11	6,10	1,50	0,298	0,53	2,17
0,29	27,25	9,52	6,00	1,76	0,277	0,63	2,65
0,34	18,40	8,33	5,90	2,03	0,260	0,73	3,14
0,40	12,94	7,41	5,80	2,30	0,245	0,83	3,65
0,45	9,40	6,67	5,70	2,57	0,231	0,93	4,19
0,51	7,01	6,08	5,60	2,83	0,217	1,03	4,74
0,58	5,35	5,58	5,50	3,10	0,205	1,13	5,31
0,62	4,15	5,13	5,40	3,37	0,194	1,23	5,90
0,69	3,28	4,78	5,30	3,64	0,184	1,33	6,52
0,75	2,62	4,44	5,20	3,90	0,174	1,43	7,15
0,82	2,12	4,17	5,10	4,18	0,165	1,53	7,80
0,88	1,74	3,92	5,00	4,42	0,157	1,63	8,48
0,95	1,44	3,70	4,90	4,67	0,149	1,73	9,17
1,03	1,20	3,51	4,80	4,92	0,142	1,83	9,88
1,10	1,01	3,33	4,70	5,17	0,135	1,93	10,62
1,18	0,85	3,17	4,60	5,41	0,129	2,03	11,37
1,25	0,73	3,03	4,50	5,64	0,123	2,13	12,14
1,33	0,62	2,90	4,40	5,87	0,117	2,23	12,93
1,42	0,54	2,78	4,30	6,09	0,112	2,33	13,75
1,50	0,46	2,67	4,20	6,30	0,107	2,43	14,58
1,59	0,40	2,56	4,10	6,50	0,102	2,53	15,43
1,67	0,35	2,47	4,00	6,70	0,098	2,63	16,31
1,76	0,31	2,38	3,90	6,88	0,094	2,73	17,20
1,86	0,27	2,30	3,80	7,05	0,090	2,83	18,11
1,95	0,24	2,22	3,70	7,22	0,086	2,93	19,05
2,05	0,21	2,15	3,60	7,37	0,083	3,03	20,00
2,14	0,19	2,08	3,50	7,50	0,080	3,13	20,97
2,24	0,17	2,02	3,40	7,63	0,077	3,23	21,96

PROBLEMA IV.IV.- Se tiene un canal rectangular con una $V = 3 \text{ m/s}$, $b = 3 \text{ m}$, $d = 1.20 \text{ m}$, $n = 0.017$, $S = 0.003$, determinar el tipo de salto que desarrollara.

Solución.

Cálculo del tirante normal:

$$A = bd = 3(1.2) = 3.6 \text{ m}^2$$

Por continuidad:

$$Q = VA = 3(3.6) = 10.8 \text{ m}^3/\text{s}$$

De la fórmula 12:

$$Qn / b^{8/3} S^{1/2} = 10.8(0.017) / 3^{8/3} 0.003^{1/2} = 0.179$$

Entrando al nomograma No.4.

$$Y/b = 0.55 \implies dn = 0.55(3)$$

$$\underline{dn = 1.65 \text{ m}}$$

Cálculo del tirante crítico.

$$dc = (Q^2/B^2g)^{1/2} = (10.8 / 3^2 9.81)^{1/2}$$

$$\underline{dc = 1.149}$$

dn > dc Régimen Subcrítico.

Recálculo con el tirante normal:

$$A_1 = 1.65(3) = 4.95 \text{ m}^2$$

$$V_1 = Q / A_1 = 10.8 / 4.95 = 2.18 \text{ m/s}$$

$$Fr_1 = V_1 / (g d_1)^{1/2} = 2.18 / (9.81 \cdot 1.65)^{1/2} = 0.542$$

El tirante conjugado mayor es:

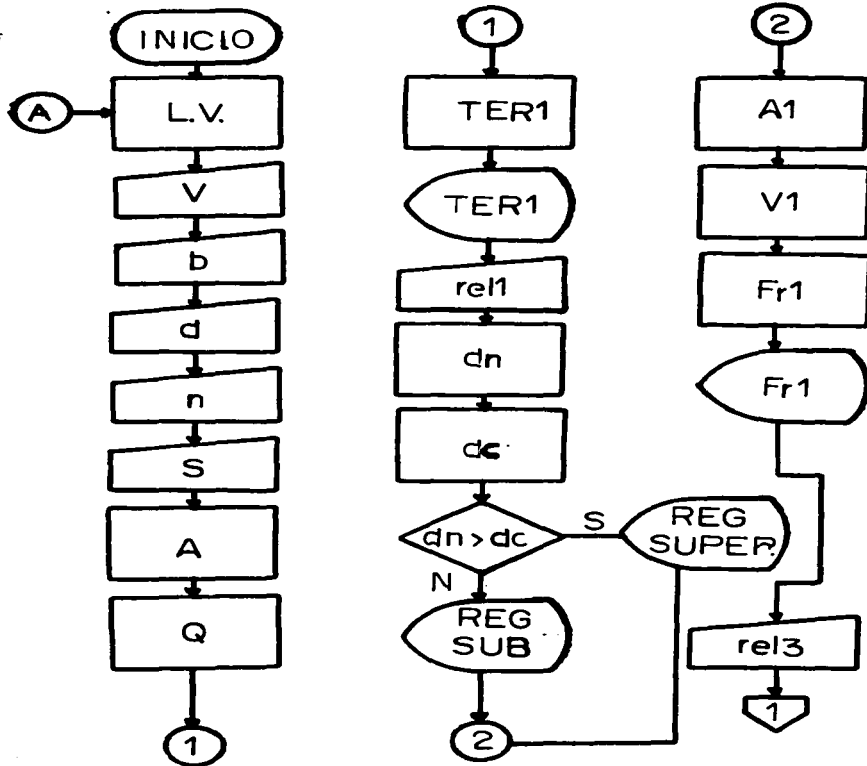
$$d_2 = d_1/2 (1 + 8 Fr_1^2)^{1/2} - 1 = 1.65/2 (1 + 8(0.542)^2)^{1/2} - 1 \\ = 0.685$$

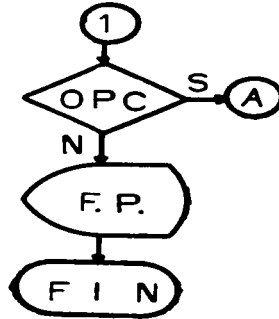
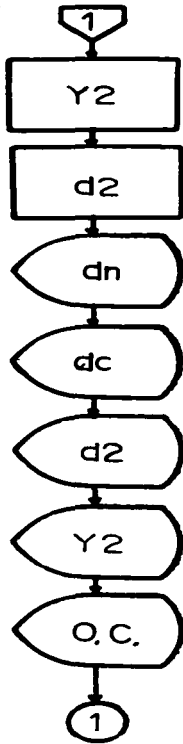
Entrando al nomograma No.7 para determinar el tirante subcrítico:

$$Y_2/Y_1 = 1$$

$$Y_2 = 1 \cdot 1.65$$

$$\underline{\underline{Y_2 = 1.65 \text{ m}}}$$





```

5 V = b = d = n = S = A = Q = 0
10 INPUT "VELOCIDAD DEL CANAL"; v
20 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
30 INPUT "TIRANTE DEL CANAL"; d
40 INPUT "C. RUGOSIDAD DEL CANAL"; n
50 INPUT "PENDIENTE DEL CANAL"; s
60 A = b * d
70 Q = v * A
80 Ter1 = ((Q * n) / (((b ^ (8 / 3)) * ((S ^ (1 / 2))))))
90 PRINT "EL VALOR PARA ENTRAR A LA GRAFICA DEL dn"; Ter1
100 INPUT "VALOR DE LA GRAFICA"; rel1
110 dn = rel1 * b
120 dc = ((Q ^ 2) / ((b ^ 2) * 9.81)) ^ (1 / 2)
130 IF dn > dc GOTO 160
140 PRINT "REGIMEN SUBCRITICO"
150 GOTO 170
160 PRINT "REGIMEN SUPERCRITICO"
170 A1 = b * dn
180 V1 = (Q / A1)
190 Fr1 = (V1 / ((9.81 * dn) ^ (1 / 2)))
200 PRINT "EL VALOR DE Fr1 PARA LA GRAFICA DEL Y2 ES:"; Fr1
220 d2 = (dn / 2) * ((1 + (8 * (Fr1) ^ (2))) ^ (1 / 2)) - 1)
230 INPUT "VALOR DE LA GRAFICA"; rel3
235 Y2 = rel3 * dn
240 PRINT "EL TIRANTE NORMAL ES:"; dn
250 PRINT "EL TIRANTE CRITICO ES:"; dc
260 PRINT "EL TIRANTE CONJUGADO MAYOR ES:"; d2
270 PRINT "EL TIRANTE SUBCRITICO ES:"; Y2
280 INPUT "OTRO CALCULO 1-S, 2-N ?"; OPC
290 IF OPC = 1 GOTO 5
300 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
310 END

```


$$\text{AREA} = (B2 * C2)$$

$$\text{GASTO} = (A2 * F2)$$

$$Qn/b^{8/3}S^{1/2} = ((G2 * D2) / ((B2^{8/3}) * (E2^{1/2})))$$

$$\text{TIR. NORMAL} = I2 * B2$$

$$\text{TIR. CRIT.} = (G2^2 / ((B2^2) * 9.81))^{1/2}$$

$$A1 = B2 * J2$$

$$V1 = G2 * L2$$

$$Fr1 = (M2 / ((9.81 * J2)^{1/2}))$$

$$\text{TIR. SUBC.} = O2 * J2$$

$$\text{T.C.M.} = (J2/2) * (((1 + (8 * (N2^2)))^{1/2}) - 1)$$

VELOCIDAD	BASE	TIRANTE	C. BUJIAL	FEMINENTE	AREA	GASTO	Q ₁ (Q ₁)/20 ^{1/2}	V/D	TIR NORMAL	TIR. CONV.	A1	V1
3	3	1,2	0,017	0,003	3,0	10,0	0,170	0,55	1,85	1,15	4,95	2,18
3	3,1	1,2	0,017	0,003	3,72	11,16	0,170	0,56	1,74	1,15	5,38	2,07
3	3,2	1,2	0,017	0,003	3,84	11,52	0,161	0,57	1,82	1,15	5,84	1,97
3	3,3	1,2	0,017	0,003	3,96	11,88	0,153	0,58	1,91	1,15	6,32	1,88
3	3,4	1,2	0,017	0,003	4,08	12,24	0,145	0,59	2,01	1,15	6,82	1,79
3	3,5	1,2	0,017	0,003	4,2	12,6	0,138	0,6	2,10	1,15	7,35	1,71
3	3,6	1,2	0,017	0,003	4,32	12,96	0,132	0,61	2,20	1,15	7,91	1,64
3	3,7	1,2	0,017	0,003	4,44	13,32	0,126	0,62	2,29	1,15	8,49	1,57
3	3,8	1,2	0,017	0,003	4,56	13,68	0,121	0,63	2,39	1,15	9,10	1,50
3	3,9	1,2	0,017	0,003	4,68	14,04	0,116	0,64	2,50	1,15	9,73	1,44
3	4	1,2	0,017	0,003	4,8	14,4	0,111	0,65	2,60	1,15	10,40	1,38
3	4,1	1,2	0,017	0,003	4,92	14,76	0,106	0,66	2,71	1,15	11,09	1,33
3	4,2	1,2	0,017	0,003	5,04	15,12	0,102	0,67	2,81	1,15	11,82	1,28
3	4,3	1,2	0,017	0,003	5,16	15,48	0,098	0,68	2,92	1,15	12,57	1,23
3	4,4	1,2	0,017	0,003	5,28	15,84	0,095	0,69	3,04	1,15	13,36	1,19
3	4,5	1,2	0,017	0,003	5,4	16,2	0,091	0,7	3,15	1,15	14,18	1,14
3	4,6	1,2	0,017	0,003	5,52	16,56	0,088	0,71	3,27	1,15	15,02	1,10
3	4,7	1,2	0,017	0,003	5,64	16,92	0,085	0,72	3,38	1,15	15,90	1,06
3	4,8	1,2	0,017	0,003	5,76	17,28	0,082	0,73	3,50	1,15	16,82	1,03
3	4,9	1,2	0,017	0,003	5,88	17,64	0,079	0,74	3,63	1,15	17,77	0,99
3	5	1,2	0,017	0,003	6	18	0,076	0,75	3,75	1,15	18,75	0,96
3	5,1	1,2	0,017	0,003	6,12	18,36	0,074	0,76	3,88	1,15	19,77	0,93
3	5,2	1,2	0,017	0,003	6,24	18,72	0,072	0,77	4,00	1,15	20,82	0,90
3	5,3	1,2	0,017	0,003	6,36	19,08	0,069	0,78	4,13	1,15	21,91	0,87
3	5,4	1,2	0,017	0,003	6,48	19,44	0,067	0,79	4,27	1,15	23,04	0,84
3	5,5	1,2	0,017	0,003	6,6	19,8	0,065	0,8	4,40	1,15	24,20	0,82
3	5,6	1,2	0,017	0,003	6,72	20,16	0,063	0,81	4,54	1,15	25,40	0,79
3	5,7	1,2	0,017	0,003	6,84	20,52	0,061	0,82	4,67	1,15	26,64	0,77
3	5,8	1,2	0,017	0,003	6,96	20,88	0,060	0,83	4,81	1,15	27,92	0,75

Fr1	T.C.M.	Y2/Y1	RR. MUC.
0,54	0,69	1,00	1,65
0,50	0,64	1,10	1,91
0,47	0,60	1,20	2,19
0,43	0,56	1,30	2,49
0,40	0,52	1,40	2,81
0,38	0,49	1,50	3,15
0,35	0,45	1,60	3,51
0,33	0,42	1,70	3,90
0,31	0,40	1,80	4,31
0,29	0,37	1,90	4,74
0,27	0,35	2,00	5,20
0,26	0,32	2,10	5,68
0,24	0,30	2,20	6,19
0,23	0,28	2,30	6,73
0,22	0,26	2,40	7,29
0,21	0,25	2,50	7,88
0,19	0,23	2,60	8,49
0,18	0,22	2,70	9,14
0,18	0,20	2,80	9,81
0,17	0,19	2,90	10,52
0,16	0,18	3,00	11,25
0,15	0,17	3,10	12,02
0,14	0,16	3,20	12,81
0,14	0,15	3,30	13,64
0,13	0,14	3,40	14,50
0,12	0,13	3,50	15,40
0,12	0,12	3,60	16,33
0,11	0,12	3,70	17,29
0,11	0,11	3,80	18,29

PROBLEMA IV.V.- Se tiene el diseño de un canal de sección trapecial a la salida de un vertedor de excedencia cuya base es de 2 m. y pendiente de 0.5 cuya rugosidad es de 0.02. Definir si existe salto Hidráulico considerando que el gasto es de 3 m³/s, con un talud de 0.5

Solución.

De la formula No. 12:

$$Qn / b^{8/3} S^{1/2} = 3(0.02) / 2^{8/3} 0.5^{1/2} = 0.013$$

Entrando al nomograma No. 4 para determinar el tirante normal.

$$Y/b = 0.075 \quad \Longrightarrow \quad dn = 0.075 * 2$$

$$\underline{dn = 0.150 \text{ m}}$$

Determinando el tirante critico:

$$Qk^{3/2} / b^{5/2} g^{1/2} = 3(0.5)^{3/2} / 2^{5/2} * 9.81^{1/2} = 0.059$$

Entrando al nomograma No.5.

$$kdc/b = 0.054 \quad \Longrightarrow \quad dc = 0.054 * 2 / 0.5$$

$$\underline{dc = 0.216}$$

$$\underline{dn > dc} \quad \underline{\text{Régimen Supercrítico}}$$

Cálculando con el tirante normal.

$$A_1 = bdn + mdn^2 = 2(0.150) + 0.5(0.150)^2 = 0.311 \text{ m}^2$$

$$V_1 = Q/A_1 = 3 / 0.311 = 9.64 \text{ m/s}$$

$$Fr_1 = Q / g^{1/2} k Y_1^{5/2} = 3 / 9.81^{1/2} * 0.5 * 0.15^{5/2} = 219.83$$

$$\underline{Fr_1 = 219.83} \quad \text{Salto permanente}$$

El tirante conjugado mayor es:

$$d_2 = d_1/2 (1 + 8 Fr_1^2)^{1/2} - 1 = 0.15/2 (1 + 8(219.83)^2)^{1/2} - 1) \\ = 46.55 \text{ m.}$$

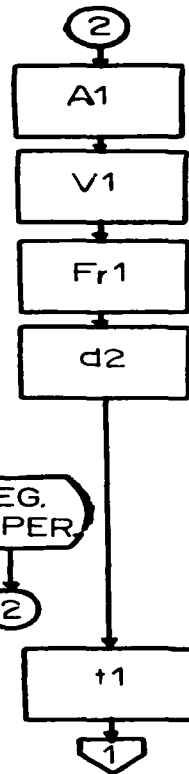
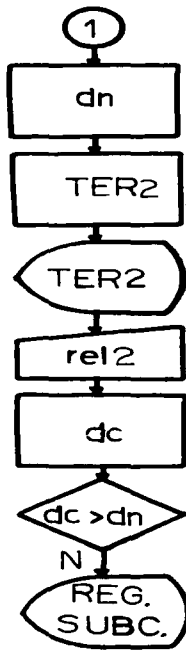
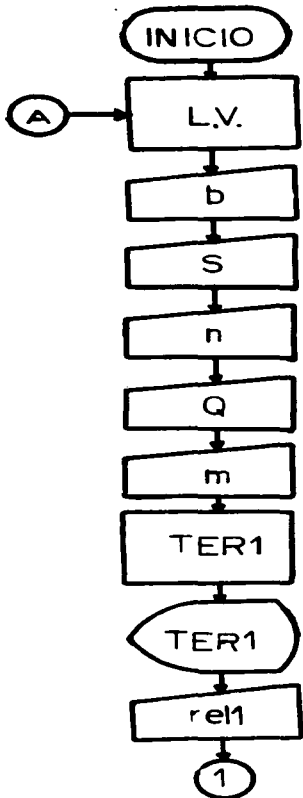
$$t1 = b / kY1 = 2 / 0.5*0.15 = 26.66$$

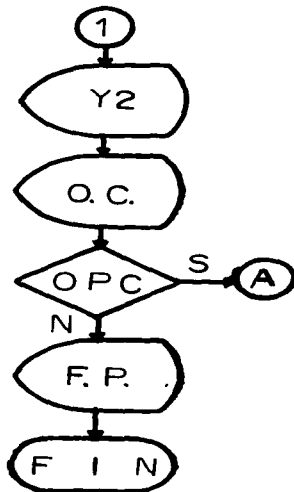
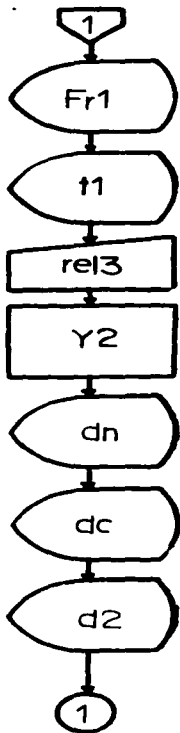
Entrando al nomograma No. 9, con el valor de Fr_1 , $t1$ encontramos la siguiente relación:

$$Y2/Y1 = 9.8 \implies Y2 = 9.8(0.15) = 1.47 \text{ m}$$

Siendo el tirante subcrítico:

$$\underline{Y2 = 1.47 \text{ m}}$$





```

5 b = S = n = Q = m = dn = A1 = 0
10 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
20 INPUT "PENDIENTE DEL CANAL"; S
30 INPUT "C. RUGOSIDAD"; n
40 INPUT "GASTO DEL CANAL"; Q
50 INPUT "TALUD DEL CANAL"; m
60 Ter1 = (Q * n) / ((b ^ (8 / 3)) * (S ^ (1 / 2)))
70 PRINT "VALOR PARA ENTRAR A LA GRAFICA DEL dn"; Ter1
80 INPUT "VALOR DE LA GRAFICA"; rel1
90 dn = rel1 * b
100 Ter2 = (Q * (m ^ (3 / 2))) / ((b ^ (5 / 2)) * (9.81 ^ (1 / 2)))
110 PRINT "EL VALOR PARA ENTRAR A LA GRAFICA DEL dc"; Ter2
120 INPUT "VALOR DE LA GRAFICA"; rel2
130 dc = rel2 * b / m
140 IF dc > dn GOTO 170
150 PRINT "REGIMEN SUBCRITICO"
160 GOTO 180
170 PRINT "REGIMEN SUPERCRITICO"
180 A1 = (b * dn) + (m * (dn ^ 2))
190 V1 = Q / A1
200 Fr1 = (Q / ((9.81 ^ (1 / 2)) * m * (dn ^ (5 / 2))))
210 d2 = ((dn / 2) * (((1 + (8 * (Fr1 ^ (2)))) ^ (1 / 2)) - 1))
220 t1 = (b / (m * dn))
230 PRINT "EL VALOR DE Fr1 ES:"; Fr1
240 PRINT "EL VALOR DE t1 ES:"; t1
250 INPUT "VALOR DE LA GRAFICA"; rel3
260 Y2 = rel3 * dn
270 PRINT "EL TIRANTE NORMAL ES:"; dn
280 PRINT "EL TIRANTE CRITICO ES:"; dc
290 PRINT "EL TIRANTE CONJUGADO MAYOR ES:"; d2
300 PRINT "EL TIRANTE SUBCRITICO ES:"; Y2
310 INPUT "OTRO CALCULO 1=S, 2=N ?"; OPC
320 IF OPC = 1 GOTO 5
330 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
340 END

```


$$Q_n/b^8/3S^{1/2} = (D2*C2/((A2^{(8/3)}*(B2^{(1/2))}))$$

$$\text{TIR. NORM.} = G2*A2$$

$$Qk^{3/2}/b^{5/2}g^{1/2} = \\ ((D2*(E2^{(3/2)}))/((A2^{(5/2)})*(9.81^{(1/2))}))$$

$$\text{TIR. CRIT.} = (J2*A2)/E2$$

$$A1 = (A2*H2)+(E2*(H2^2))$$

$$V1 = D2/L2$$

$$Fr1 = (D2)/((9.81^{(1/2)})*E2*(H2^{(5/2)}))$$

$$\text{T.C.M.} = (H2/2)*(((1+(8*(N2^2)))^{(1/2)}))-1$$

$$t1 = (A2/(E2*H2))$$

$$\text{TIR. SUBC.} = Q2*H2$$

BASE	PENDIENTE	C. MUDAN.	GASTO	TALLID	Q _u /V ³ /30 ³ 1/2	V/D	PR. MUDAN	Q _u ³ /2/V ³ /20 ³ 1/2	K _u /D	PR. CHV.	A1	V1
2	0,5	0,02	3	0,5	0,0134	0,075	0,15	0,060	0,054	0,216	0,31	9,64
2	0,51	0,02	3	0,5	0,0132	0,085	0,17	0,060	0,054	0,216	0,35	8,46
2	0,52	0,02	3	0,5	0,0131	0,095	0,19	0,060	0,054	0,216	0,40	7,54
2	0,53	0,02	3	0,5	0,0130	0,105	0,21	0,060	0,054	0,216	0,44	6,78
2	0,54	0,02	3	0,5	0,0129	0,115	0,23	0,060	0,054	0,216	0,49	6,17
2	0,55	0,02	3	0,5	0,0127	0,125	0,25	0,060	0,054	0,216	0,53	5,65
2	0,56	0,02	3	0,5	0,0126	0,135	0,27	0,060	0,054	0,216	0,58	5,20
2	0,57	0,02	3	0,5	0,0125	0,145	0,29	0,060	0,054	0,216	0,62	4,82
2	0,58	0,02	3	0,5	0,0124	0,155	0,31	0,060	0,054	0,216	0,67	4,49
2	0,59	0,02	3	0,5	0,0123	0,165	0,33	0,060	0,054	0,216	0,71	4,20
2	0,6	0,02	3	0,5	0,0122	0,175	0,35	0,060	0,054	0,216	0,76	3,94
2	0,61	0,02	3	0,5	0,0121	0,185	0,37	0,060	0,054	0,216	0,81	3,71
2	0,62	0,02	3	0,5	0,0120	0,195	0,39	0,060	0,054	0,216	0,86	3,50
2	0,63	0,02	3	0,5	0,0119	0,205	0,41	0,060	0,054	0,216	0,90	3,32
2	0,64	0,02	3	0,5	0,0118	0,215	0,43	0,060	0,054	0,216	0,95	3,15
2	0,65	0,02	3	0,5	0,0117	0,225	0,45	0,060	0,054	0,216	1,00	3,00
2	0,66	0,02	3	0,5	0,0116	0,235	0,47	0,060	0,054	0,216	1,05	2,86
2	0,67	0,02	3	0,5	0,0115	0,245	0,49	0,060	0,054	0,216	1,10	2,73
2	0,68	0,02	3	0,5	0,0115	0,255	0,51	0,060	0,054	0,216	1,15	2,61
2	0,69	0,02	3	0,5	0,0114	0,265	0,53	0,060	0,054	0,216	1,20	2,50
2	0,7	0,02	3	0,5	0,0113	0,275	0,55	0,060	0,054	0,216	1,25	2,40
2	0,71	0,02	3	0,5	0,0112	0,285	0,57	0,060	0,054	0,216	1,30	2,30
2	0,72	0,02	3	0,5	0,0111	0,295	0,59	0,060	0,054	0,216	1,35	2,22
2	0,73	0,02	3	0,5	0,0111	0,305	0,61	0,060	0,054	0,216	1,41	2,13
2	0,74	0,02	3	0,5	0,0110	0,315	0,63	0,060	0,054	0,216	1,46	2,06
2	0,75	0,02	3	0,5	0,0109	0,325	0,65	0,060	0,054	0,216	1,51	1,99
2	0,76	0,02	3	0,5	0,0108	0,335	0,67	0,060	0,054	0,216	1,56	1,92
2	0,77	0,02	3	0,5	0,0108	0,345	0,69	0,060	0,054	0,216	1,62	1,85
2	0,78	0,02	3	0,5	0,0107	0,355	0,71	0,060	0,054	0,216	1,67	1,79

1/1	10/1	11	12/11	IND. SUBC.
219,83	46,56	26,67	9,80	1,47
160,77	38,57	23,53	9,81	1,87
121,74	32,82	21,05	9,82	1,87
94,79	28,05	19,05	9,83	2,06
75,51	24,45	17,39	9,84	2,26
61,30	21,55	16,00	9,85	2,46
50,57	19,18	14,81	9,86	2,66
42,30	17,20	13,79	9,87	2,86
35,80	15,54	12,90	9,88	3,06
30,82	14,13	12,12	9,89	3,26
26,43	12,91	11,43	9,90	3,47
23,00	11,85	10,81	9,91	3,67
20,17	10,93	10,26	9,92	3,87
17,80	10,12	9,76	9,93	4,07
15,80	9,40	9,30	9,94	4,27
14,10	8,75	8,89	9,95	4,48
12,85	8,18	8,51	9,96	4,68
11,40	7,66	8,16	9,97	4,89
10,31	7,19	7,84	9,98	5,09
9,37	6,76	7,55	9,99	5,29
8,54	6,37	7,27	10,00	5,50
7,81	6,02	7,02	10,01	5,71
7,18	5,69	6,78	10,02	5,91
6,59	5,39	6,56	10,03	6,12
6,06	5,11	6,35	10,04	6,33
5,62	4,85	6,15	10,05	6,53
5,21	4,62	5,97	10,06	6,74
4,84	4,39	5,80	10,07	6,95
4,51	4,19	5,63	10,08	7,16

PROBLEMA IV.G.- Se tiene un canal de sección trapezoidal que conduce un gasto de $20 \text{ m}^3/\text{s}$ con $n = 0.017$, $m = 1$, $S=0.0004$, que se incorpora a un río con $n = 0.020$ y $S = 0.0002$, obtener todos los tirantes afinados y determinar de que tipo de salto se trata.

Solución.

De la formula para determinar el tirante normal:

$$Qn / b^{8/3} S^{1/2} = 20 \cdot 0.017 / 2^{8/3} 0.0004^{1/2} = 2.677 \dots\dots\dots 1$$

del nomograma No. 4.

$$dn/b = 1.42 \text{ =====>} dn = 1.42 \cdot 2 = 2.84 \text{ m}$$

$$dn = 2.84 \text{ m.}$$

haciendo iteraciones se procede a calcular la siguiente serie de expresiones para igualar la expresión 1, a la expresión 2, de la formula 12.

$$AR^{3/2} / b^{8/3} \dots\dots\dots 2$$

b	dn	A	P	R	$R^{2/3}$	$AR^{2/3}/b^{8/3}$
-----	------	-----	-----	-----	-----------	--------------------

Encontrándose un valor aproximado del dn, de:

dn = 2.84 m.

$$A = bdn + mdn^2 = 2(2.84) + 1(2.84)^2 = 13.74 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2dn(1+m^2)^{1/2} = 2 + 2(2.84)(1+1^2)^{1/2} = 10.03 \text{ m}$$

$$R = A/P = 13.74/10.03 = 1.369 \text{ m}$$

$$AR^{2/3}/b^{8/3} = 13.74(1.369)^{2/3} / 2^{8/3} = 2.667$$

$$\underline{AR^{2/3}/b^{8/3} = 2.667}$$

De la primera expresión de este ejemplo:

$$\underline{Qn / b^{8/3} S^{1/2} = 2.677}$$

Se cumple la igualdad para el tirante normal afinado.

Cálculando el tirante crítico:

De la formula No. 13.

$$QK^{3/2} / b^{5/2} g^{1/2} = 20*1^{3/2} / 2^{5/2} 9.81^{1/2} = 1.128$$

Del Nomograma No.5, encontramos una relación:

$$kdc/b = 0.8225$$

$$dc = 0.8225*2 / 1 = 1.645$$

$$\underline{dc = 1.645}$$

dc < dn Régimen subcrítico

Con el tirante critico se igualan las siguientes expresiones:

$$Q^2/g = Ac^3/Bc$$

$$Ac = bdc + mdc^2 = 2(1.645) + 1(1.645)^2 = 5.996 \text{ m}^2$$

$$Bc = b + 2mdc = 2 + 2(1)(1.645) = 5.29 \text{ m}$$

$$\underline{Q^2/g = 20^2/9.81 = 40.77}$$

$$\underline{Ac^3/Bc = 5.996^3 / 5.29 = 40.75}$$

Se cumple la igualdad para la afinación del tirante critico.

Recálculando con el tirante normal correcto:

$$V_1 = Q/A_1 = 20 / 13.74 = 1.45 \text{ m/s}$$

Utilizando las fórmulas No. 25 y 27.

$$F1m = Q / g^{1/2} k Y_1^{5/2} = 20 / 9.81^{1/2} * 1 * 2.84^{5/2} = 0.469$$

$$\underline{F1m = 0.469} \quad \underline{\text{Flujo Critico.}}$$

El tirante conjugado mayor:

$$d_2 = d_1/2 (1 + 8 Fr_1^2)^{1/2} - 1 = 2.84/2 (1+8(0.469)^2)^{1/2} - 1)$$

$$\underline{d_2 = 0.938 \text{ m}}$$

$$t = b / kY_1 = 2 / 1(2.84) = 0.704$$

Con el tirante critico se igualan las siguientes expresiones:

$$Q^2/g = Ac^3/Bc$$

$$Ac = bdc + mdc^2 = 2(1.645) + 1(1.645)^2 = 5.996 \text{ m}^2$$

$$Bc = b + 2mdc = 2 + 2(1)(1.645) = 5.29 \text{ m}$$

$$\underline{Q^2/g = 20^2/9.81 = 40.77}$$

$$\underline{Ac^3/Bc = 5.996^3 / 5.29 = 40.75}$$

Se cumple la igualdad para la afinación del tirante critico.

Recálculando con el tirante normal correcto:

$$V_1 = Q/A_1 = 20 / 13.74 = 1.45 \text{ m/s}$$

Utilizando las fórmulas No. 25 y 27.

$$F1m = Q / g^{1/2} k Y_1^{5/2} = 20 / 9.81^{1/2} * 1 * 2.84^{5/2} = 0.469$$

$$\underline{F1m = 0.469} \quad \underline{\text{Flujo Critico.}}$$

El tirante conjugado mayor:

$$d_2 = d_1/2 (1 + 8 Fr_1^2)^{1/2} - 1 = 2.84/2 (1+8(0.469)^2)^{1/2} - 1)$$

$$\underline{d_2 = 0.938 \text{ m}}$$

$$t = b / kY_1 = 2 / 1(2.84) = 0.704$$

Utilizando los valores de las ecuaciones 25 y 27, entrando al nomograma No. 9, encontramos la siguiente relación de tirantes:

$$Y2/Y1 = 1$$

$$\underline{Y2 = Y1}$$

Una vez afinados los tirantes se determina la longitud del salto, por la formula No. 32.

$$L = 5Y2 (1+4((Y2-Y1)/Y1)^{1/2})$$

$$L = 5(2.84)(1)$$

$$\underline{L = 14.2 \text{ m.}}$$

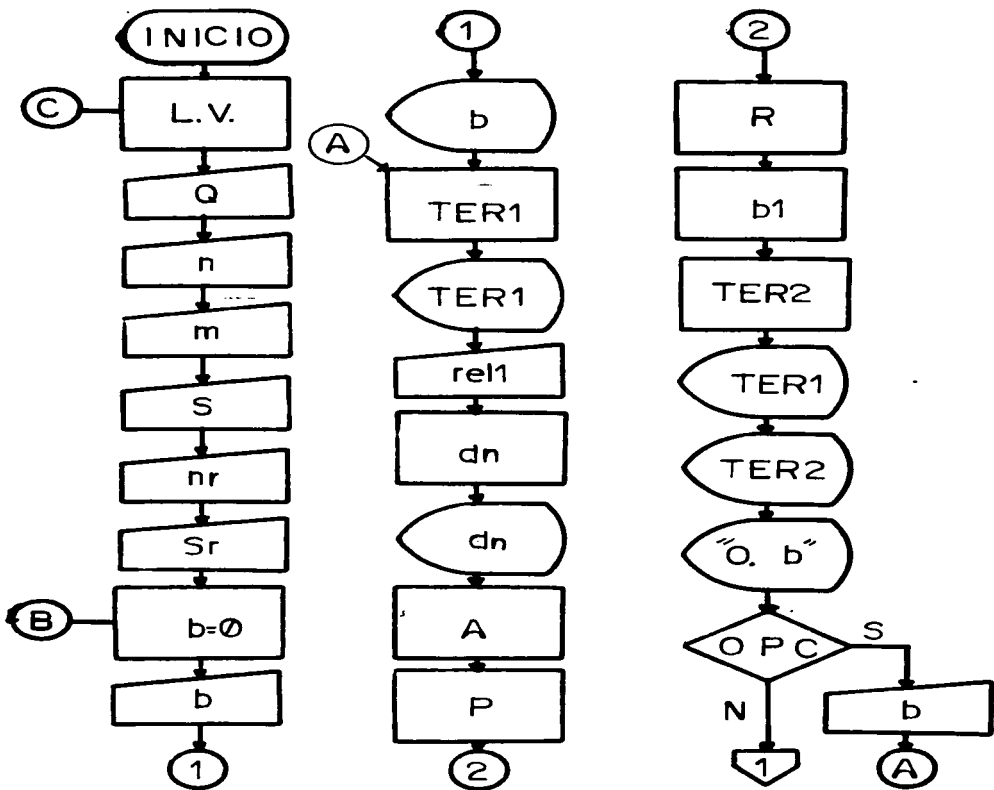
Y el tirante normal aproximado del rio (sin afinar) es:

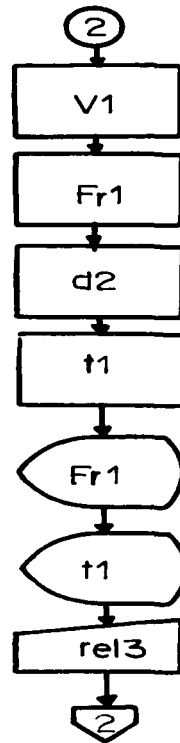
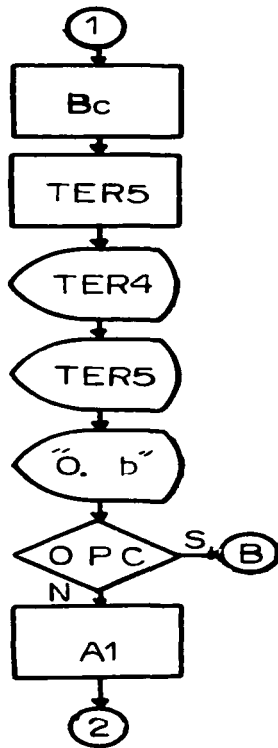
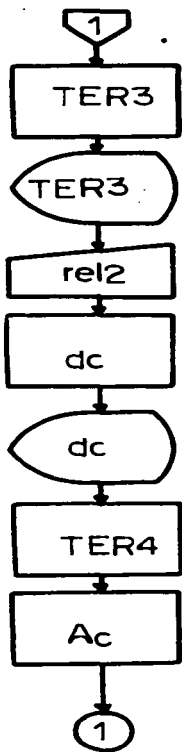
$$Qn_{\text{rio}}/b^{8/3}(S_{\text{rio}}^{1/2}) = 20(0.020)/2^{8/3} (0.0002)^{1/2} \\ = 4.45$$

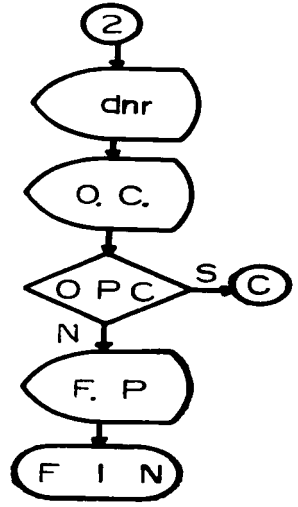
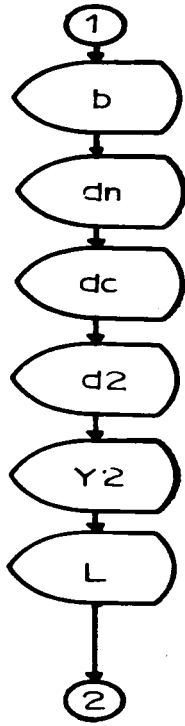
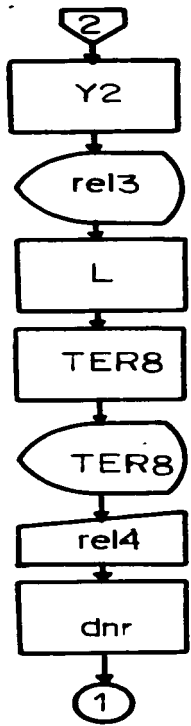
Del nomograma No. 4.

$$dn/b = 1.3 \implies dn_{\text{rio}} = 1.3(2)$$

$$\underline{dn_{\text{rio}} = 2.6 \text{ m.}}$$







```

5 Q = n = m = S = nr = Sr = b = Ter1 = dn = A = P = R = 0
10 INPUT "GASTO DEL CANAL"; Q
20 INPUT "C. RUGOSIDAD"; n
30 INPUT "TALUD DEL CANAL"; m
40 INPUT "PENDIENTE DEL CANAL"; S
50 INPUT "C. RUGOSIDAD DEL RIO"; nr
60 INPUT "PENDIENTE DEL RIO"; Sr
70 b = 0
80 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
90 PRINT "BASE DEL CANAL"; b
95 Ter1 = (Q * n) / ((b ^ (8 / 3)) * (S ^ (1 / 2)))
100 PRINT "EL VALOR PARA LA GRAFICA DEL dn ES:"; Ter1
110 INPUT "VALOR DE LA GRAFICA"; rel1
120 dn = rel1 * b
130 PRINT "EL TIRANTE NORMAL ES:"; dn
140 A = ((b * dn) + (m * (dn ^ (2))))
150 P = b + ((2 * dn) * ((1 + (m ^ 2)) ^ (1 / 2)))
160 R = (A / P) ^ (2 / 3)
170 b1 = (b ^ (8 / 3))
180 Ter2 = A * R / b1
210 PRINT "Qn/bS"; Ter1
220 PRINT "AR^2/3/b^8/3"; Ter2
230 INPUT "OTRA b 1=S, 2=N?"; OPC
240 IF OPC = 2 GOTO 310
250 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
300 GOTO 95
310 Ter3 = (Q * (m ^ (3 / 2))) / ((b ^ (5 / 2)) * (9.81 ^ (1 / 2)))
320 PRINT "QK^3/2/b^5/2g^1/2"; Ter3
330 INPUT "Kdc/b"; rel2
340 dc = (rel2 * b) / m
350 PRINT "EL TIRANTE CRITICO ES:"; dc
360 Ter4 = (Q ^ 2) / 9.81
370 Ac = (b * dc) + (m * (dc ^ 2))
380 Bc = b + (2 * m * dc)
390 Ter5 = (Ac ^ 3) / Bc
420 PRINT "Q^2/g"; Ter4
430 PRINT "AC^3/Bc"; Ter5
440 INPUT "OTRA b 1=S, 2=N?"; OPC
450 IF OPC = 1 GOTO 70
460 A1 = (b * dn) + (m * (dn ^ 2))
470 V1 = Q / A1
480 Fr1 = Q / ((9.81 ^ (1 / 2)) * m * (dn ^ (5 / 2)))
485 d2 = (dn / 2) * ((1 + (8 * (Fr1 ^ 2))) ^ (1 / 2)) - 1
490 t1 = b / (m * dn)
491 PRINT "EL VALOR Fr1 PARA LA GRAFICA ES:"; Fr1
492 PRINT "EL VALOR t1 PARA LA GRAFICA ES:"; t1
500 INPUT "VALOR DE LA GRAFICA"; rel3
510 Y2 = rel3 * dn
520 PRINT "Y2/Y1"; rel3
530 L = (5 * Y2) * (1 + (4 * (((Y2 - dn) / dn) ^ (1 / 2))))
540 Ter8 = (Q * nr) / ((b ^ (8 / 3)) * (Sr ^ (1 / 2)))
550 PRINT "Qnr/b^8/3Sr^1/2"; Ter8
560 INPUT "dnr/b"; rel4
570 dnr = rel4 * b
580 PRINT "LA BASE DEL CANAL ES:"; b
590 PRINT "EL TIRANTE NORMAL DEL CANAL ES:"; dn
60 PRINT "EL TIRANTE CRITICO DEL CANAL ES:"; dc
61 PRINT "EL TIRANTE SUPERCRITICO DEL CANAL ES:"; d2
62 PRINT "EL TIRANTE CONJUGADO MAYOR ES:"; Y2
63 PRINT "LA LONGITUD DEL SALTO ES:"; L

```

```
710 PRINT "EL TIRANTE NORMAL DEL RIO ES:"; dnr
720 INPUT "OTRO CALCULO 1=S, 2=N ?"; OPC
730 IF OPC = 1 GOTO 5
740 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
750 END
```

$$Qn/b^{8/3}S^{1/2} = ((A2*B2)/((G2^{8/3})*(D2^{1/2}))))$$

$$TIR. \text{ NORMAL} = I2*G2$$

$$AREA = ((G2*J2)+(C2*(J2^2)))$$

$$PERIMETRO = (G2+(2*J2*((1+(C2^2))^{1/2}))))$$

$$R^{2/3} = ((K2/L2)^{2/3})$$

$$b^{8/3} = (G2^{8/3})$$

$$AR^{2/3}/b^{8/3} = ((K2*M2)/N2)$$

$$Qk^{3/2}/b^{5/2}g^{1/2} = (A2*(C2^{3/2}))/((G2^{5/2})*(9.81^{1/2}))$$

$$TIR. \text{ CRIT.} = (Q2*G2)/C2$$

$$Q^{2/g} = (A2^2)/9.81$$

$$Ac^3 = ((G2*R2)+(C2*(R2^2)))^3$$

$$Bc = (G2+(2*C2*R2))$$

$$Ac^3/Bc = T2/J2$$

$$A1 = K2*1$$

$$V1 = A2/W2$$

$$Fr1 = (A2/((9.81^{1/2})*C2*(J2^{5/2}))))$$

$$\text{T.C.M.} = ((J2/2)*(((1+(8*(Y2^(2))))^(1/2))-1))$$

$$t1 = (G2/(C2*J2))$$

$$\text{TIR. SUBC.} = (AB2*J2)$$

$$\text{LON. SALTO} = (5*AC2*(1+4*(((AC2-J2)/J2)^(1/2))))$$

$$Qn/b^{8/3}S^{1/2} \text{ RIO} = ((A2*E2)/((G2^{8/3})*(F2^{1/2})))$$

$$dn \text{ RIO} = AF2*G2$$

CANTO	C. MURAL	TALLO	PERIMETRO	C. MUR. M2	PEN. M2	BASE	(Q ₁ /V ₁)/M ² /S	V/D	VOL. MURAL	AREA	PERMETRO
20	0,017	1	0,0004	0,02	0,0002	2	2,977	1,42	2,84	13,75	10,03
21	0,017	1	0,0004	0,02	0,0002	2	2,811	1,46	2,91	14,29	10,23
22	0,017	1	0,0004	0,02	0,0002	2	2,945	1,49	2,97	14,79	10,41
23	0,017	1	0,0004	0,02	0,0002	2	3,079	1,52	3,04	15,29	10,59
24	0,017	1	0,0004	0,02	0,0002	2	3,213	1,55	3,10	15,79	10,78
25	0,017	1	0,0004	0,02	0,0002	2	3,347	1,58	3,16	16,31	10,94
26	0,017	1	0,0004	0,02	0,0002	2	3,481	1,61	3,22	16,83	11,11
27	0,017	1	0,0004	0,02	0,0002	2	3,614	1,64	3,28	17,35	11,29
28	0,017	1	0,0004	0,02	0,0002	2	3,748	1,67	3,35	17,89	11,46
29	0,017	1	0,0004	0,02	0,0002	2	3,882	1,70	3,41	18,43	11,64
30	0,017	1	0,0004	0,02	0,0002	2	4,016	1,73	3,46	18,91	11,79
31	0,017	1	0,0004	0,02	0,0002	2	4,150	1,76	3,52	19,39	11,94
32	0,017	1	0,0004	0,02	0,0002	2	4,284	1,79	3,57	19,88	12,10
33	0,017	1	0,0004	0,02	0,0002	2	4,418	1,81	3,62	20,38	12,25
34	0,017	1	0,0004	0,02	0,0002	2	4,551	1,83	3,66	20,75	12,36
35	0,017	1	0,0004	0,02	0,0002	2	4,685	1,86	3,71	21,18	12,49
36	0,017	1	0,0004	0,02	0,0002	2	4,819	1,88	3,76	21,62	12,62

$h^2/3$	$b^2/3$	$h^2/2/h^2/3$	$h^2/2/h^2/2g^2/3$	$h^2/3$	PR. CMT.	g^2/g	$h^2/3$	BC	$h^2/3/BC$	A1
1,23	0,35	2,070	1,129	0,82	1,65	40,77	215,57	5,29	40,75	13,75
1,25	0,35	2,812	1,185	0,84	1,69	44,95	241,78	5,38	44,96	14,29
1,26	0,35	2,944	1,242	0,87	1,73	49,34	269,85	5,48	49,30	14,79
1,28	0,35	3,078	1,298	0,89	1,77	53,92	298,91	5,54	53,91	15,29
1,29	0,35	3,212	1,355	0,91	1,81	58,72	330,69	5,63	58,77	15,79
1,30	0,35	3,351	1,411	0,93	1,85	63,71	363,06	5,70	63,65	16,31
1,32	0,35	3,494	1,467	0,95	1,89	68,91	398,34	5,78	68,89	16,83
1,33	0,35	3,640	1,524	0,96	1,93	74,31	435,96	5,86	74,41	17,35
1,35	0,35	3,790	1,580	0,98	1,97	79,92	474,03	5,93	79,91	17,89
1,36	0,35	3,943	1,637	1,00	2,00	85,73	514,31	6,00	85,66	18,43
1,37	0,35	4,089	1,693	1,02	2,04	91,74	557,33	6,08	91,73	18,91
1,38	0,35	4,219	1,750	1,04	2,07	97,96	601,92	6,15	97,94	19,39
1,39	0,35	4,362	1,806	1,05	2,11	104,38	648,83	6,22	104,39	19,88
1,40	0,35	4,507	1,863	1,07	2,14	111,01	698,37	6,28	111,14	20,38
1,41	0,35	4,616	1,919	1,09	2,17	117,84	747,83	6,35	117,79	20,75
1,42	0,35	4,744	1,975	1,10	2,21	124,87	800,43	6,41	124,79	21,18
1,43	0,35	4,874	2,032	1,12	2,24	132,11	856,02	6,48	132,12	21,62

Y1	F+1	T.C.M.	F1	Y2/Y1	PRE. SUBC.	LENL. SALPO	Q1/P1/3/3P1/2 BND	V/O BND	Q2 BND
1,46	0,47	0,94	0,70	1,00	2,84	14,20	4,454	1,3	2,8
1,47	0,48	0,95	0,89	1,01	2,94	20,57	4,877	1,31	2,82
1,49	0,48	0,95	0,87	1,02	3,03	23,75	4,900	1,32	2,84
1,50	0,48	0,96	0,86	1,03	3,13	26,47	5,123	1,33	2,86
1,52	0,45	0,97	0,85	1,04	3,22	29,00	5,345	1,34	2,88
1,53	0,45	0,98	0,83	1,05	3,32	31,43	5,568	1,35	2,7
1,55	0,45	0,98	0,82	1,06	3,42	33,81	5,791	1,36	2,72
1,56	0,44	0,98	0,81	1,07	3,51	36,18	6,014	1,37	2,74
1,57	0,44	0,99	0,80	1,08	3,61	38,51	6,238	1,38	2,76
1,57	0,43	0,99	0,59	1,09	3,71	40,86	6,459	1,39	2,78
1,59	0,43	0,99	0,58	1,10	3,81	43,13	6,682	1,4	2,8
1,60	0,43	1,00	0,57	1,11	3,90	45,40	6,904	1,41	2,82
1,61	0,42	1,00	0,56	1,12	4,00	47,69	7,127	1,42	2,84
1,62	0,42	1,01	0,55	1,13	4,10	50,01	7,350	1,43	2,86
1,64	0,42	1,02	0,55	1,14	4,18	52,14	7,573	1,44	2,88
1,65	0,42	1,03	0,54	1,15	4,27	54,38	7,795	1,45	2,9
1,67	0,42	1,04	0,53	1,16	4,36	56,64	8,018	1,46	2,92

CAPITULO V.

CAPITULO V.- FLUJO GRADUALMENTE VARIADO (CARACTERISITICAS Y CLASIFICACION).

ASPECTOS FUNDAMENTALES.

Este capítulo trata sobre la teoría y análisis del flujo gradualmente variado. Cuando el tirante varía con su distancia longitudinal en el flujo en un canal abierto, se dice que el flujo es gradualmente variado. Estas situaciones ocurren aguas arriba o aguas abajo de la sección de control.

En general todas las técnicas de solución que se desarrollan para un flujo gradualmente variado dependen de las siguientes suposiciones:

- 1.- La pérdida de carga es igual a la pérdida de carga en el tramo para un flujo uniforme con el mismo radio Hidráulico y velocidad media.
- 2.- La pendiente del canal es pequeña, por ende, el tirante es el mismo si se mide en forma vertical o perpendicular, con respecto al fondo.
- 3.- El coeficiente de rugosidad es independiente del tirante y constante en todo el tramo bajo consideración.

CARACTERISITCAS Y CLASIFICACION.

Al examinar el computo de los perfiles de flujo gradualmente variado se necesita primero desarrollar un método sistematizado para clasificar los perfiles que pueden presentarse en un canal dado.

Por definición $S_f = S_o$ cuando $Y = Y_n$, por ende la siguiente desigualdad se cumple.

$$S_f \geq S_o, \text{ correspondiente a } Y < o > Y_n$$

Esta desigualdad dividen al canal en tres secciones de la dimensión vertical; por convención estas áreas se dividen comenzando desde arriba.

Zona Uno	$Y > Y_n > Y_c$; $S_o > S_f$	$dy/dx > 0$
Zona Dos	$Y_n > Y > Y_c$; $S_o < S_f$	$dy/dx < 0$
Zona Tres	$Y_n > Y_c > Y$; $S_o < S_f$	$dy/dx > 0$

Una vez que se conoce el signo dy/dx puede predecirse el comportamiento del agua.

En la figura V.I. se ilustra lo anteriormente declarado:

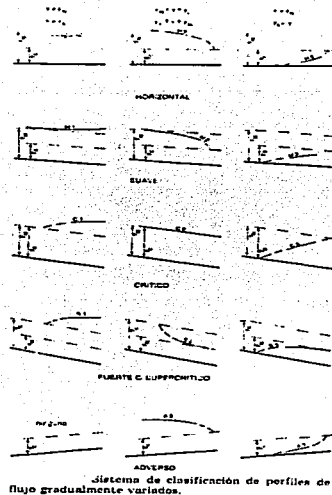


FIGURA V.I.

- 1.- El signo dy/dx puede determinarse a partir del sentido de la pendiente.
- 2.- Cuando el perfil de la superficie del agua se acerca al tirante normal, lo hace en forma asintótica.
- 3.- Cuando el perfil de la superficie del agua se acerca al tirante crítico, lo atraviesa un ángulo grande pero finito.
- 4.- Si el flujo es subcrítico aguas arriba, pero atraviesa el tirante crítico, entonces el rasgo que produce el tirante crítico determina y ubica todo el perfil de la superficie del agua.

5.- Todos los perfiles de flujo gradualmente variado ejemplifican el principio de que los flujos subcríticos están controlados desde aguas abajo y los supercríticos desde aguas arriba. Los perfiles de flujo gradualmente variados no existirían si no hubiese controles de agua arriba y abajo.

En la figura V.II, se ilustra el tipo de curva y el tipo de flujo, en función de la pendiente del flujo.

Tipos de perfiles de flujo						
Pendiente del canal	Designación de perfil			Relación relativa de y a y_N , y_c , y_r	Tipo de curva	Tipo de flujo
	Zona 1	Zona 2	Zona 3			
Suave $0 < S_0 < S_c$	M1	M2	M3	$y > y_N > y_c$	Remanso	Subcrítico
				$y_N > y > y_c$	Caida	Subcrítico
				$y_N > y_c > y$	Remanso	Supercrítico
Crítica $S_0 = S_c > 0$	C1	C2	C3	$y > y_c = y_N$	Remanso	Subcrítico
				$y_c = y = y_N$	Paralela al fondo del canal	Uniforme-crítico
				$y_c = y_N > y$	Remanso	Supercrítico
Fuerte $S_0 > S_c > 0$	S1	S2	S3	$y > y_c > y_N$	Remanso	Subcrítico
				$y_c > y > y_N$	Caida	Supercrítico
				$y_c > y_N > y$	Remanso	Supercrítico
Horizontal $S_0 = 0$	Ninguna	H2	H3	$y_N > y > y_c$	Caida	Subcrítico
				$y_N > y_c > y$	Remanso	Supercrítico
Adversa $S_0 < 0$	Ninguna	A2	A3	$y_c^k > y > y_c$	Caida	Subcrítico
				$y_c^k > y_c > y$	Remanso	Supercrítico

*Supuesto positivo.

FIGURA V.II.

CALCULO DEL FLUJO GRADUALMENTE VARIADO.

En este subtema se trataran tres métodos para determinar el perfil de flujo , uno llamado método directo, otro llamado por integración (el primero se divide en dos partes), dado que la mayoría de los problemas son similares, no tiene objeto cansar al lector con ejemplos repetitivos, es por esto, que en esta sección se explicara un ejemplo por cada método, siendo así tres ejemplos de uso general.

PROBLEMA V.I. - Un canal trapecial con ancho $b=20$ ft, $n=0.025$, $m=2$, $S_o=0.001$, tiene un gasto de $1000\text{ft}^3/\text{s}$. Si el canal termina en una caída, determinese el perfil del flujo gradualmente variado con el método del paso directo.

Solución.

Determinando el tirante normal, tal que cumpla con la siguiente condición:

$$nQ/\phi S^{1/2} = AR^{2/3}$$

De la formula que determina el valor del dn, se tiene:

$$Qn/b^{8/3} S^{1/2} = 1000*0.025 / 20^{8/3} * 0.001^{1/2} = 0.268$$

Entrando al nomograma No. 4, para tirante normal:

$$dn/b = 0.312 \implies dn = 0.312*b = 0.312 * 20$$

$$\mathbf{dn = 6.25 \text{ ft.}}$$

Verificando la condición anterior:

$$nQ/\phi S^{1/2} = 0.025(1000)/1.49(0.001)^{1/2} = 530.58$$

Donde ϕ , es el factor de corrección de gasto para el sistema de unidades utilizado ($\phi = 1.49$ para unidades inglesas y $\phi = 1$ para unidades del SI)

$$A = bd + md^2 = 20(6.25) + 2(6.25)^2 = 203.12 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2d(1+m^2)^{1/2} = 20 + 2(6.25)(1+2^2)^{1/2} = 47.95 \text{ m}$$

$$R = A/P = 203.12/47.95 = 4.236 \text{ m}$$

$$AR^{2/3} = 203.12(4.236)^{2/3} = 531.01$$

Vemos que se cumple la igualdad antes descrita.

Establecemos un limite frontera al 90%.

$$dn_1 = 0.9 \cdot dn = 0.9 \cdot 6.25 = 5.62 \text{ ft}$$

$$\underline{dn_1 = 5.62 \text{ ft.}}$$

Determinando el tirante critico:

$$QK^{3/2} / b^{5/2} * g^{1/2} = 1000 * 2^{3/2} / 20^{5/2} * 32.2^{1/2} \\ = 0.278$$

Entrando al nomograma No. 5, para tirante critico:

$$kdc/b = 0.374$$

$$dc = 0.374 * b / k = 0.374 * 20 / 2$$

$$\underline{dc = 3.74 \text{ ft.}}$$

La extensión de los tirantes es de 3.74 al valor frontera 5.62 ft. .

Se proponen tirantes a cada determinado valor, en este caso a cada 0.25 ft.

$$d_1 = 3.74 \text{ ft}$$

Calculando sus elementos geométricos:

$$A_1 = bd_1 + md_1^2 = 20 \cdot 3.74 + 2 \cdot (3.74)^2 = 102.78 \text{ ft}^2$$

$$P_1 = b + 2d_1(1+m^2)^{1/2} = 20 + 2(3.74)(1+2^2)^{1/2} = 36.73 \text{ ft}$$

$$R_1 = A_1/P_1 = 102.78 / 36.73 = 2.80 \text{ ft.}$$

Por continuidad:

$$U_1 = Q/A_1 = 1000 / 102.78 = 9.73 \text{ ft/s}$$

De la formula No. 22 de energía:

$$E_1 = (d_1 + U_1^2/2g) = 3.74 + (9.73^2 / 2 \cdot 32.2) = 5.21$$

De la ecuación No. 34.

$$n^2 U_1^2 / \phi^2 R_1^{4/3} = 0.025^2 \cdot 9.73^2 / 1.49^2 \cdot 2.79^{4/3} \\ = 0.0068$$

Tomando otro valor del tirante (a cada 0.25 ft. siguiendo el mismo procedimiento de calculo):

$$d_2 = 4.00 \text{ ft}$$

$$A_2 = bd_2 + md_2^2 = 20 \cdot 4 + 2 \cdot 4^2 = 112 \text{ ft}^2$$

$$P_2 = b + 2d_2(1+m^2)^{1/2} = 20 + 2*4*(1+2^2)^{1/2} = 37.8 \text{ ft}$$

$$R_2 = A_2/P_2 = 112 / 37.8 = 2.96 \text{ ft.}$$

$$U_2 = Q/A_2 = 1000 / 112 = 8.93 \text{ ft/s}$$

$$E_2 = d_2 + U_2^2/2g = 4 + 8.93^2/2*32.2 = 5.2378 = 5.24$$

$$n^2U_2^2 / \phi^2 R_2^{4/3} = 0.0053$$

Obteniendo el valor medio de la ecuación anterior con su homologa del calculo precedente:

$$(n^2U^2 / \phi^2 R^{4/3})_m = 0.0060$$

de la formula No. 34.

$$S_o - 0.00601 = 0.001 - 0.006 = -0.005$$

Tomando diferencias de energía:

$$AE = E_2 - E_1 = 5.2378 - 5.21 = 0.0278$$

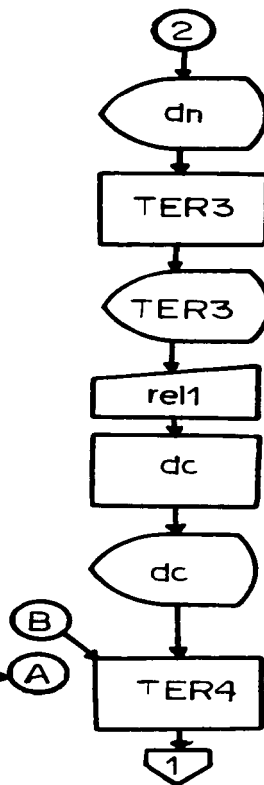
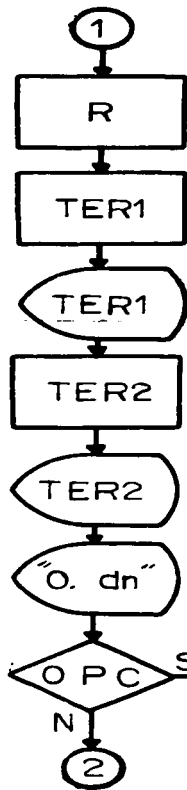
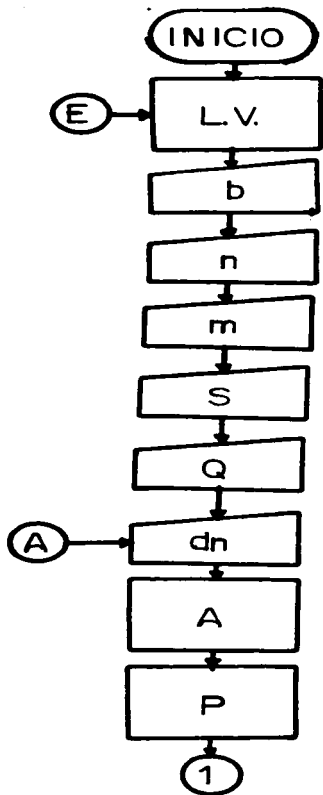
Finalizando con la ecuación 34, despejando AX

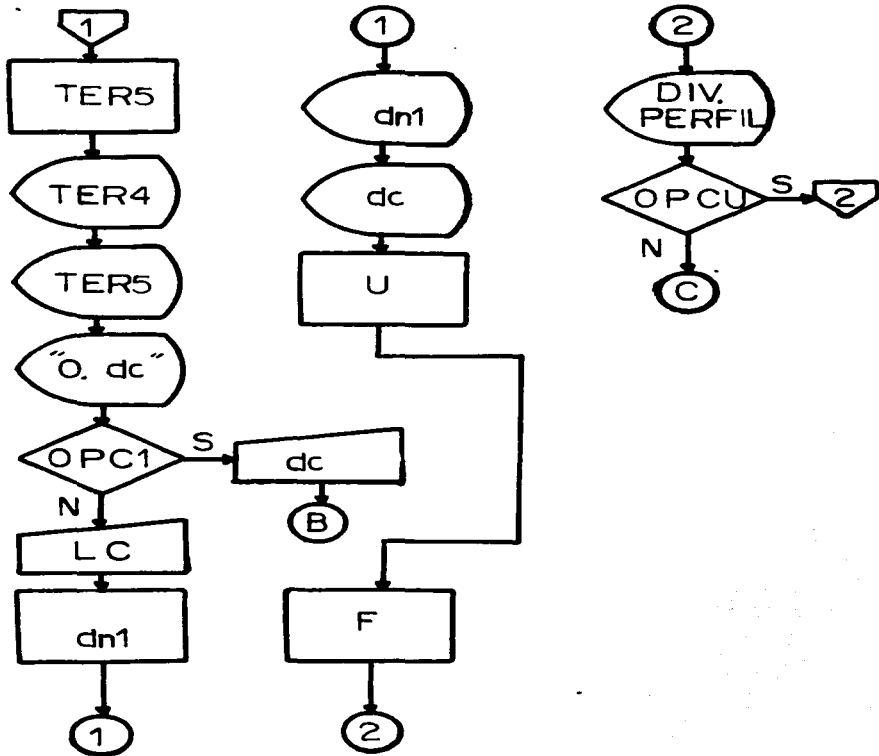
$$AX = AE / S - 0.00601 = 0.0278 / -0.005 = -5.56$$

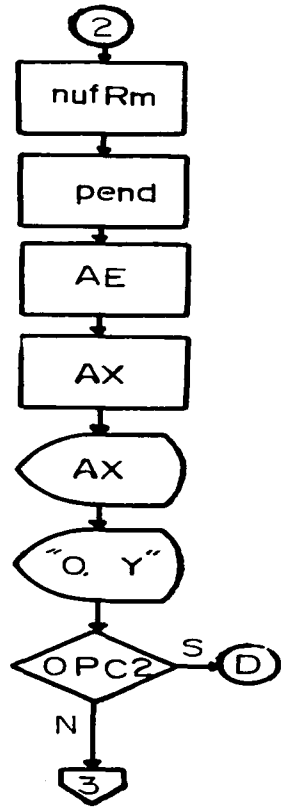
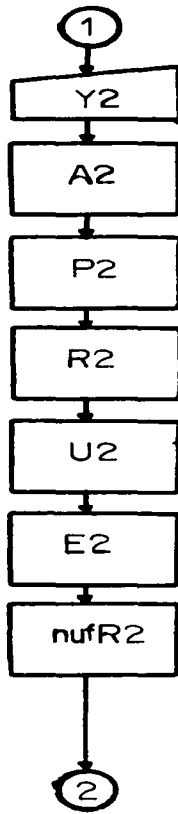
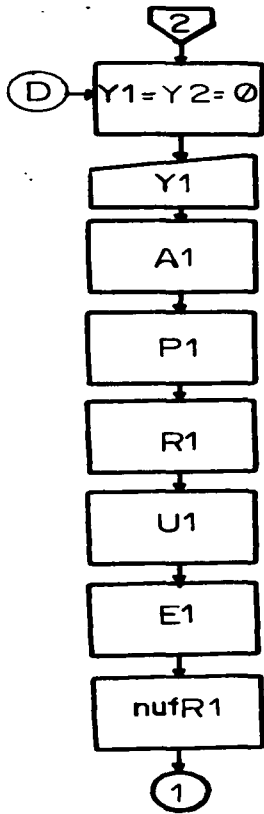
$$\underline{\underline{\Sigma AX = -5.56}}$$

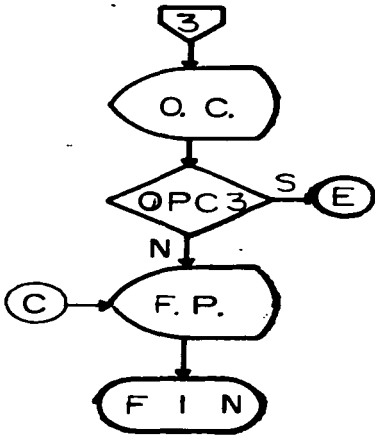
Y así sucesivamente se resuelve el problema por parejas de tirantes, tomando para el siguiente cálculo como primer tirante el segundo de esta secuela de cálculo, acumulándose el perfil en ΣAX .

Nota : Se advierte al lector que si se redondearan los valores se alteraría en cantidad considerable el perfil del flujo, como puede verse si tomamos el valor de E_2 con 5.24, el valor del perfil se eleva hasta -8.00, es por ello que para ser conservador tomamos el valor original 5.2378.









```

5 A = P = R = So = b = dn = dc = dn1 = 0
10 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
20 INPUT "C. RUGOSIDAD"; n
30 INPUT "TALUD DEL CANAL"; m
40 INPUT "PENDIENTE DEL CANAL"; S
50 INPUT "GASTO DEL CANAL"; Q
60 INPUT "TIRANTE NORMAL"; dn
70 A = (b * dn) + (m * (dn ^ (2)))
80 P = b + (2 * dn * (1 + (m ^ (2)) ^ (1 / 2)))
90 R = A / P
100 Ter1 = A * (R ^ (2 / 3))
110 Ter2 = (n * Q) / (1.49 * (S ^ (1 / 2)))
120 PRINT "nQ/eiS^1/2"; Ter2
130 INPUT "OTRO dn 1=S, 2=N ?"; OPC
140 IF OPC = 2 GOTO 155
150 GOTO 50
155 PRINT "EL TIRANTE NORMAL ES:"; dn
160 Ter3 = (Q * (m ^ (3 / 2))) / ((b ^ (5 / 2)) * (32.2 ^ (1 / 2)))
170 PRINT "Qm^3/2/b^5/2g^1/2"; Ter3
180 INPUT "VALOR EN LA GRAFICA"; rell
190 dc = (rell * b) / m
200 PRINT "EL TIRANTE CRITICO ES:"; dc
210 Ter4 = ((b ^ (2)) / 32.2)
220 Ter5 = (((b * dc) + (m * (dc ^ (2)))) ^ (3)) / (b + (2 * m * dc))
230 PRINT "Q^2/g"; Ter4
240 PRINT "Ac^3/Bc"; Ter5
250 INPUT "OTRO dc 1=S, 2=N ?"; OPC1
260 IF OPC1 = 2 GOTO 290
270 INPUT "TIRANTE CRITICO?"; dc
280 GOTO 210
290 INPUT "LIMITE DE CONVERGENCIA"; LC
300 dn1 = (LC / 100) * dn
310 PRINT "EL TIRANTE FRONTERA ES:"; dn1
320 PRINT "EL TIRANTE CRITICO ES:"; dc
330 U = Q / (((b * dn1) + (m * (dn1 ^ (2))))
340 F = U / ((32.2 * dn1) ^ (1 / 2))
341 INPUT "CONTINUAR CON LA DIV. AL PERFIL 1=S, 2=N ?"; OPCU
342 IF OPCU = 1 GOTO 350
344 GOTO 560
350 Y1 = 0
352 Y2 = 0
353 INPUT "PRIMER TIRANTE"; Y1
360 A1 = (b * Y1) + (m * (Y1 ^ (2)))
370 P1 = b + (2 * Y1 * ((1 + (m ^ (2))) ^ (1 / 2)))
380 R1 = A1 / P1
385 U1 = Q / A1
390 E1 = Y1 + ((U1 ^ (2)) / (2 * 32.2))
400 nufR1 = ((n ^ 2) * (U1 ^ 2)) / (((1.49 ^ 2) * (R1 ^ (4 / 3)))
410 INPUT "SEGUNDO TIRANTE"; Y2
420 A2 = (b * Y2) + (m * (Y2 ^ (2)))
430 P2 = b + (2 * Y2 * ((1 + (m ^ (2))) ^ (1 / 2)))
440 R2 = A2 / P2
445 U2 = Q / A2
450 E2 = Y2 + ((U2 ^ (2)) / (2 * 32.2))
460 nufR2 = ((n ^ 2) * (U2 ^ 2)) / (((1.49 ^ 2) * (R2 ^ (4 / 3)))
470 nufRm = ((nufR1 - nufR2) / 2) + nufR2
480 pend = S - nufRm
490 AE = E2 - E1
500 AX = AE / pend

```

```
510 PRINT "AX"; AX
520 INPUT "OTRA Y 1=S, 2=N ?"; OPC2
530 IF OPC2 = 1 GOTO 350
540 INPUT "OTRO CALCULO 1=S, 2=N ?"; OPC3
550 IF OPC3 = 1 GOTO 5
560 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
570 END
```

$$\text{AREA} = (A2 * F2) + (C2 * (F2^2))$$

$$\text{PERIM.} = A2 + ((2 * F2) * ((1 + ((C2^2))^(1/2))))$$

$$\text{AR}^{2/3} = G2 * ((G2/H2)^{(2/3)})$$

$$nQ/\phi S^{1/2} = (B2 * E2) / (1.49 * (D2^{1/2}))$$

$$Qk^{3/2}/b^{5/2}g^{1/2} = (E2 * (C2^{(3/2)})) / ((A2^{(5/2)}) * ((32.2)^{(1/2)}))$$

$$\text{TIR. CRIT.} = L2 * A2 / C2$$

$$Q^2/g = (E2^{(2)}) / 32.2$$

$$Ac^3/Bc = (((M2 * A2) + (C2 * (M2^2))))^{(3)} / (A2 + (2 * C2 * M2))$$

$$dn1 = (P2/100) * F2$$

$$U = ((E2 / ((A2 * Q2) + (C2 * (Q2^2))))$$

$$F = R2 / ((32.2 * Q2)^{(1/2)})$$

$$\text{AREA} = (A2 * T2) + (C2 * (T2^2))$$

$$\text{PERIMETRO} = A2 + (2 * T2 * ((1 + (C2^2))^{(1/2)}))$$

$$\text{RADIO} = U2 / V2$$

$$E = T2 + (((E2 / ((A2 * T2) + (C2 * (T2^2))))^{(2)}) / (2 * 32.2))$$

$$n^{2u^2/\phi^2R^{4/3}} = \frac{((B^2)^2) * (E2 / ((A2 * T2) + (C2 * (T2^2))))^{(2)}}{((1.49^2) * (W2^{4/3}))}$$

$$(n^{2u^2/\phi^2R^{4/3}})m = ((Y2 - Y3)/2) + Y3$$

$$-pend = D2 - Z2$$

$$AE = X3 - X2$$

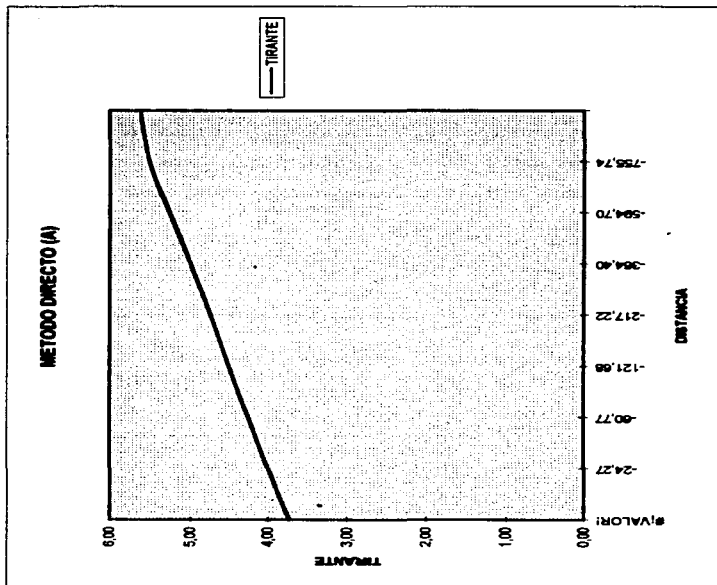
$$AX = AB2 / AA2$$

$$XT = AC2 + AC3$$

BASE	C. BLOQUE	TALLID	PENSIÓN	CANTO	PIL. MARR	AREA	PERIM.	AP ² /3	W ³ /12	QU ² /2, P ³ /3, W ³ /12
20	0,025	2	0,001	1000	6	202,79	47,92	530,58	530,584	0,279
20	0,025	2	0,001	1000	6	202,79	47,92	530,58	530,584	0,279
20	0,025	2	0,001	1000	6	202,79	47,92	530,58	530,584	0,279
20	0,025	2	0,001	1000	6	202,79	47,92	530,58	530,584	0,279
20	0,025	2	0,001	1000	6	202,79	47,92	530,58	530,584	0,279
20	0,025	2	0,001	1000	6	202,79	47,92	530,58	530,584	0,279
20	0,025	2	0,001	1000	6	202,79	47,92	530,58	530,584	0,279
20	0,025	2	0,001	1000	6	202,79	47,92	530,58	530,584	0,279
20	0,025	2	0,001	1000	6	202,79	47,92	530,58	530,584	0,279

GRAF. de	TBL. CNT.	Q ² /g	A ² */B ²	% LC	d _{st}	U	F	TENDITE	AREA	
	0,37	3,74	31055,90	31052,29	90	5,62	72,03	5,36	3,74	102,78
	0,37	3,74	31055,90	31052,29	90	5,62	72,03	5,36	4,00	112,00
	0,37	3,74	31055,90	31052,29	90	5,62	72,03	5,36	4,25	121,13
	0,37	3,74	31055,90	31052,29	90	5,62	72,03	5,36	4,50	130,50
	0,37	3,74	31055,90	31052,29	90	5,62	72,03	5,36	4,75	140,13
	0,37	3,74	31055,90	31052,29	90	5,62	72,03	5,36	5,00	150,00
	0,37	3,74	31055,90	31052,29	90	5,62	72,03	5,36	5,25	160,13
	0,37	3,74	31055,90	31052,29	90	5,62	72,03	5,36	5,50	170,50
	0,37	3,74	31055,90	31052,29	90	5,62	72,03	5,36	5,62	175,57

PERIMETRO	BASO	E	$e^2 \sin^2(\varphi) \sin^4(\delta)$	(m/4)sin	quad	AE	AX	XT	WDAVE
36,73	2,80	5,21	0,0088	0,0060	-0,0050	0,0278	-5,54	0,00000000	3,74
37,89	2,98	5,24	0,0053	0,0048	-0,0038	0,0705	-18,74	-24,27	4,00
39,01	3,11	5,31	0,0042	0,0038	-0,0028	0,1034	-36,50	-80,77	4,25
40,12	3,25	5,41	0,0034	0,0031	-0,0021	0,1290	-60,90	-121,88	4,50
41,24	3,40	5,54	0,0028	0,0026	-0,0016	0,1493	-95,54	-217,22	4,75
42,36	3,54	5,69	0,0023	0,0021	-0,0011	0,1655	-147,18	-364,40	5,00
43,48	3,68	5,86	0,0019	0,0018	-0,0008	0,1785	-230,30	-594,70	5,25
44,60	3,82	6,03	0,0016	0,0016	-0,0006	0,0898	-181,04	-755,74	5,50
45,13	3,89	6,12	0,0015						5,62



PROBLEMA V.II. - Un canal trapecial que transporta un gasto de $1000 \text{ ft}^3/\text{s}$, con ancho $b=20 \text{ ft}$, $n=0.025$, $S = 0.001$, $m=2$, . Si el canal termina en una caída, determinése el perfil del flujo gradualmente variado con el método del paso directo (formula 33).

Solución.

Se resuelven los tirantes de igual forma que en el problema anterior:

$$d_n = 6.25 \text{ ft.}$$

$$d_{n_1} = 5.62 \text{ ft}$$

$$d_c = 3.74 \text{ ft.}$$

Solución.

Se propone el primer tirante:

$$d_1 = 3.74 \text{ ft.}$$

Se calculan sus elementos Geométricos:

$$A_1 = 102.77 \text{ ft}^2$$

$$P_1 = 36.72 \text{ ft}$$

$$T_1 = b + 2md_1 = 20 + 2*2*3.74 = 35 \text{ ft}$$

$$R_1 = 2.81 \text{ ft}$$

$$U_1 = 9.73 \text{ ft/s}$$

$$D_1 = A_1/T_1 = 102.77/35 = 2.94 \text{ ft}$$

De la formula No. 34.

$$n^2 U_1^2 / \phi^2 R_1^{4/3} = 0.0067$$

Cálculando el número cuadrado de Froude.

$$F_1^2 = U_1 / (g D_1)^{1/2} = 9.73 / (32.2*2.94)^{1/2} = 0.996$$

Se toma otro tirante recordando el intervalo de tirantes establecido (a cada 0.25 ft.) y se procede de similar forma.

$$d_2 = 4.00 \text{ ft}$$

$$A_2 = 112 \text{ ft}^2$$

$$P_2 = 37.9 \text{ ft}$$

$$T_2 = b + 2md^2 = 20 + 2*2*4 = 36 \text{ ft}$$

$$R_2 = 2.95 \text{ ft}$$

$$U_2 = 8.93 \text{ ft/s}$$

$$D_2 = A_2/T_2 = 112/36 = 3.11 \text{ ft}$$

$$n^2 U_2^2 / \phi^2 R_2^{4/3} = 0.0053$$

$$F_2^2 = U_2 / (g D_2)^{1/2} = 8.93 / (32.2*3.11)^{1/2} = 0.796$$

Tomando el elemento medio de la formula 34, se tiene:

$$(n^2 U^2 / \phi^2 R^{4/3})_m = 0.00601$$

Con Froude medio se tiene:

$$F_m^2 = (F_1^2 - F_2^2)/2 + F_2^2 = (1-0.796)/2 + 0.796 \\ = 0.896$$

Aplicando la formula No. 34, de forma total:

$$S - (n^2 U^2 / \phi^2 R^{4/3})_m = 0.001 - 0.006 = -0.005$$

De la formula No. 35.

$$AE = AY = (1 - F_m^2) = (4 - 3.74)(1 - 0.896) = 0.027$$

Finalmente despejando de la ecuación 34:

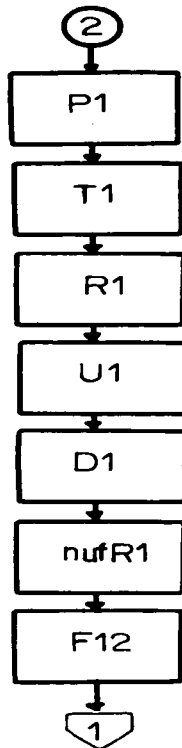
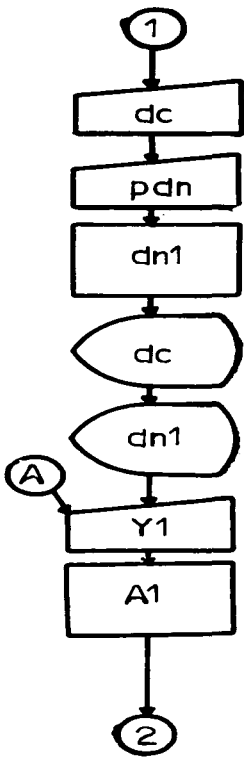
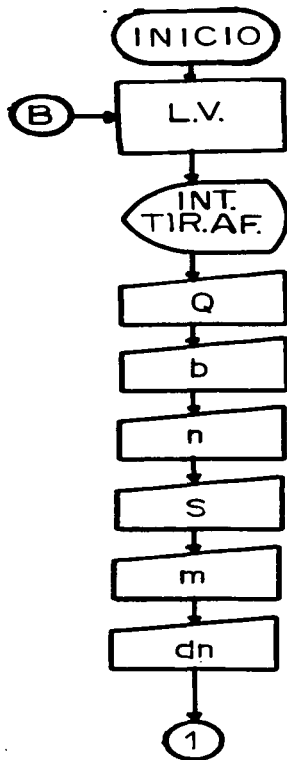
$$AX = AE / (S - (n^2 U^2 / \phi^2 R^{4/3})_m) = 0.027 / -0.005$$

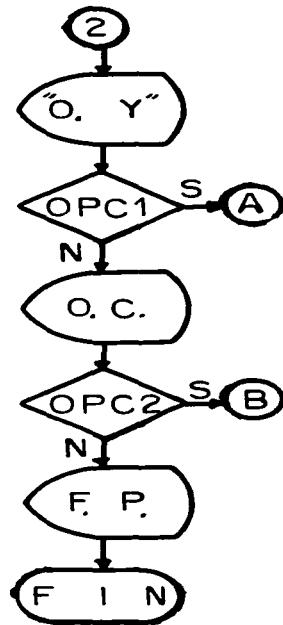
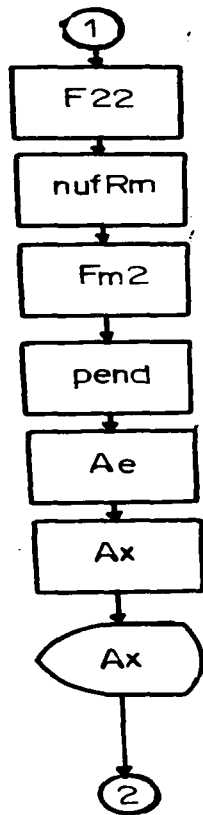
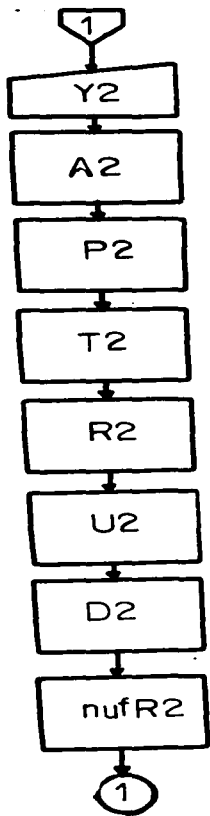
$$AX = - 5.4$$

Tomando el valor acumulado:

$$\underline{\Sigma AX = -5.4}$$

Y así sucesivamente se resuelve el problema por parejas de tirantes, tomando para el siguiente calculo como primer tirante el segundo de esta secuela de calculo, acumulandose el perfil en ΣAX .





```

5 b = n = S = m = dn = dc = LC = 0
10 PRINT "ESTE PROGRAMA ACEPTA TIRANTES AFINADOS MEDIANTE EL PV1.BAS"
20 INPUT "GASTO DEL CANAL"; Q
30 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
40 INPUT "C. RUGOSIDAD"; n
50 INPUT "PENDIENTE DEL CANAL"; S
60 INPUT "TALUD DEL CANAL"; m
70 INPUT "TIRANTE NORMAL DEL CANAL"; dn
80 INPUT "TIRANTE CRITICO DEL CANAL"; dc
90 INPUT "LIMITE DE CONVERGENCIA AL dn"; pdn
100 dn1 = (pdn / 100) * dn
110 PRINT "EL TIRANTE CRITICO ES:"; dc
120 PRINT "EL TIRANTE EN LA FRONTERA ES:"; dn1
130 INPUT "PRIMER TIRANTE"; Y1
140 A1 = (b * Y1) + (m * (Y1 ^ 2))
150 P1 = b + (2 * Y1 * ((1 + (m ^ (2))) ^ (1 / 2)))
155 T1 = b + (2 * m * Y1)
160 R1 = A1 / P1
170 U1 = (Q / A1)
180 D1 = A1 / T1
190 nufR1 = ((n ^ 2) * (U1 ^ 2)) / ((1.49 ^ 2) * (R1 ^ (4 / 3)))
200 F12 = ((U1 / ((D1 * 32.2) ^ (1 / 2))) ^ 2)
210 INPUT "SEGUNDO TIRANTE"; Y2
220 A2 = (b * Y2) + (m * (Y2 ^ 2))
230 P2 = b + (2 * Y2 * ((1 + (m ^ (2))) ^ (1 / 2)))
235 T2 = b + (2 * m * Y2)
240 R2 = A2 / P2
250 U2 = (Q / A2)
260 D2 = A2 / T2
270 nufR2 = ((n ^ 2) * (U2 ^ 2)) / ((1.49 ^ 2) * (R2 ^ (4 / 3)))
280 F22 = ((U2 / ((D2 * 32.2) ^ (1 / 2))) ^ 2)
290 nufRm = ((nufR1 - nufR2) / 2) + nufR1
300 Fm2 = ((F12 - F22) / 2) + F22
310 pend = (S - nufRm)
320 Ae = (Y2 - Y1) * (1 - Fm2)
330 AX = Ae / pend
335 PRINT "AX"; AX
340 INPUT "OTRA Y 1=S, 2=N ?"; OPC1
350 IF OPC1 = 1 GOTO 130
360 INPUT "OTRO CALCULO 1=S, 2=N ?"; OPC2
370 IF OPC2 = 1 GOTO 5
380 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
390 END

```

$$dn1 = ((H3/100)*F3)$$

$$AREA = (B3*J3)+(E3*(J3^(2)))$$

$$PERIMETRO = B3+(2*J3*((1+(E3^(2)))^(1/2)))$$

$$SUP. LIBRE = B3+(2*E3*J3)$$

$$RADIO = (K3/L3)$$

$$VELOCIDAD = A3/K3$$

$$D1 = K3/M3$$

$$n^2u^2/\phi^2R^4/3 = (C3^(2))*(O3^(2))/((1.49^(2))*(N3^(4/3)))$$

$$F1^2 = (O3/((32.2*P3)^(1/2)))^(2)$$

$$(nu/\phi R)m = ((Q3-Q4)/2)+Q4$$

$$Fm^2 = ((R3-R4)/2)+R4$$

$$-pend = (D3-S3)$$

$$Ae = (J4-J3)*(1-T3)$$

$$Ax = (V3/U3)$$

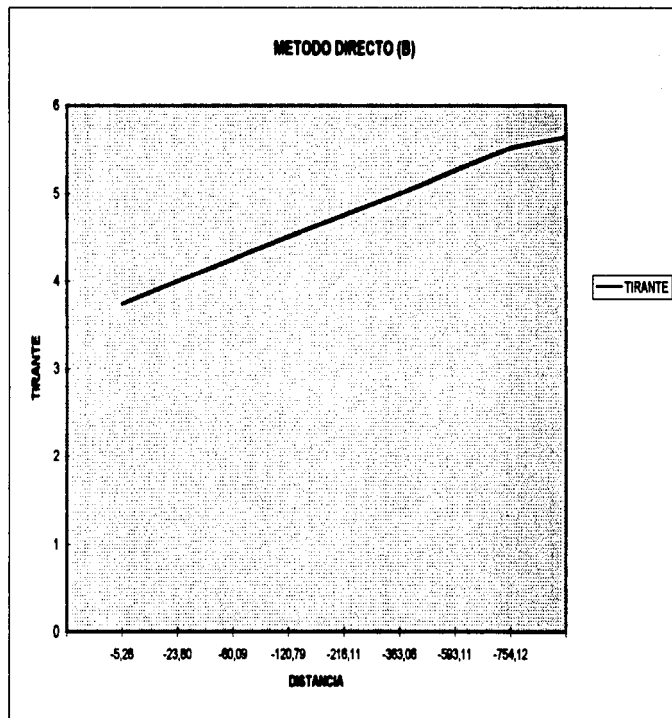
$$\Sigma Ax = W3+W4$$

CANTO	BASE	C. BUCON	PENDIENTE TALLO	TAL. NORM	TAL. CORT.	LIN. CONV.	es1	AREA
1000,00	20,00	0,025	0,001	2,00	6,25	3,74	90,00	102,78
1000,00	20,00	0,025	0,001	2,00	6,25	3,74	90,00	112,00
1000,00	20,00	0,025	0,001	2,00	6,25	3,74	90,00	121,13
1000,00	20,00	0,025	0,001	2,00	6,25	3,74	90,00	130,50
1000,00	20,00	0,025	0,001	2,00	6,25	3,74	90,00	140,13
1000,00	20,00	0,025	0,001	2,00	6,25	3,74	90,00	150,00
1000,00	20,00	0,025	0,001	2,00	6,25	3,74	90,00	160,13
1000,00	20,00	0,025	0,001	2,00	6,25	3,74	90,00	170,50
1000,00	20,00	0,025	0,001	2,00	6,25	3,74	90,00	175,57

Hojas

PERIMETRO	SUP. LINEA	DIAMETRO	VELOCIDAD	SI	$v^2 \sin^2 \alpha / (g \cdot 2R \cos^3 \alpha)$	F1°2	(m/s) ² /g	Fm°2
36,73	34,96	2,80	9,73	2,94	0,0068	1,0001	0,0060	0,8979
37,89	36,00	2,96	8,93	3,11	0,0053	0,7958	0,0048	0,7212
39,01	37,00	3,11	8,26	3,27	0,0042	0,6486	0,0038	0,5888
40,12	38,00	3,25	7,66	3,43	0,0034	0,5310	0,0031	0,4856
41,24	39,00	3,40	7,14	3,59	0,0028	0,4402	0,0026	0,4041
42,36	40,00	3,54	6,67	3,75	0,0023	0,3661	0,0021	0,3361
43,48	41,00	3,68	6,25	3,91	0,0019	0,3101	0,0018	0,2886
44,60	42,00	3,82	5,87	4,06	0,0016	0,2632	0,0016	0,2535
45,13	42,48	3,89	5,70	4,13	0,0015	0,2438		

pend	As	Ar	SAL	WOMME	
-0,0050	0,0285	-5,28	-5,28	3,74	
-0,0038	0,0697	-18,52	-23,80	4,00	
-0,0026	0,1028	-36,29	-60,09	4,25	
-0,0021	0,1286	-60,70	-120,79	4,50	
-0,0016	0,1490	-95,33	-216,11	4,75	
-0,0011	0,1652	-146,95	-363,06	5,00	
-0,0006	0,1783	-230,04	-593,11	5,25	
-0,0006	0,0896	-161,01	-754,12	5,50	
				5,82	



PROBLEMA V.III. - Un canal trapecial que transporta un gasto de 1000 ft³/s, con una pendiente de 0.001, un talud de 2:1, con una base de 20 ft., se desea determinar, si el canal termina en una caída, el perfil del flujo gradualmente variado con el método de integración directa.

Solución.

Se resuelven los tirantes de igual forma que en el problema V.I.

$$dn = 6.25 \text{ ft.}$$

$$dn1 = 5.62 \text{ ft.}$$

$$dc = 3.74 \text{ ft.}$$

Comenzando con un tirante y a cada 0.25 ft.

$$d_1 = 3.74 \text{ ft.}$$

$$U_1 = d_1/dn = 3.74 / 6.25 = 0.598$$

Aplicando la formula No. 37, con el talud y la relación tirante-plantilla.

$$N_1 = (10 \cdot (1+2z(d/b))) / (3 \cdot (1+z(d/b))) - 8(d/b)(1+Z^2)^{1/2} / 3 \cdot (1+2(d/b)(1+Z^2)^{1/2}$$

$$N_1 = 10(1+2(2)(3.74/20)) / 3(1+2(3.74/20)) - 8(3.74/20)(1+22)^{1/2} / 3(1+2(3.74/20)(1+22)^{1/2}$$

$$N_1 = 2.97$$

Aplicando la formula No. 36, igualmente con el valor del talud y la relación tirante-plantilla:

$$M_1 = 3(1+2Z(d/b))^2 - 2Z(d/b)(1+Z(d/b)) / ((1+2Z(d/b))^2(1+Z(d/b)))$$

$$M_1 = 3(1+2(2)(3.74/20))^2 - 2(2)(3.74/20)(1+2(3.74/20)) / ((1+2(2)(3.74/20))^2(1+2(3.74/20)))$$

$$M_1 = 3.00$$

Con la formula No. 39.

$$J_1 = N_1 / (N_1 + M_1 + 1) = 3.63 / (3.63 + 3.39 + 1)$$

$$J_1 = 3.06$$

De la formula No. 38.

$$V_1 = U_1^{N_1/J_1} = 0.598^{3.63/2.93} = 0.607$$

De la tabla No. 11, con las parejas de valores U_1 y N_1 ; V_1 y J_1 :

$$F(U, N)_1 = 0.637$$

$$F(V, J)_1 = 0.637$$

Tomando otro tirante con el intervalo de valores establecido, procediéndose de similar forma::

$$d_2 = 4.00$$

$$U_2 = 0.640$$

$$N_2 = 2.95$$

$$M_2 = 3.00$$

$$J_2 = 3.09$$

$$V_2 = 0.653$$

$$F(U,N)_2 = 0.690$$

$$F(V,J)_2 = 0.703$$

Obteniendo valores medios :

$$J_m = (J_2 - J_1)/2 + J_1 = (3.09 - 3.06)/2 + 3.06 = 3.075$$

$$N_m = (N_1 - N_2)/2 + N_2 = (2.97 - 2.95)/2 + 2.95 = 2.96$$

$$M_m = (M_2 - M_1)/2 + M_1 = (3 - 3)/2 + 3 = 3.00$$

De la formula No. 42.

$$AX = A((U_2 - U_1) - (F(U,N)_2 - F(U,N)_1)) + B(F(V,J)_2 - F(V,J)_1)$$

con las fórmulas 40 y 41.:

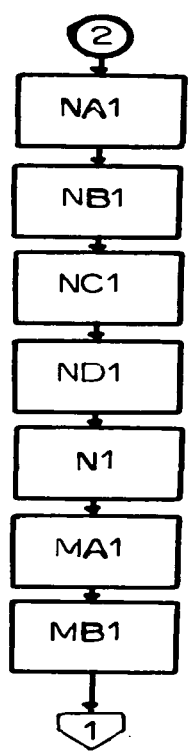
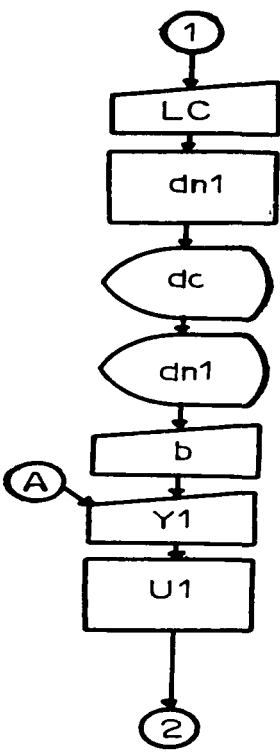
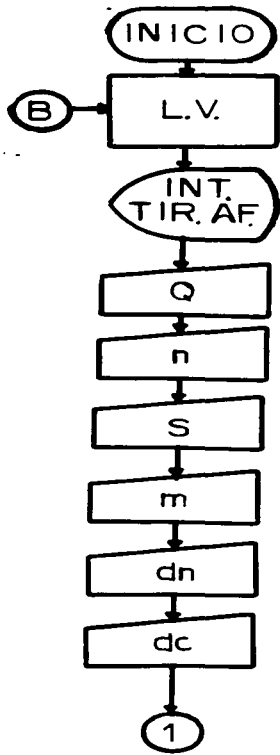
$$A = dn/S$$

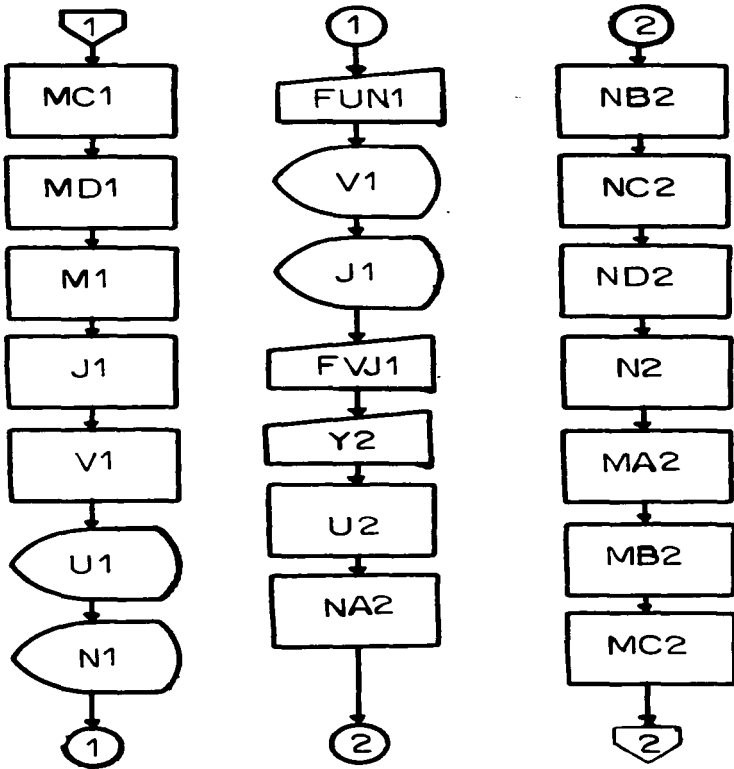
$$B = (dc/dn)^M (J/N)$$

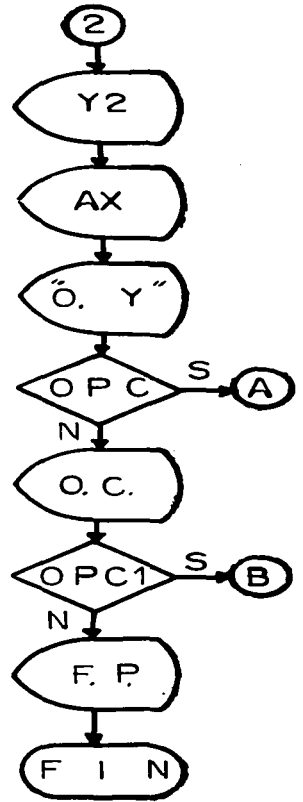
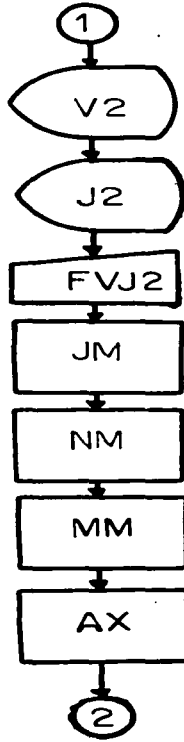
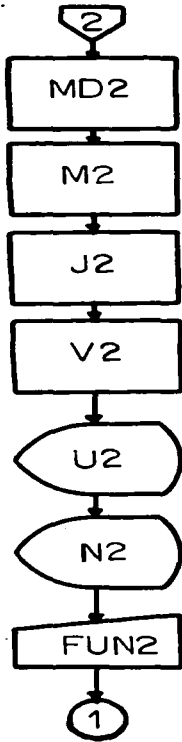
$$AX = 6.25/0.001((0.640-0.598)-(0.690-0.637)) + (3.74/6.25)^{3 \cdot 40} (3.07/2.96)(0.703-0.637)$$

$$\underline{AX = 20.640}$$

Y así sucesivamente se resuelve el problema por parejas de tirantes, tomando para el siguiente cálculo como primer tirante el segundo de esta secuela de cálculo, acumulándose el perfil en ΣAX .







```

5 Q = b = n = S = m = dn = dc = LC = dni = Y1 = Y2 = 0
10 PRINT "ESTE PROGRAMA ACEPTA TIRANTES AFINADOS POR MEDIO DEL PV1.BAS"
20 INPUT "GASTO DEL CANAL"; Q
40 INPUT "C. RUGOSIDAD"; n
50 INPUT "PENDIENTE DEL CANAL"; S
60 INPUT "TALUD DEL CANAL"; m
70 INPUT "TIRANTE NORMAL DEL CANAL"; dn
80 INPUT "TIRANTE CRITICO DEL CANAL"; dc
90 INPUT "LIMITE DE CONVERGENCIA AL dn?"; LC
100 dni = (LC / 100) * dn
110 PRINT "EL TIRANTE CRITICO ES:"; dc
120 PRINT "EL TIRANTE FRONTERA AGUAS ARRIBA ES:"; dni
125 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
130 INPUT "PRIMER TIRANTE"; Y1
140 U1 = Y1 / dn
150 NA1 = ((10 * (1 + (2 * m * (Y1 / b))))))
160 NB1 = (3 * (1 + (m * (Y1 / b))))
170 NC1 = (8 * (Y1 / b) * ((1 + (m ^ (2))) ^ (1 / 2)))
180 ND1 = ((3 * (1 + ((2 * (Y1 / b) * ((1 + m ^ 2) ^ (1 / 2))))))
190 N1 = (NA1 / NB1) - (NC1 / ND1)
200 MA1 = ((3 * ((1 + (2 * m * (Y1 / b))) ^ (2))))
210 MB1 = (2 * m * (Y1 / b) * (1 + (m * Y1 / b)))
220 MC1 = ((1 + (2 * m * (Y1 / b))))
230 MD1 = (1 + (m * Y1 / b))
240 M1 = (MA1 - MB1) / (MC1 * MD1)
250 J1 = (N1 / (N1 - M1 + 1))
260 V1 = U1 ^ (N1 / J1)
270 PRINT "EL VALOR DE U PARA FUN ES:"; U1
280 PRINT "EL VALOR DE N PARA FUN ES:"; N1
290 INPUT "VALOR DE LA TABLA"; FUN1
300 PRINT "EL VALOR DE V PARA FVJ ES:"; V1
310 PRINT "EL VALOR DE J PARA FVJ ES:"; J1
320 INPUT "VALOR DE LA TABLA"; FVJ1
330 INPUT "SEGUNDO TIRANTE"; Y2
340 U2 = Y2 / dn
350 NA2 = ((10 * (1 + (2 * m * (Y2 / b))))))
360 NB2 = (3 * (1 + (m * (Y2 / b))))
370 NC2 = (8 * (Y2 / b) * ((1 + (m ^ (2))) ^ (1 / 2)))
380 ND2 = ((3 * (1 + ((2 * (Y2 / b) * ((1 + m ^ 2) ^ (1 / 2))))))
390 N2 = (NA2 / NB2) - (NC2 / ND2)
400 MA2 = ((3 * ((1 + (2 * m * (Y2 / b))) ^ (2))))
410 MB2 = (2 * m * (Y2 / b) * (1 + (m * Y2 / b)))
420 MC2 = ((1 + (2 * m * (Y2 / b))))
430 MD2 = (1 + (m * Y2 / b))
440 M2 = (MA2 - MB2) / (MC2 * MD2)
450 J2 = (N2 / (N2 - M2 + 1))
460 V2 = U2 ^ (N2 / J2)
470 PRINT "EL VALOR DE U PARA FUN ES:"; U2
480 PRINT "EL VALOR DE N PARA FUN ES:"; N2
490 INPUT "VALOR DE LA TABLA"; FUN2
500 PRINT "EL VALOR DE V PARA FVJ ES:"; V2
510 PRINT "EL VALOR DE J PARA FVJ ES:"; J2
520 INPUT "VALOR DE LA TABLA"; FVJ2
530 JM = ((J2 - J1) / 2) + J1
540 NM = ((N2 - N1) / 2) + N1
550 MM = ((M2 - M1) / 2) + M1
560 AX = (dn / S) * ((U2 - U1) - (FUN2 - FUN1) + (((dc / dn) ^ (MM)) * (JM / NM)
70 PRINT "EL VALOR DE Y ES:"; Y2
80 PRINT "EL VALOR DE AX ES:"; AX
90 INPUT "OTRA Y 1=S, 2=N ?"; OPC

```

```
600 IF OPC = 1 GOTO 130
610 INPUT "OTRO CALCULO 1-S, 2=N ?"; OPC1
620 IF OPC1 = 1 GOTO 5
630 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
640 END
```

$$U = H2/C2$$

$$N = ((10*(1+(2*F2*(H2/G2))))/(3*(1+(F2*(H2/G2)))) - ((8*(H2/G2)*((1+(F2^2))^(1/2)))/(3*(1+(2*(H2/G2)*((1+(F2^2))^(1/2))))))$$

$$M = ((3*((1+(2*F2*(H2/G2)))^2)) - (2*F2*(H2/G2)*(1+(F2*(H2/G2)))) / ((1+(2*F2*(H2/G2)))*(1+(F2*(H2/G2))))$$

$$J = J2/(J2-K2+1)$$

$$V = I2^(J2/L2)$$

$$Jm = ((L3-L2)/2)+L2$$

$$Nm = ((J3-J2)/2)+J2$$

$$Mm = ((K3-K2)/2)+K2$$

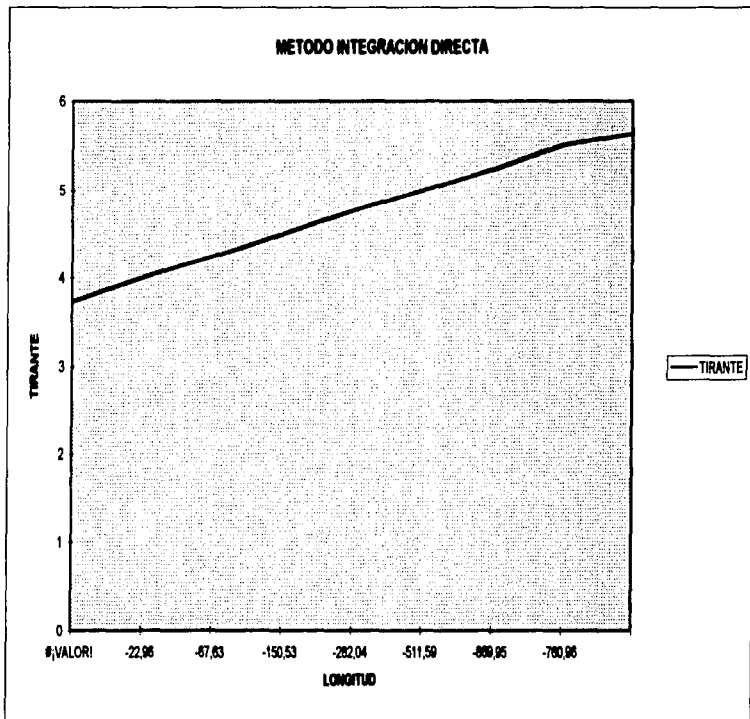
$$Ax = (C2/B2)*(((I3-I2)-(N3-N2))+(((D2/C2)^(R2))*(P2/Q2)*(O3-O2)))$$

$$\Sigma Ax = S2+S3$$

GASTO	PENAL. INCL.	TIB. MENS.	TIB. CONT.	da1	PENDIENTE	BASE	PIDANTE	U	N	M	J	V
1000	0,001	6,25	3,74	5,62	0,001	20	3,74	0,60	2,97	3,00	3,06	0,61
1000	0,001	6,25	3,74	5,62	0,001	20	4	0,64	2,95	3,00	3,10	0,65
1000	0,001	6,25	3,74	5,62	0,001	20	4,25	0,66	2,94	3,00	3,14	0,70
1000	0,001	6,25	3,74	5,62	0,001	20	4,5	0,72	2,92	3,00	3,17	0,74
1000	0,001	6,25	3,74	5,62	0,001	20	4,75	0,76	2,90	3,00	3,21	0,78
1000	0,001	6,25	3,74	5,62	0,001	20	5	0,80	2,89	3,00	3,25	0,82
1000	0,001	6,25	3,74	5,62	0,001	20	5,25	0,84	2,88	3,00	3,29	0,86
1000	0,001	6,25	3,74	5,62	0,001	20	5,5	0,88	2,86	3,00	3,32	0,90
1000	0,001	6,25	3,74	5,62	0,001	20	5,62	0,90	2,85	3,00	3,34	0,91

Hojas

FUN	PIJ	Am	Man	Min	An	SAL	FRANKE
0,64	0,64	3,08	2,98	3,00	20,64	#####	3,74
0,69	0,70	3,12	2,94	3,00	-43,80	-22,98	4
0,75	0,78	3,16	2,93	3,00	-44,67	-67,83	4,25
0,81	0,83	3,19	2,91	3,00	-82,90	-150,53	4,5
0,88	0,90	3,23	2,90	3,00	-131,50	-282,04	4,75
0,96	0,97	3,27	2,88	3,00	-229,55	-511,59	5
1,05	1,03	3,30	2,87	3,00	-358,38	-869,95	5,25
1,18	1,14	3,33	2,86	3,00	108,99	-760,96	5,5
1,20	1,21						5,62



CAPITULO VI.

CAPITULO VI.- TRANSICIONES Y CURVAS.

ASPECTOS FUNDAMENTALES.

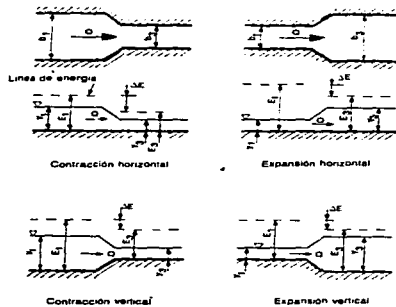
Las estructuras normalmente llamadas transiciones, son obras, las cuales tienen como finalidad:

- Evitar pérdidas de carga excesivas.
- Eliminar ondas cruzadas, ondas estacionarias y otras turbulencias.
- Proporcionar seguridad para la estructura de transición en el canal.

Las formas en que se pueden presentar las transiciones son diferentes, dependiendo de la necesidad que se tenga, como puede ser el caso de la obra de toma en un río, en la cual por lo regular se construye una transición de entrada, pasando por la obra de toma, de ahí al tanque desarenador, posteriormente al tanque oscilador y finalmente a la línea de conducción.

Otro ejemplo típico puede ser el de la construcción de un sifón invertido, en el cual se diseña una transición de entrada y una de salida, etc..

En este tema consideramos el diseño de transiciones para el flujo subcrítico. En la figura VI.I se muestran dos ejemplos.



Transiciones
horizontales y verticales bruscas.

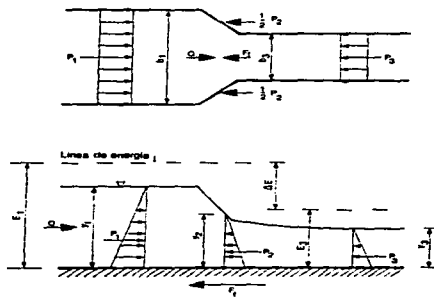


FIGURA VI.I.

DISEÑO DE LA TRANSICIÓN.

a) Proporcionamiento. Se deberá tratar de obtener un ángulo de 12.5° entre el eje paralelo al flujo del canal de entrada y una línea que conecta los lados del canal y las secciones de entrada y salida .

b) Perdidas. En las transiciones se tienen dos tipos de perdidas, una de ellas es la pérdida por fricción, que se puede determinar por la ecuación de Bernoulli y este tipo de perdidas es muy pequeña y a menudo puede despreciarse.

El otro tipo de pérdida es debido a la transición misma.

La carga de velocidad a la entrada es menor en esta que a la salida de la transición por lo que se presenta una pérdida la cual se conoce como pérdida por conversión, esto debido a la diferencia entre la superficie del agua.

La pérdida por conversión para una transición de entrada, puede estimarse por:

$$AY' = Ahu + C_i Ahu = (1 + C_i)Ahu$$

AY' = Caída en la elevación de la superficie del agua ocasionada por la pérdida de entrada.

Ahu = Diferencia de carga de velocidad en la Transición.

C_i = Coeficiente de pérdida de entrada. (Ver tabla No.12)

En el caso de transiciones de salida, la velocidad se reduce, esta ocasionando una elevación en el tirante, teniendo como consecuencia una pérdida de conversión a la salida, que se expresa:

$$AY' = Ahu - C_o Ahu = (1 - C_o) Ahu$$

C_o = Coeficiente de pérdida a la salida (tabla No. 12).

c) Bordo Libre. Para el diseño del bordo libre siempre y cuando el tirante en la transición sea menor de 3.7 m, se puede calcular por medio de las fórmulas del capítulo II, pero hay que tener cuidado, si el tirante es mayor a 3.7 m. como se indica.

Para un conjunto dado de condiciones de entrada, el tirante y la velocidad dentro de la transición están gobernadas por tres condiciones de frontera:

$$\begin{aligned} b &= f_1(x) \\ Ax &= f_2(x) \\ m &= f_3(x) \end{aligned}$$

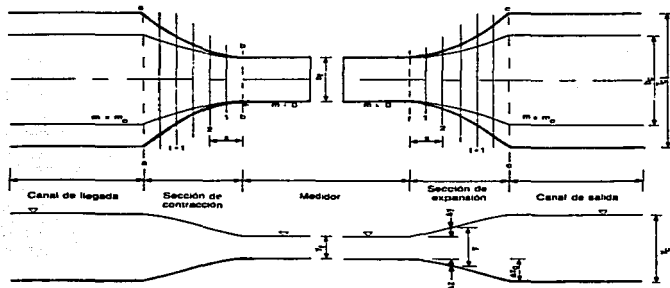
b = Ancho del fondo de la transición.

Az = Cambio en la elevación del fondo del canal, dentro de la transición.

m = Inversa del talud del canal.

x = Distancia longitudinal medida desde el principio de la transición.

En la figura VI.II., se ilustra la definición de la transición.



Esquema de definición de una transición (Vittal y Chiranjeevi, 1983.)

FIGURA VI.II.

CURVAS.

Cuando se tiene flujo en una curva se produce una sobreelevación en el talud exterior de este, igualmente en la parte interior. Al diseñar el canal se deben de estimar estos cambios en elevaciones. Si se supone que todo el flujo se mueve alrededor de la curva, con una velocidad promedio V , entonces:

$$Ah = V^2 b / gR \quad (\text{Formula 53})$$

Ah = Cambio de elevación de la superficie libre a través del canal.

b = Ancho del canal.

R = Radio de giro de la curva al centro del canal.

No hay reglas fijas que determinen el máximo radio de la curvatura de canales.

El ancho de los taludes del canal por lo común se determinan con base en varias consideraciones que incluyen el tamaño del canal, la cantidad del material de excavación.

En ocasiones cuando se proyecta construir un canal, por cuestiones topográficas no es posible llevar este en forma recta y es cuando se comienza a proyectar el diseño de una curvatura en el canal.

Se podría decir que este procedimiento también es empleado, en las vías terrestres, donde el principal problema que se presenta es la topografía.

Se presenta un ejemplo básico de curvatura debido a que la gran mayoría de los problemas en canales se resuelven de forma similar, siendo esta la mas sencilla de calcular la varianza del bordo libre en un canal accidentado topográficamente.

Nota : En este tema se muestra un solo ejemplo de como resolver fundamentalmente una transición y un bordo libre en un canal curvo, dado que estas soluciones son las mas practicas y fáciles de usar.

PROBLEMA VI.I.- Dados los siguientes datos, diseñese una transición entre un medidor y un canal trapecial.

$$Q = 357 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Azo} = 0.5 \text{ m.} \quad (\text{medidor mas elevado})$$

$$\text{bf} = 15.0 \text{ m.}$$

$$\text{bc} = 23.0 \text{ m.}$$

$$m_o = 2.0$$

$$\text{Ych} = 6.7 \text{ m.}$$

Solución.

En este caso la elevación del fondo del medidor relativa al canal esta predeterminada. La energía especifica en el medidor es:

De la formula No. 43.

$$E_f = Y_f + Q^2/2gb^2Y_f^2 = E_{ch} - \text{Azo} + hL$$

Auxiliándonos de la formula No. 45.

$$E_{ch} = Y_{ch} + Q^2/2gA_{ch}^2$$

$$A_{ch} = (\text{bc} + m_o Y_{ch})Y_{ch} = (23 + 2(6.7))6.7 = 244 \text{ m}^2$$

$$E_{ch} = 6.7 + 357^2/2(9.8)(244)^2 = 6.81 \text{ m}$$

Una estimación inicial de la energía especifica en el medidor es:

$$E_f = E_{ch} - A_{zo} = 6.81 - 0.50 = 6.31 \text{ m.}$$

$$E_f = 6.31 \text{ m.}$$

El tirante en el medidor se estima al resolver:

$$\begin{aligned} E_f = 6.31 &= Y_f + Q^2 / 2gbf^2 Y_f^2 \\ &= Y_f + 357^2 / 2(9.81)(15)^2 (Y_f^2) \end{aligned}$$

$$6.31 = Y_f + 28.9 / Y_f^2$$

Despejando:

$$Y_f = 5.27 \text{ m.}$$

Por continuidad:

$$U_f = Q / A_f = 357 / bf * Y_f = 357 / (15 * 5.27) = 4.52 \text{ m/s}$$

El termino de perdida h_L puede evaluarse ahora por medio de la formula 46:

$$h_L = K_4 (U_f^2 - U_{ch}^2) / 2g = 0.3(4.52^2 - (357/244)^2) / (2 * 9.8)$$

$$h_L = 0.28$$

Tomando en cuenta la perdida se puede hacer otro calculo:

$$E_f = E_{ch} - A_{zo} + h_L = 6.81 - 0.5 + 0.28$$

$$E_f = 6.59$$

De la formula 43:

$$6.59 = Yf + 28.9/Yf^2$$

De nuevo, despejando o por tanteo:

$$\underline{Yf = 5.61 \text{ m.}}$$

$$Uf = Q/Af = 357/(15*5.61) = 4.24 \text{ m/s}$$

La pérdida actual es:

$$hL = 0.3 * ((4.24^2 - (357/244)^2)/(2*9.81)) = 0.24\text{m}$$

Ya no es necesario realizar mas tanteos puesto que la diferencia entre las perdidas calculadas no es muy significativa.

La longitud de diseño de la transición se estima por medio de la ecuación:

$$L = 2.35(bc-bf) + 1.65(m_o Ych)$$

$$L = 2.35(23-15) + 1.65(2)(6.7) = 40.9 \text{ m.} = 41 \text{ m.}$$

$$\underline{L = 41 \text{ m.}}$$

La transición ahora se divide en 9 subtramos de 4m. y un décimo subtramo de 5 m. . Los cálculos adicionales requeridos para este diseño se resumen en la siguiente tabla:

Sección	x, (m)	b, (m)	m	Az, (m)	y, (m)
1	2	3	4	5	6
f-f	0.0	15.00	0.0	0.0	5.64
1	4.0	15.03	0.100	0.049	5.79
2	8.0	15.14	0.206	0.098	5.92
3	12.0	15.32	0.318	0.147	6.04
4	16.0	15.60	0.438	0.196	6.16
5	20.0	15.98	0.569	0.245	6.25
6	24.0	16.48	0.712	0.294	6.36
7	28.0	17.13	0.874	0.343	6.44
8	32.0	18.00	1.063	0.392	6.52
9	36.0	19.18	1.302	0.441	6.60
c-c	41.0	23.00	2.000	0.500	6.70

Columna 1.- A cada subtramo se le asigna un número para su identificación.

Columna 2.- Es la distancia desde el inicio de la transición.

Columna 3 .- Se especifica la longitud del subtramo.

De la fórmulas 48 y 49, se tiene:

$$b = b_f + (b_c - b_f)(X/L)(1 - (1 - (X/L))^\lambda)$$

$$\lambda = 0.8 - 0.26 (m_o)^{1/2}$$

$$\lambda = 0.8 - 0.26(2)^{1/2} = 0.43$$

$$b = 15 + 8(X/41)(1-(1-(X/41))^{0.43})$$

Por ejemplo en la sección 5.

$$X = 20 \text{ m.}$$

$$b_5 = 15 + 8(20/41)(1-(1-20/41)^{0.43}) = 15.98 \text{ m.}$$

Columna 4. Se calcula el talud del canal de transición :

De la formula No. 50:

$$m = m_o (1-(1-X/L)^{1/2}) = 2(1-(1-X/41)^{1/2})$$

Tomando X de la sección 5

$$m = 2(1-(1-20/41)^{1/2}) = 0.569$$

Columna 5.- Se resume la caída acumulada en la elevación del fondo relativa a la elevación del canal. Por ejemplo en la sección 5.

Aplicando las fórmulas 51 y 52:

$$Az_5 = Azo/L * X = 0.5/41 * 20 = 0.244 \text{ m.}$$

La caída en la elevación de fondo entre las secciones 4 y 5 es:

$$Az_{45} = Az_0/L (X_5 - X_4) = 0.5/41 (20-16) = 0.049$$

Con los datos;

$$X_5 = 20.0 \text{ m}$$

$$m_5 = 0.569$$

$$b_5 = 15.98 \text{ m.}$$

$$Az_{45} = 0.049$$

de la tabla anterior:

$$b_4 = 15.60 \text{ m.}$$

$$Y_4 = 6.16 \text{ m.}$$

$$m_4 = 0.438$$

De donde sus elementos serian:

$$A_4 = (b_4 + m_4 Y_4) Y_4 = (15.6 + 0.438 * 6.16) 6.16$$

$$A_4 = 113 \text{ m}^2$$

$$U_4 = Q/A_4 = 357 / 113 = 3.16 \text{ m/s}$$

$$E_4 = Y_4 + U_4^2/2g = 6.16 + (3.16)^2/(2*9.81) = 6.67 \text{ m}$$

$$E_4 + Az_{45} = 6.67 + 0.049 = 6.72$$

$$E_5 = Y_5 + Q^2 / (2g(b_5 + m_5 Y_5)^2 Y_5^2 = E_4 + Az_{45} \dots\dots\dots E$$

hoja de calculo

$$= Y_5 + (357)^2 / (19.6 * 15.98 + 0.569 Y_5)^2 Y_5^2 \dots \text{Termino 3}$$

hoja de calculo

$$= 6.72$$

por tanteo o despejando :

$$Y_5 = 6.26 \text{ m.}$$

Por continuidad y despejando:

$$U_5 = Q / A_5 = 357 / (15.98 + 0.569(6.26)) 6.26$$

La perdida en el subtramo es:

$$hL_{45} = K_h (U_4^2 - U_5^2) / 2g = 0.3 * (3.16^2 - 2.92^2) / 19.62$$

$$hL_{45} = 0.022 \text{ m}$$

Obtenemos el calculo revisado de Y5 y ajustando el tirante tenemos:

$$E_5 = Y_5 + Q^2 / 2gA_5^2 = E_4 + Az_{45} - hL_{45} \dots \text{E1 en la hoja de calculo}$$

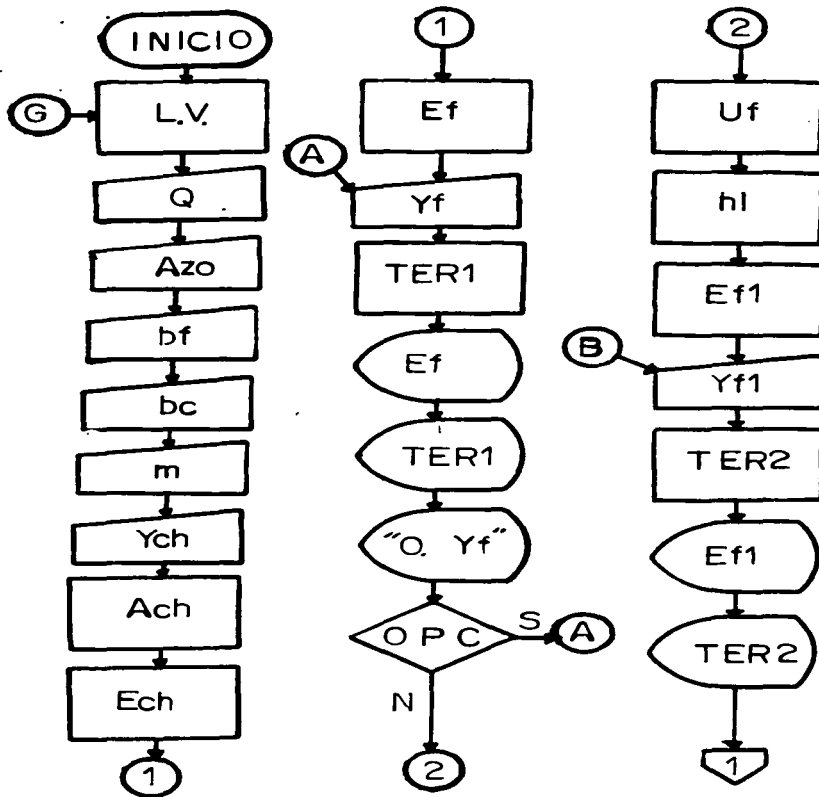
$$E_5 = Y_5 + Q^2 / 2gA_5^2 = \text{Termino 4 de la hoja de calculo.}$$

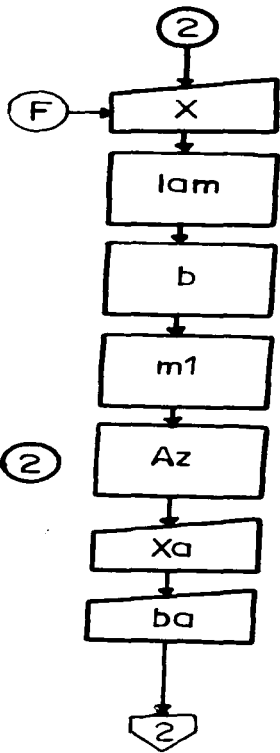
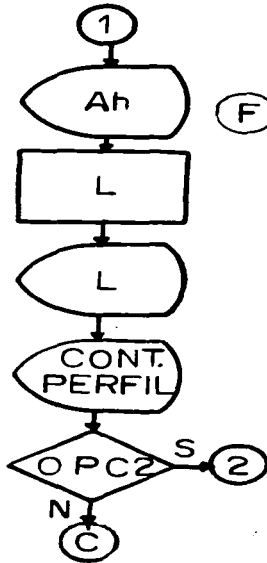
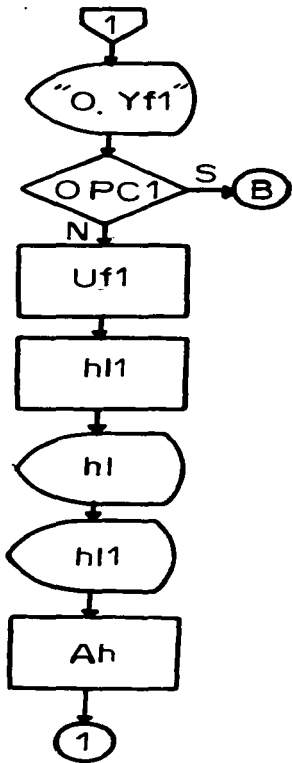
$$Y_5 + (357)^2 / (19.6)(15.98 + 0.569 Y_5)^2 Y_5^2 = 6.67 + 0.049 - 0.022 = 6.70$$

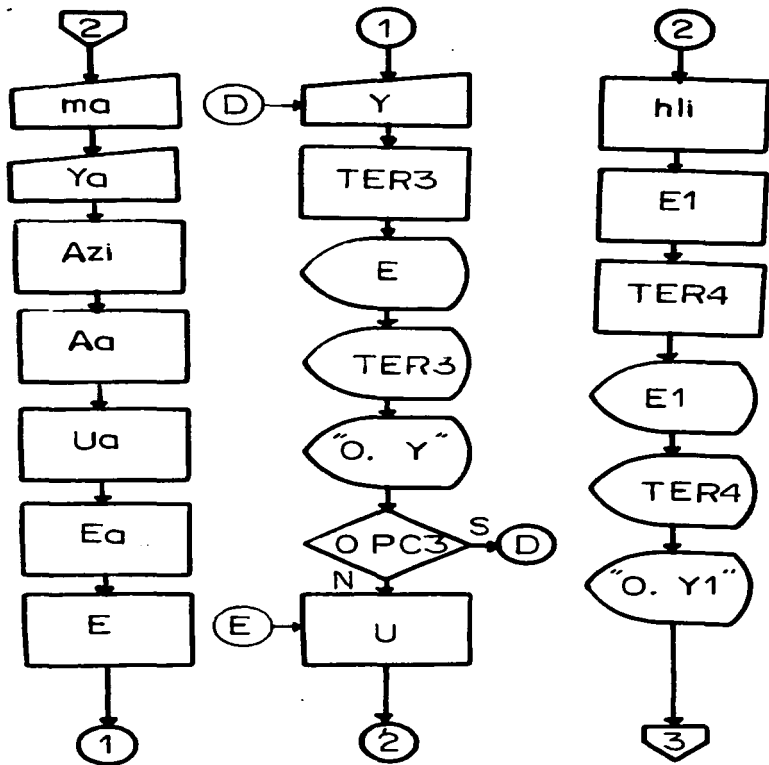
Tirante ajustado y despejando :

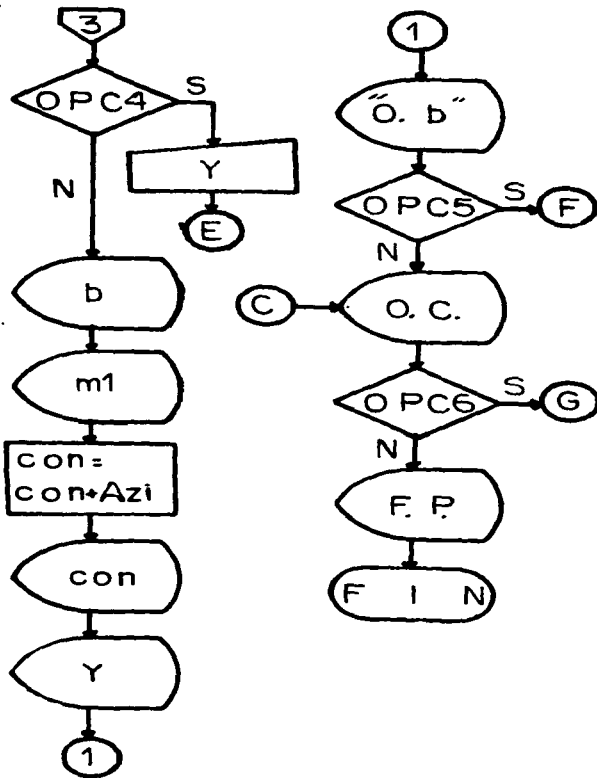
Y5 = 6.25 m.

Y así sucesivamente se harán con los siguientes subtramos, recordando que se puede dividir la transición en cualquier numero de subtramos, pero a medida que aumentamos dicha partición, será mas exacto el perfil.









```

5 Q = AZo = bf = bc = m = Ych = Ach = Ech = Ef = Ter1 = Ter2 = Ter3 = Ter4 = 0
10 INPUT "GASTO DEL CANAL"; Q
20 INPUT "AZO DESNIVEL DEL CANAL"; AZo
30 INPUT "bf DEL CANAL RECTANGULAR"; bf
40 INPUT "bc DEL CANAL DE ENTRADA"; bc
50 INPUT "TALUD DEL CANAL"; m
60 INPUT "Ych DEL CANAL"; Ych
70 Ach = (bc + (m * Ych)) * Ych
80 Ech = Ych + ((Q ^ 2) / (2 * 9.81 * (Ach ^ 2)))
90 Ef = Ech - AZo
100 INPUT "Yf DEL CANAL RECTANGULAR"; Yf
110 Ter1 = Yf + ((Q ^ 2) / ((2 * 9.81) * (bf ^ 2) * (Yf ^ 2)))
120 PRINT "EL VALOR DE Ef ES:"; Ef
130 PRINT "EL VALOR DE Yf+V^2/2g ES:"; Ter1
140 INPUT "OTRA Yf 1-S, 2-M ?"; OPC
150 IF OPC = 1 GOTO 100
160 Uf = Q / (bf * Yf)
170 h1 = .3 * ((Uf ^ 2) - (Q / Ach) ^ (2)) / (2 * 9.81)
180 Ef1 = Ech - AZo - h1
190 INPUT "TIRANTE Yf1 CORREGIDO"; Yf1
200 Ter2 = Yf1 + ((Q ^ 2) / ((2 * 9.81) * (bf ^ 2) * (Yf1 ^ 2)))
210 PRINT "Ef1"; Ef1
220 PRINT "EL VALOR DE Yf + V^2/2g ES:"; Ter2
230 INPUT "Otra Yf1 1-S, 2-M ?"; OPC1
240 IF OPC1 = 1 GOTO 190
250 Uf1 = Q / (bf * Yf1)
260 h11 = .3 * ((Uf1 ^ 2) - (Q / Ach) ^ (2)) / (2 * 9.81)
270 PRINT "La Perdida en el primer cálculo es:"; h1
280 PRINT "La Perdida en el segundo cálculo es:"; h11
290 Ah = h1 - h11
300 PRINT "La Diferencia entre perdidas es:"; Ah
310 L = (2.35 * (bc - bf)) + (1.65 * m * Ych)
320 PRINT "La longitud de diseño de transición es:"; L
330 INPUT "CONTINUAR CON EL PERFIL 1-S, 2-M ?"; OPC2
340 IF OPC2 = 2 GOTO 670
350 INPUT "X"; X
360 lam = (.8) - ((.26) * (m ^ (1 / 2)))
370 b = bf + ((bc - bf) * (X / L) * (1 - (1 - (X / L)) ^ (lam)))
380 m1 = m * (1 - (1 - (X / L)) ^ (1 / 2))
390 Az = (AZo / L) * (X)
400 INPUT "X anterior"; Xa
410 INPUT "b anterior"; ba
420 INPUT "m anterior"; ma
430 INPUT "Y anterior"; Ya
440 Azi = (AZo / L) * (X - Xa)
450 Aa = (ba * Ya) + (ma * Ya ^ 2)
460 Ua = Q / Aa
470 Ea = Ya + ((Ua ^ 2) / (2 * 9.81))
480 E = Ea + Azi
490 INPUT "Y propuesta"; Y
500 Ter3 = Y + ((Q ^ 2) / (((b * Y) + (m1 * (Y ^ 2))) ^ 2) * 2 * 9.81))
510 PRINT "EL VALOR DE E ES:"; E
520 PRINT "EL VALOR DE Yf + V^2/2g ES:"; Ter3
530 INPUT "OTRA Y 1-S, 2-M ?"; OPC3
540 IF OPC3 = 1 GOTO 490
550 U = (Q / ((b * Y) + (m1 * (Y ^ 2))))
560 h11 = .3 * (((Ua ^ 2) - (U ^ 2)) / (2 * 9.81))
570 E1 = Ea + Azi - h11
580 Ter4 = Y + ((Q ^ 2) / ((2 * 9.81) * (((b * Y) + (m1 * Y ^ 2))) ^ 2))
590 PRINT "EL VALOR DE E1 ES:"; E1

```

```
600 PRINT "EL VALOR DE  $Y + V^2/2G$  ES:"; Ter4
610 INPUT "OTRA Y1 1-S, 2-N ?"; OPC4
620 IF OPC4 = 2 GOTO 650
630 INPUT "Y CORREGIDA"; Y
640 GOTO 550
650 PRINT "LA BASE DEL CANAL ES:"; b
655 PRINT "EL TALUD DEL CANAL ES:"; m1
656 con = con + Asi
657 PRINT "Asi"; con
660 PRINT "EL TIRANTE DEL CANAL ES:"; Y
662 INPUT "OTRA b (1-S, 2-N) ?"; OPC5
664 IF OPC5 = 1 GOTO 350
670 INPUT "OTRO CALCULO 1-S, 2-N ?"; OPC6
680 IF OPC6 = 1 GOTO 5
690 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
700 END
```

$$\text{BASE} = C2 + ((D2 - C2) * (H2/G2) * ((1 - (1 - (H2/G2))))^{(0.8 - (0.26 * (E2^{(1/2))}))})$$

$$\text{TALUD} = E2 * (1 - ((1 - (H2/G2))^{(1/2)}))$$

$$\text{Azi} = (B2/G2) * (H2 - H1)$$

$$\text{Az} = (B2/G2) * H2$$

$$E = S2 + (((A2 / (I2 * S2) + J2 * (S2^{(2)})))^{(2)}) / (2 * 9.81) + K3$$

$$\text{Ter3} = (N3 + ((A3^{(2)}) / (2 * 9.81 * ((I3 + (J3 * N3))^{(2)}) * (N3^{(2))})))$$

$$U = (A2 / (I2 * N2) + (J2 * (N2^{(2)})))$$

$$\text{hli} = 0.3 * (((P1^{(2)}) - (P2^{(2)})) / (2 * 9.81))$$

$$E1 = M3 - Q3$$

$$\text{Ter4} = (S3) + ((A3^{(2)}) / ((2 * 9.81) * ((I3 - S3 + (J3 * (S3^{(2)})))^{(2)}))$$

Hoja1

CARTE	Apo	M	hc	No	Ych	LONGITUD	SUPERFICIE	BASE	FALTO	AD	AZ	E	V
357	0,5	15	23	2	6,7	41	0	15,00	0,00	0,000000	0,00	6,310000	5,270000
357	0,5	15	23	2	6,7	41	4	15,29	0,10	0,05	0,05	6,596385	5,840000
357	0,5	15	23	2	6,7	41	8	15,77	0,21	0,05	0,10	6,585448	5,920000
357	0,5	15	23	2	6,7	41	12	16,38	0,32	0,05	0,15	6,585217	6,030000
357	0,5	15	23	2	6,7	41	16	17,08	0,44	0,05	0,20	6,572504	6,130000
357	0,5	15	23	2	6,7	41	20	17,86	0,57	0,05	0,24	6,568245	6,230000
357	0,5	15	23	2	6,7	41	24	18,72	0,71	0,05	0,29	6,626848	6,320000
357	0,5	15	23	2	6,7	41	28	19,63	0,87	0,05	0,34	6,681681	6,420000
357	0,5	15	23	2	6,7	41	32	20,61	1,08	0,05	0,39	6,698011	6,490000
357	0,5	15	23	2	6,7	41	36	21,64	1,30	0,05	0,44	6,733379	6,570000
357	0,5	15	23	2	6,7	41	41	23,00	2,00	0,08	0,50	6,786717	6,670000

Year3	U	M	E1	Y1	Year4		
6,310000	4,518129	0,000000	6,590000	5,840000	6,590000		
6,598280	3,851990	0,084979	6,511407	5,730000	6,518888		
6,562284	3,549819	0,034199	6,531247	5,880000	6,518437		
6,563815	3,238272	0,032535	6,532883	5,980000	6,523724		
6,572508	2,948517	0,027393	6,545111	6,100000	6,547484		
6,595320	2,677233	0,023158	6,573069	6,210000	6,578868		
6,621737	2,433123	0,019075	6,607774	6,310000	6,612880		
6,667337	2,202895	0,016320	6,645341	6,400000	6,649230		
6,693810	1,999890	0,013058	6,684953	6,480000	6,684598		
6,735094	1,796785	0,011815	6,721784	6,560000	6,725741		
6,780585	1,472848	0,016359	6,770358	6,680000	6,771019		

PROBLEMA VI.II.- Determinar el bordo libre del siguiente canal trapecial, estando construido este por cuestiones topográficas en curva.

$$Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$m = 1.5$$

$$n = 0.016$$

$$S = 0.00016$$

$$\text{Espesor del revestimiento} = 5 \text{ cm}$$

$$R = 10 \text{ m.}$$

Solución .

De la tabla No. 13.

Bordo libre = e = 10 cm.

Ancho de corona = 40 cm.

Se propone una b = 3 m.

Se calcula el tirante normal (sin afinar):

$$Qn/b^{8/3} S^{1/2} = 10 \cdot 0.016 / 3^{8/3} 0.00016^{1/2} = 0.675$$

Del nomograma para determinar el dn No. 4.

$$dn/b = 0.68$$

$$dn = 0.68 \cdot 3 = 2.04$$

$$A = bd + md^2 = 3(2.04) + 1.5(2.04)^2 = 12.36 \text{ m}^2$$

$$V = Q/A = 10/12.36 = 0.808 \text{ m/s}$$

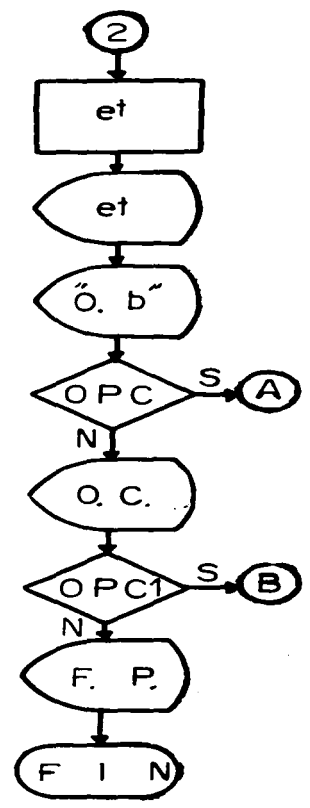
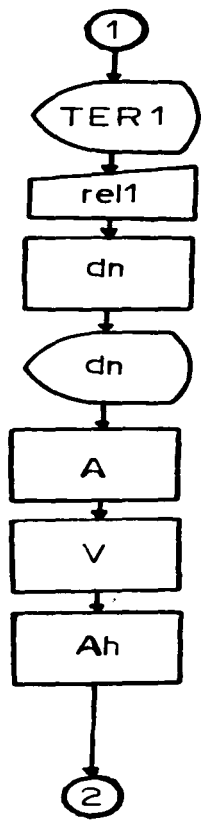
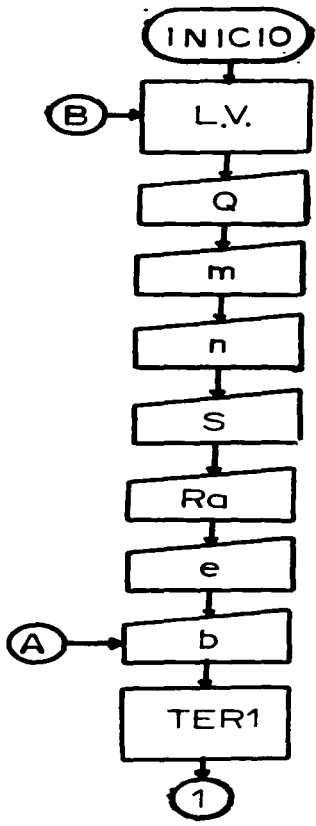
De la formula 53:

$$Ah = V^2 b / gR = 0.808^2 * 3 / (9.81 * 10) = 0.02 \text{ m}$$

Obteniendo el bordo libre total:

$$et = e + Ah = 10 \text{ cm} + 2 \text{ cm} = 12 \text{ cm.}$$

$$\underline{\underline{et = 0.12 \text{ m.}}}$$



```

5 b = dn - A = Ra - Ah - e - et = 0
10 INPUT "GASTO DEL CANAL"; Q
20 INPUT "TALUD DEL CANAL"; m
30 INPUT "C. RUGOSIDAD"; n
40 INPUT "PENDIENTE DEL CANAL"; S
50 INPUT "RADIO DE LA CURVA"; Ra
60 INPUT "BORDO LIBRE"; e
70 INPUT "BASE DEL CANAL"; b
80 Ter1 = (Q * n) / ((b ^ (S / 3)) * (S ^ (1 / 2)))
90 PRINT "Qn/b^S/3S^1/2"; Ter1
100 INPUT "VALOR DE LA GRAFICA"; rell
110 dn = rell * b
120 PRINT "EL TIRANTE NORMAL ES:"; dn
130 A = (b * dn) + (m * (dn ^ (2)))
140 V = Q / A
150 Ah = ((V ^ (2)) * b) / (9.81 * Ra)
160 et = Ah + e
170 PRINT "EL BORDO LIBRE TOTAL ES:"; et
180 INPUT "OTRA b 1-S, 2-N ?"; OPC
190 IF OPC = 1 GOTO 70
200 INPUT "OTRO CALCULO 1-S, 2-N ?"; OPC1
210 IF OPC1 = 1 GOTO 5
220 PRINT "FIN DEL PROGRAMA"
230 END

```

$$Q_n/b^{8/3}S^{1/2} = ((A2*C2)/((H2^{8/3}*(D2^{1/2}))))$$

$$TIR. \text{ NORMAL} = J2*H2$$

$$\text{AREA} = (H2*K2)+(B2*(K2^{(2)}))$$

$$\text{VELOCI.} = A2/L2$$

$$Ah = ((M2^{(2)})*H2)/(9.81*E2)$$

$$et = N2+G2$$

Hoja1

GASTO	TALLO	C. RUBRO	PENDIENTE	IMPORTE	EXP. DEV.	BONDO LINEA	BASE	Q _u /V _u /30°1/2	da/h	TOL. NOMINAL
10	1,5	0,016	0,00016	10,00	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	10,50	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	11,03	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	11,58	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	12,16	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	12,76	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	13,40	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	14,07	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	14,77	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	15,51	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	16,29	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	17,10	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	17,96	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	18,86	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	19,80	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	20,79	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	21,83	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	22,92	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	24,07	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	25,27	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	26,53	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	27,86	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	29,25	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	30,72	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	32,25	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	33,86	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	35,56	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	37,33	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04
10	1,5	0,016	0,00016	39,20	0,05	0,1	3	0,676	0,68	2,04

AREA	VELOC.	Alt.	Alt.
12,30	0,01	0,020	0,120
12,30	0,01	0,010	0,110
12,30	0,01	0,010	0,110
12,30	0,01	0,017	0,117
12,30	0,01	0,010	0,110
12,30	0,01	0,010	0,110
12,30	0,01	0,015	0,115
12,30	0,01	0,014	0,114
12,30	0,01	0,014	0,114
12,30	0,01	0,013	0,113
12,30	0,01	0,012	0,112
12,30	0,01	0,012	0,112
12,30	0,01	0,011	0,111
12,30	0,01	0,011	0,111
12,30	0,01	0,010	0,110
12,30	0,01	0,010	0,110
12,30	0,01	0,000	0,100
12,30	0,01	0,000	0,100
12,30	0,01	0,000	0,100
12,30	0,01	0,000	0,100
12,30	0,01	0,000	0,100
12,30	0,01	0,007	0,107
12,30	0,01	0,007	0,107
12,30	0,01	0,007	0,107
12,30	0,01	0,000	0,100
12,30	0,01	0,000	0,100
12,30	0,01	0,000	0,100
12,30	0,01	0,005	0,105
12,30	0,01	0,005	0,105

CAPITULO VII.

CAPITULO VII.- ARRASTRE DE SEDIMENTOS.

ASPECTOS FUNDAMENTALES.

Cualquier flujo por lo regular se encuentra expuesto a las condiciones naturales y/o atmosféricas, por lo que no es difícil pensar que existen contaminantes en dicho fluido, algunas veces son sedimentos pequeños y en otras son mayores que incluso llegan a dañar las obras Hidráulicas. La finalidad de este capítulo es la de proponer algunas obras que permitan remover dichos sedimentos, con la finalidad de que la obra sea funcional. Existen diferentes tipos de sedimentos y se puede ser muy riguroso en su remoción, dependiendo del tipo de uso que se le de al agua, como puede ser agua para riego o agua potable, en donde podemos observar que los procedimientos de tratado deben ser diferentes y en el último más riguroso.

A continuación presento una serie de alternativas para la remoción de sedimentos:

Pantallas de King.

En 1933, H. W. diseñó un dispositivo con pantallas curvadas en el lecho del canal, con las cuales se evitaría la entrada de mayor cantidad de sedimentos en una salida de agua, este dispositivo funciona con arreglo al principio de que el agua próxima al lecho del canal

principal contiene una carga relativamente elevada de sedimentos que, por lo tanto, debe desviarse y alejarse sin producir perturbaciones con un ángulo de unos 30° respecto a la dirección de la corriente.

Las dimensiones de las pantallas de sedimentos se dan el siguiente cuadro . En la figura VII.I se observan las dimensiones de X_1 , X_2 , y R , en función de la base del canal de salida. Así se determina la longitud y la posición de la pantalla mas larga y el esparcimiento entre ellas.

Anchura en metros del canal de salida = B_2		0,6	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,8
Para un efecto violento	Valor de X_1	1,2	1,5	1,6	1,8	2,1	2,4	2,4
	Valor de X_2	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,4	2,7
	Valor de R	9,0	10,5	12,0	12,0	13,5	13,5	15,0
Proyecto más económico (efecto menor)	Valor de X_1	0,9	1,2	1,2	1,5	1,5	1,8	1,8
	Valor de X_2	0,6	0,6	1,2	1,2	1,5	1,5	1,8
	Valor de R	7,5	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	10,5
Dimensiones mínimas aconsejadas	Valor de X_1	0,9	0,9	1,2	1,2	1,5	1,5	1,8
	Valor de X_2	0,6	0,6	0,9	1,2	1,5	1,5	1,8
	Valor de R	7,5	7,5	9,0	9,0	9,0	9,0	10,5

FIGURA VII.I

La altura de las pantallas es de un tercio a un cuarto de la profundidad del canal principal.

El espesor de las pantallas de mampostería es de 12 cm. para una altura de hasta 0.36 m. y para alturas mayores de 24 cm. . Sin embargo, para que sean eficaces, cuanto mas delgadas, mejor.

La anchura de los canales entre pantallas es normalmente de 1 ½ veces la altura de las mismas .

Los extremos aguas arriba de las pantallas mas allá de la línea oq (ver figura VII.III) deben terminarse con una pendiente de 1 en vertical y 3 en horizontal, en forma de V.

Los extremos aguas abajo de las pantallas deben ser verticales.

Los canales entre pantallas y las mismas pantallas deben estar enlucidos.

El lecho del canal principal cubierto por las pantallas , y en una longitud de 15 a 30 cm. aguas arriba de las mismas, debe llevar un encachado liso que debe quedar 15 cm. mas alto que el nivel del lecho con entarquinado normal. Los 4.5 m. aguas arriba del encachado deben construirse con un talud 1:10 .

El talud lateral del canal principal en el lado de la toma de salida ha de ir encachado hasta la longitud del suelo encachado.

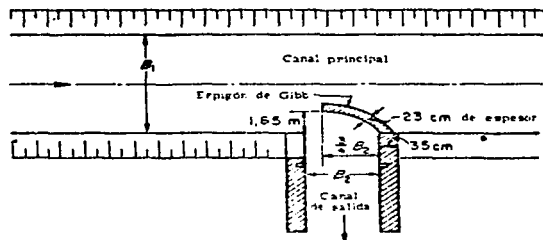
Espigón de Gibb.

El muro de espigón se utiliza en los casos en que el canal de salida, debido a su pendiente, tiene la misma capacidad de transporte de sedimentos que el canal principal. El espigón de Gibb asegura la distribución mas o menos proporcional de sedimentos al canal de salida.

El dispositivo es un muro vertical (como se muestra en la figura VII.IV) construido en el canal principal. Su altura desde el lecho del canal es igual a la profundidad de abastecimiento pleno mas la obra muerta . Arranca del extremo aguas arriba del estribo de salida y continua aguas arriba hasta el punto opuesto del extremo de la salida o hasta tres cuartos de la anchura de la salida.

No es necesario que su extremo aguas arriba sea tangente al eje de la corriente del canal principal ni que el extremo de aguas abajo sea tangente al estribo aguas abajo del canal de salida.

Normalmente el espigón de Gibb se prolongaría suficientemente para captar una porción suficiente de la descarga del canal principal a fin de mantener lleno el canal de salida cuando el canal principal llevase el mínimo nivel de abastecimiento. La magnitud de la prolongación dependería también de las velocidades reales existentes cerca de la cabecera de salida.



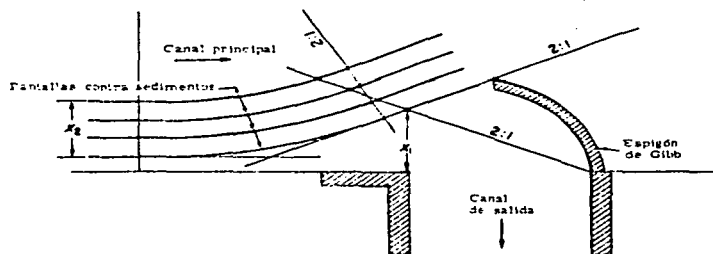
Espigón de Gibb, disposición general

FIGURA VII.IV.

Aleta curvada con pantallas separadoras de sedimentos.

Cuando una aleta curvada no produce por si sola un efecto lo bastante energético como para controlar la entrada de sedimentos en el canal de salida, pueden añadirse las pantallas de King con objeto de mejorar el rendimiento de la aleta curvada. En este caso, la aleta curvada se termina en la línea 2:1 de la pantalla mas larga.

El diseño de las pantallas de King se puede observar en la figura VII.V que muestra una disposición utilizando las pantallas de King y una aleta curvada.



Aleta curvada con pantallas de sedimentos, disposición general.

FIGURA VII.V.

Plataforma contra sedimentos.

Una plataforma de sedimentos consiste en una losa horizontal , normalmente de hormigón armado apoyada sobre pilares a un nivel conveniente, para excluir el agua del fondo fuertemente cargada de sedimentos y desechos.

El dispositivo solo es adecuado para canales principales profundos.

Existen dos variedades de este dispositivo:

- a) Una plataforma sencilla.**
- b) Nivel de la plataforma.**

Por consideraciones de orden practico, la altura de los túneles debe ser de 0.6 a 0.9 mts. a fin de que los acarrees dispersos puedan pasar por los túneles sin obstruirlos.

Otras cuestiones que hay que tener en cuenta son la necesidad de rechazar la mayor cantidad de agua del fondo y de que haya suficiente agua superior para llenar la salida.

Anchura de la plataforma. La plataforma debe tener la anchura necesaria para conducir una cantidad de agua que permita llenar la salida con un 25% sobrante.

El borde aguas abajo de la plataforma es conveniente que forme un ángulo de 60o con el eje del canal principal, así como el borde aguas arriba.

El borde aguas arriba de la plataforma en el extremo del canal principal puede estar 1.5 m. aguas arriba del borde aguas arriba de la salida.

Suponiendo que no sea posible conseguir una mayor anchura, bastara con que sea igual a la profundidad del canal principal.

La velocidad media lateral (cerca de la salida) de la parte alta de la corriente de agua en el canal principal debe ser igual a la correspondiente en el canal de salida.

El pilar que sostiene la losa debe inclinarse con una pendiente de 1 en vertical por 3 en horizontal en su extremo aguas arriba. La parte en pendiente debe comenzar 0.3 m. mas allá del borde de la plataforma . El suelo situado bajo los túneles, así como los laterales deben ir ensanchados. La longitud del suelo encachado debe estar comprendida entre 15 y 30 mts.

En las figuras VII.VI y VII.VII, muestro los elementos que forman a una plataforma.

FIGURA VII.VI.

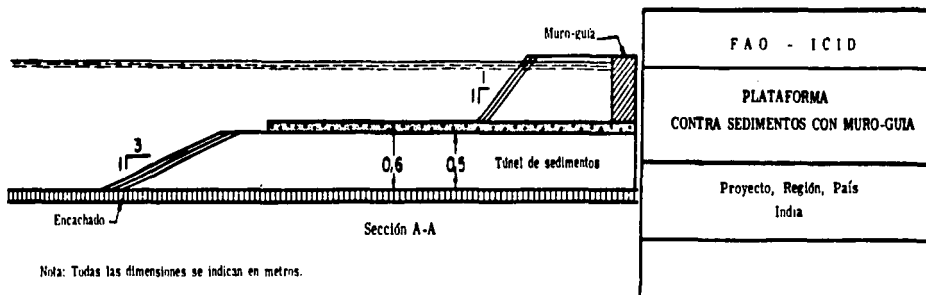
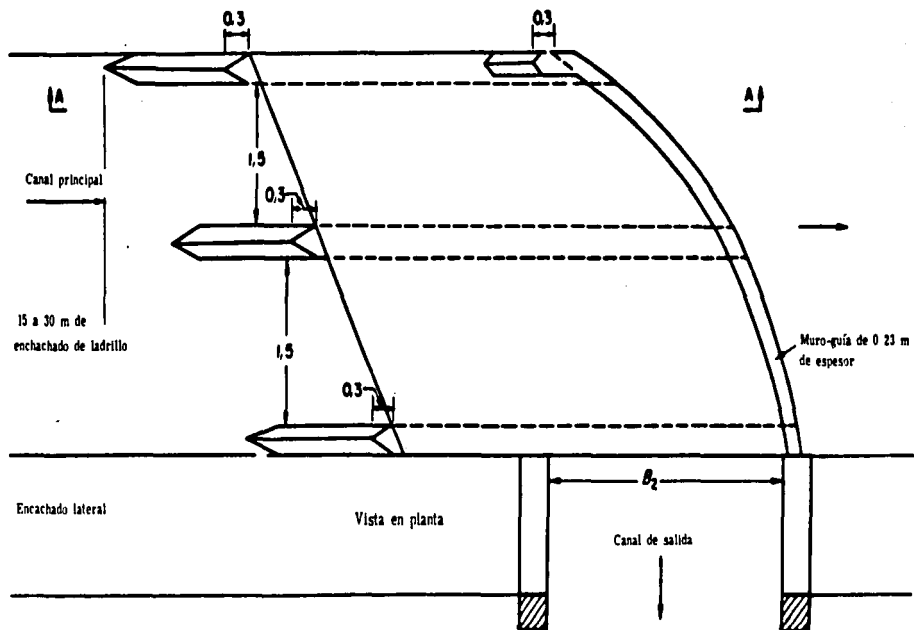
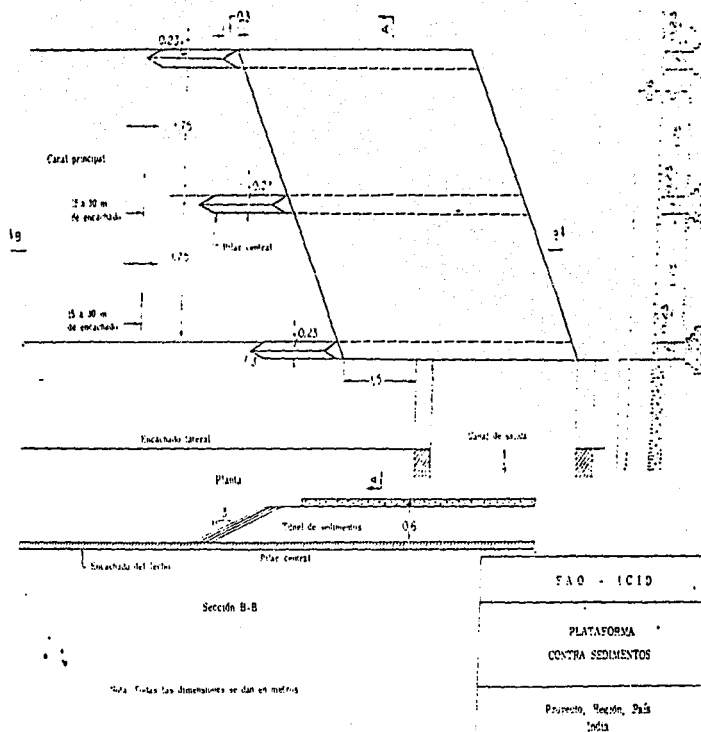


FIGURA VII.VII



PROBLEMA VII.I.- Proyectar pantallas de King para una cabecera de toma con los siguientes datos:

	canal principal	canal salida
Q (m³/s)	5	1
B (m)	6	3
y (m)	1.2	0.6

Solución.

Los valores X_1 , X_2 , y R tomados del cuadro son, para el caso de que se recomiendan valores mínimos, $X_1 = 1.5$ m, $X_2 = 1.5$ m., y $R = 9.0$ m..

Altura de las pantallas $1/3$ a $1/4$ de $Y_1 = 0.4$ a 0.3 m., se adopta 0.3 m.

Espesor de las pantallas de mampostería = 12 cm.

Anchura del canal entre las pantallas = $3/2 * 0.3 = 0.45$ m., número de pantallas $1.5/0.45 + 1$, es decir, 4 .

PROBLEMA VII.II.- Proyectar espigón de Gibb para una cabecera de toma con los siguientes datos:

	canal principal	canal de salida
Q (m ³ /s)	5.0	1.0
B (m)	6.0	3.0
v (m/s)	1.0	-
v cerca de la salida	0.8	

Considerar un 10% de descarga adicional para llenar el acceso de salida.

La anchura que hay que dar al canal principal para derivar 1m³/s en la salida será de $(1.1/5) * 0.6 * (1/0.8)$
= 1.65 m..

PROBLEMA VII.III.- Proyectar una plataforma contra sedimentos para un canal de salida partiendo de los datos siguientes:

- a) Velocidad media observada en el canal principal cuando lleva la descarga mínima de 0.6 m/s.
- b) Descarga a pleno abastecimiento del canal de salida de 1 m³/s.
- c) Profundidad del canal de salida a pleno abastecimiento 0.6 m.

Solución.

La plataforma contra sedimentos debe permitir el paso sobre ella de una descarga $1.0 \text{ m}^3/\text{s} + 25\% = 1.25 \text{ m}^3/\text{s}$. la anchura de la plataforma situada a 0.6 m. por debajo del nivel del agua de descarga mínima en el canal principal = $1.25 / 0.6 * 0.6 = 3.47 \text{ m.}$, es decir, 3.5 m.

La plataforma debe apoyarse sobre pilares de 23 cm. de espesor. El lecho va encachado, así como los laterales; cada uno en una longitud de 15 m.

ANEXOS

FORMULARIO:

ANEXO I.

Velocidad de Manning $V = 1/n R^{2/3} S^{1/2}$	1
Velocidad de Manning $V = c (RS)^{1/2}$	2
Coefficiente de Velocidad de Bazin. $c = 1 / (\alpha + \beta/R)$	3
Coefficiente de Velocidad de Bazin. $c = 87 / (1 + \gamma/R^{1/2})$	4
Coefficiente de Velocidad de Kutter. $c = 100(R)^{1/2} / (m + R^{1/2})$	5
Coefficiente de Velocidad de Manning. $c = 1/n R^{1/6}$	6
Coefficiente de Velocidad de Koseny. $c = 20 \log D + Nc$	7
Condición de Máxima Eficiencia. $R = d/2$	8
Relación tirante, base. $x = d/b$	9
Factor de Descarga en Canales de Sección Trapecial $K = (1/x + z)^{5/3} / (1/x + 2(1+z^2)^{2/3})$	10
Factor de Descarga en Canales de Sección Rectángular. $K = (1/x)^{5/3} / (1/x + 2)^{2/3}$	11
Condición para Afinar el Tirante Normal en Canales de Sección Rectángular y Trapecial.. $Qn / b^{8/3} S^{1/2} = AR^{2/3}/b^{8/3}$	12

Valor para encontrar el Tirante Critico en Canales de Sección Trapecial. $Qk^{3/2} / b^{5/2} g^{1/2}$	13
Relación para determinar en Tirante Critico en Canales de Sección Trap. kdc/b	14
Condición para Afinar el Tirante Critico en Canales de Sección Trapecial. $Q^2/g = Ac^3/Bc$	15
Valor para encontrar el Tirante Critico en Canales de Sección Circular. $Q/g^{1/2} / D^{5/2}$	16
Relación para determinar el Tirante Critico en Canales de Sección Circular. dc / D	17
Condición para Afinar el Tirante Critico en Canales de Sección Circular. $Q/g^{1/2} = Ac^{3/2}/Bc^{1/2}$	18
Formula para determinar el Tirante critico en Canales de Sección Trap. $dc = (Q^2 / B^2g)^{1/3}$	19
Energía Potencial. $Ep = d$	20
Energía Cinética. $Ek = V^2/2g$	21
Energía Especifica. $Ee = Ep + Ek$	22
Numero de Froude.. $Fr_1 = V_1 / (gY_1)^{1/2}$	23
$Fr_2 = V_2 / (gY_2)^{1/2}$	24
$F1m = Q / (g^{1/2} k Y_1^{5/2})$	25
$F2m = Q / (g^{1/2} k Y_2^{5/2})$	26
Valor Gráfico que determina la relación Y2/Y1. $t_1 = b / kY_1$	27

Valor Gráfico para determinar la Relación Y1/Y2. $t_2 = b / kY_2$	28
Relación de Tirantes. $d_2/d_1 = 0.5 ((1+8Fr_1^2)^{1/2} - 1)$	29
Tirante Subcrítico. $d_2 = d_1/2 ((1+8Fr_1^2)^{1/2} - 1)$	30
Tirante Supercrítico. $d_1 = d_2/2 ((1+8Fr_2^2)^{1/2} - 1)$	31
Longitud del Salto. $L = 5Y_2 (1 + 4((Y_2-Y_1)/Y_1)^{1/2})$	32
Flujo Gradualmente Variado. $AE/AX = A(y + (V^2/2g)) / AX$	33
Flujo Gradualmente Variado. $AE/AX = S_0 - (n^2V^2/\phi^2R^{4/3})$	34
Flujo Gradualmente Variado. $AE = Ay(1-F^2)$	35
Flujo Gradualmente Variado. $M = 3(1 + 2z(Y/b))^2 - 2z(Y/b)(1 + z(Y/b)) / (1 + 2z(Y/b))(1 + z(y/b))$	36
Flujo Gradualmente Variado. $N = 10(1 + 2z(Y/b)) / 3(1 + z(Y/b)) - 8(Y/b)(1 + z^2)^{1/2} / 3(1 + 2(Y/b)(1 + z^2)^{1/2})$..37	
Flujo Gradualmente Variado. $V = U^{N/J}$	38
Flujo Gradualmente Variado. $J = N / (N-M+1)$	39
Flujo Gradualmente Variado. $A = dn/ S_0$	40
Flujo Gradualmente Variado. $B = (dc/dn)^M (J/N)$	41

Flujo Gradualmente Variado.	
$AX = A((U_2 - U_1) - (F_{UN_2} - F_{UN_1})) + B(F_{VJ_2} - F_{VJ_1})$	42
Calculo de la Transición.	
$E_f = Y_f + Q^2 / 2gb_f^2 Y_f^2$	43
Calculo de la Transición.	
$E_f = E_{ch} - A_{zo} + hL$	44
Calculo de la Transición.	
$E_{ch} = Y_{ch} + Q^2 / 2gA_{ch}^2$	45
Calculo de la Transición.	
$hL = K((U_f^2 - U_{ch}^2) / 2g)$	46
Longitud de la Transición.	
$L = 2.35 (bc - bf) + 1.65(m_o Y_{ch})$	47
Coefficiente para determinar la base de la transición.	
$\lambda = 0.80 - 0.26(m_o) / 2$	48
Base de la Transición.	
$b = bf + (bc - bf) (x/L) (1 - (1 - x/L)^2)$	49
Talud de la Transición.	
$m = m_o (1 - (1 - x/L)^{1/2})$	50
Distancia al medidor.	
$A_z = A_{zo} / L (x)$	51
Distancia media al medidor.	
$A_{zi} = A_{zo} / L (x_2 - x_1)$	52
Bordo libre Mínimo en Canales irregulares en su topografía.	
$A_h = V^2 b / gR$	53

TABLAS.

ANEXO II.

ELEMENTOS GEOMETRICOS.

SECCION	RECTANGULAR	TRAPECIAL
AREA	$b \cdot d$	$(b \cdot d) + (m \cdot d^2)$
PERIMETRO	$b + 2 \cdot d$	$b + (2 \cdot d \cdot (1 + m^2)^{1/2})$
RADIO	A/P	A/P
SUPERFICIE LIBRE (BASE CRITICA)	b	$b + (2 \cdot m \cdot d)$

TABLA 1

TABLA QUE DETERMINA EL VALOR DE C EN LA FORMULA DE BAZIN.

$$c = 1 / (\alpha + \beta/R)$$

$$V = RS / (\alpha + \beta/R)$$

CANALES DE PAREDES	$\alpha + \beta$	$\alpha + (\beta/R)$	γ
Muy lisas en cemento o en madera cepillada.	$\alpha = 0.00015$ $\beta = 0.0000045$	$0.00015(1 + 0.03/R)$	0.06
Lisas (piedra tallada, ladrillo o madera sin pulir).	$\alpha = 0.00019$ $\beta = 0.0000133$	$0.00019(1 + 0.07/R)$	0.16
Poco lisas (Mamp. Ord.)	$\alpha = 0.00024$ $\beta = 0.00006$	$0.00024(1 + 0.25/R)$	0.46
De tierra	$\alpha = 0.00028$ $\beta = 0.00035$	$0.00028(1 + 1.25/R)$	0.85 1.30 1.75
Cubiertas de cantos o Grava.	$\alpha = 0.00040$ $\beta = 0.00070$	$0.00040(1 + 1.75/R)$	2.50

Otra formula es:

$$c = 87 / (1 + \gamma/(R)1/2)$$

TABLA 2.

Valores del coeficiente c de acuerdo con la Fórmula de Bazin

$$c = \frac{87}{1 + \frac{S}{\sqrt{R}}}$$

R m	Valores de S					
	0,06	0,10	0,15	0,25	1,30	1,75
0,08	63,5	50,7	28,5	18,1	12,8	9,9
0,10	73,1	37,7	35,5	23,6	17,0	11,3
0,15	75,3	61,5	30,7	37,2	19,9	15,8
0,20	76,7	64,1	42,9	30,0	22,3	17,7
0,25	77,7	65,9	45,3	32,2	24,2	19,3
0,30	74,4	67,3	47,3	34,1	25,5	20,7
0,35	79,0	68,5	48,9	35,7	27,2	22,0
0,40	79,4	69,4	50,4	37,1	28,5	23,1
0,45	79,0	70,2	51,6	38,6	29,6	24,1
0,50	80,2	70,9	52,7	39,8	30,6	25,0
0,55	80,4	71,5	53,7	40,5	31,0	25,9
0,60	80,7	72,0	54,6	41,4	32,5	26,7
0,65	80,9	72,6	55,4	42,3	33,1	27,4
0,70	81,2	73,0	56,1	43,1	34,1	28,1
0,75	81,5	73,3	56,8	43,9	34,0	28,8
0,80	81,8	73,8	57,4	44,6	35,4	29,4
0,85	81,7	74,1	58,0	45,2	36,1	30,1
0,90	81,8	74,4	58,6	45,9	36,7	30,6
0,95	81,9	74,7	59,1	46,5	37,3	31,1
1,00	82,0	75,0	59,6	47,0	37,8	31,6
1,20	82,5	75,9	61,3	49,0	39,8	33,5
1,40	82,8	76,6	62,6	50,6	41,4	35,1
1,60	83,0	77,2	63,8	52,0	42,8	36,5
1,80	83,3	77,7	64,8	53,2	44,2	37,7
2,00	83,1	78,1	65,6	54,3	45,3	38,9
2,40	83,7	78,8	67,1	56,2	47,3	40,8
2,80	83,9	79,3	68,2	57,7	48,9	42,5
3,20	84,0	79,6	68,7	59,3	49,7	43,3
3,50	84,3	80,1	69,8	59,8	51,3	45,0
4,00	84,4	80,5	70,7	61,0	52,7	46,4
4,50	84,6	80,9	71,4	62,1	53,0	47,6
5,00	84,7	81,2	72,1	63,0	53,0	48,5
10,00	85,4	82,8	75,0	68,6	61,7	56,0
15,00	85,7	83,5	77,8	71,3	65,1	59,9

TABLA 3.

VALORES DE m , EN LA FORMULA DE KUTTER.

TIPO DE CANAL	m
Canaletas semicircular de cemento liso	0.12
Canales con paredes de cemento liso.	0.15
Canales de concreto armado.	0.20
Canales con paredes de tabla sin cepillar.	0.27
Canales con paredes de mampostería.	0.45
Canales con paredes de mampostería sin juntear.	0.55
Canales pequeños en rocas, canales regulares en tierra	1.25 - 1.50
Canales en tierra con grava y plantas acuáticas.	1.75 - 2.00
Canales de tierra mal conservados.	2.50

TABLA 4.

VALORES DE m , EN LA FORMULA DE KUTTER.

TIPO DE CANAL	m
Canaletas semicircular de cemento liso	0.12
Canales con paredes de cemento liso.	0.15
Canales de concreto armado.	0.20
Canales con paredes de tabla sin cepillar.	0.27
Canales con paredes de mampostería.	0.45
Canales con paredes de mampostería sin juntear.	0.55
Canales pequeños en rocas, canales regulares en tierra	1.25 - 1.50
Canales en tierra con grava y plantas acuáticas.	1.75 - 2.00
Canales de tierra mal conservados.	2.50

TABLA 4.

Valores del coeficiente c de acuerdo con la fórmula de Kutter

$$c = \frac{149 \sqrt{R}}{m + \sqrt{R}}$$

R	Valores de m :										
	0,12	0,15	0,20	0,25	0,35	0,45	0,55	0,75	1,00	1,50	2,00
0,05	63,1	59,0	55,9	53,5	50,0	47,2	45,0	42,7	40,3	37,9	35,5
0,10	72,5	67,8	64,2	61,9	57,5	54,5	52,1	49,7	47,2	44,7	42,2
0,15	79,3	74,0	70,0	67,5	62,5	59,5	57,0	54,5	52,0	49,5	47,0
0,20	83,9	78,9	75,0	72,5	67,0	64,0	61,5	59,0	56,5	54,0	51,5
0,25	87,4	82,7	78,7	76,0	70,0	67,0	64,5	62,0	59,5	57,0	54,5
0,30	90,1	85,7	81,5	78,7	72,5	69,5	67,0	64,5	62,0	59,5	57,0
0,35	92,1	87,9	83,7	80,9	74,5	71,5	69,0	66,5	64,0	61,5	59,0
0,40	93,6	89,5	85,3	82,5	76,0	73,0	70,5	68,0	65,5	63,0	60,5
0,45	94,7	90,7	86,5	83,7	77,0	74,0	71,5	69,0	66,5	64,0	61,5
0,50	95,5	91,6	87,4	84,6	78,0	75,0	72,5	70,0	67,5	65,0	62,5
0,55	96,1	92,3	88,1	85,3	79,0	76,0	73,5	71,0	68,5	66,0	63,5
0,60	96,6	92,9	88,7	85,9	79,5	76,5	74,0	71,5	69,0	66,5	64,0
0,65	97,0	93,4	89,2	86,4	80,0	77,0	74,5	72,0	69,5	67,0	64,5
0,70	97,4	93,9	89,7	86,9	80,5	77,5	75,0	72,5	70,0	67,5	65,0
0,75	97,7	94,3	90,1	87,3	81,0	78,0	75,5	73,0	70,5	68,0	65,5
0,80	98,0	94,7	90,5	87,7	81,5	78,5	76,0	73,5	71,0	68,5	66,0
0,85	98,3	95,1	90,9	88,1	82,0	79,0	76,5	74,0	71,5	69,0	66,5
0,90	98,5	95,4	91,2	88,4	82,5	79,5	77,0	74,5	72,0	69,5	67,0
0,95	98,7	95,7	91,5	88,7	83,0	80,0	77,5	75,0	72,5	70,0	67,5
1,00	98,9	96,0	91,8	89,0	83,5	80,5	78,0	75,5	73,0	70,5	68,0
1,05	99,1	96,3	92,1	89,3	84,0	81,0	78,5	76,0	73,5	71,0	68,5
1,10	99,2	96,5	92,3	89,5	84,5	81,5	79,0	76,5	74,0	71,5	69,0
1,15	99,3	96,7	92,5	89,7	85,0	82,0	79,5	77,0	74,5	72,0	69,5
1,20	99,4	96,9	92,7	89,9	85,5	82,5	80,0	77,5	75,0	72,5	70,0
1,25	99,5	97,1	92,9	90,1	86,0	83,0	80,5	78,0	75,5	73,0	70,5
1,30	99,6	97,3	93,1	90,3	86,5	83,5	81,0	78,5	76,0	73,5	71,0
1,35	99,7	97,5	93,3	90,5	87,0	84,0	81,5	79,0	76,5	74,0	71,5
1,40	99,8	97,7	93,5	90,7	87,5	84,5	82,0	79,5	77,0	74,5	72,0
1,45	99,9	97,9	93,7	90,9	88,0	85,0	82,5	80,0	77,5	75,0	72,5
1,50	100,0	98,1	93,9	91,1	88,5	85,5	83,0	80,5	78,0	75,5	73,0

TABLA 5.

Valores del coeficiente n y de su inverso $\frac{1}{n}$ aplicables a las Fórmulas de
Ganguillet y Kutter y de Manning
Según datos experimentales de Horton (año 1916)

Naturaleza de las paredes	n	$\frac{1}{n}$
Canaletas de madera muy bien cepilladas	0,009	111,1
Canales entücidos de cemento muy lisos; conductos nuevos de material vitro y hierro	0,010	100
Canales o conductos revocados con mortero de cemento; conductos de hierro sin asperezas; canaletas semicirculares de chapa de hierro galvanizado (sin salientes)	0,011	90,9
Canaletas de madera sin cepillar	0,012	83,3
Conductos de chapas metálicas de 1 a 3 m de diámetro, con juntas remanecidas	0,013	76,9
Mampostería de ladrillo de máquina bien terminada sin salientes; idem de piedra labrada; conductos de barro cocido y de hornón premoldeados	0,014	71,4
Hormigón moldeado en el lugar	0,016	62,5
Mampostería de piedras de cantera, caras lisas	0,017	58,8
Conductos de chapas acanaladas de hierro galvanizado, sección circular y semicircular; revestimiento de piedras en seco bien terminado	0,020	50,0
Canaletas de roca y grava compacta; paredes lisas; Canales de puzosilla o grava alfirmada, sección regular	0,021	47,6
Canales revestidos con piedras en seco partidas a mazo	0,023	43,5
Canales de tierra sin vegetación y con ripio suelto	0,025	40,0
Ríos de poca pendiente y mucho esudal	0,027	37,0
Canales de tierra con alguna vegetación y ripio (canales de irrigación en servicio)	0,030	33,3
Canales excavados en roca compacta, libre de salientes grandes	0,032	31,2
Canales y ríos con piedras sueltas y vegetación	0,037	27,0
Canales de roca granítica o esquistosa, paredes sin alisar	0,040	25,0
Ríos con plantas acuáticas y gran vegetación	0,041	24,4
Canales de desagüe en servicio	0,045	22,2
Canales de desagüe con mucha vegetación, fondo y taludes irregulares	0,050	20,0
	n	$\frac{1}{n}$
Zonas inundadas entre endicamientos con terreno desmontado, con raigones (ancho 400 m. radio medio 1,50 a 1,60 m.)	0,048	20,8
Idem, pero en terreno cubierto con monte natural	0,078	12,8

TABLA 6.

VALORES DE C DE LA FORMULA DE KUTTER Y GANGUILLET

Pendiente S	n	Radio hidráulico R en metros														
		0.06	0.07	0.12	0.18	0.24	0.30	0.45	0.60	0.75	0.90	1.20	1.80	2.40	3.00	4.50
0.0005	0.010	48	54	60	68	73	77	85	91	95	98	103	110	114	118	121
	0.012	38	43	49	54	59	62	70	75	78	82	87	93	97	100	104
	0.015	29	32	36	42	46	49	55	59	62	65	70	76	80	83	88
	0.017	24	28	31	36	40	43	47	51	54	57	62	67	71	74	78
	0.020	19	23	25	29	33	35	40	44	46	49	52	58	61	64	68
	0.025	14	17	19	23	25	27	31	34	36	39	43	47	51	53	57
	0.030	12	14	15	18	20	22	26	28	30	32	36	41	43	46	50
0.0001	0.010	54	60	65	72	77	81	87	92	95	98	103	108	112	114	117
	0.012	42	47	52	58	62	66	72	76	79	82	86	91	94	96	99
	0.015	31	35	40	45	49	51	57	60	63	65	69	74	77	79	83
	0.017	26	30	34	39	41	44	49	52	55	57	61	65	69	71	75
	0.020	21	25	28	31	35	37	41	45	47	49	52	56	59	61	65
	0.025	15	19	21	24	26	28	33	35	37	39	43	46	49	51	54
	0.030	13	15	17	19	22	23	26	29	30	33	35	40	41	44	47
0.0002	0.010	58	63	69	76	80	83	89	93	96	98	102	107	109	112	114
	0.012	46	51	55	61	65	68	73	77	79	82	85	89	92	94	97
	0.015	34	38	42	46	50	53	58	61	63	65	68	73	76	77	80
	0.017	29	32	36	40	43	46	51	54	55	57	61	65	67	69	72
	0.020	23	26	29	33	36	38	42	45	47	49	52	55	58	60	62
	0.025	17	19	22	25	28	30	33	36	38	39	42	46	47	50	52
	0.030	14	15	18	20	22	24	27	29	31	33	35	38	41	43	45
0.0004	0.010	61	67	71	77	82	84	91	94	96	98	102	106	108	110	112
	0.012	48	52	57	62	66	69	74	78	80	82	84	89	91	93	95
	0.015	35	40	43	48	51	54	59	62	63	65	68	72	74	76	78
	0.017	30	34	38	41	44	46	51	54	56	57	61	64	66	68	71
	0.020	24	28	30	34	37	39	43	46	47	49	52	55	57	59	61
	0.025	18	20	23	26	28	30	33	36	38	39	41	45	47	49	51
	0.030	14	17	18	21	23	24	28	30	31	33	35	38	40	41	44
0.001	0.010	62	68	73	79	83	86	91	95	97	98	102	105	108	109	111
	0.012	49	54	58	63	67	70	75	78	80	82	85	88	91	92	94
	0.015	36	41	44	49	52	54	59	62	64	66	68	72	73	75	78
	0.017	30	35	38	42	45	47	51	54	56	58	61	63	66	67	70
	0.020	25	28	31	34	38	39	43	46	48	49	51	54	57	58	60
	0.025	18	21	24	26	29	30	34	36	38	39	41	45	46	48	50
	0.030	15	17	19	21	23	25	28	30	31	33	35	38	40	41	43
0.01	0.010	63	69	73	79	83	86	91	95	97	98	102	105	107	108	110
	0.012	49	55	59	64	67	71	75	78	80	82	85	88	90	92	94
	0.015	37	42	45	49	52	55	59	62	64	66	68	71	73	75	77
	0.017	31	35	38	43	45	47	51	54	57	58	61	63	65	67	70
	0.020	25	29	31	35	38	40	43	46	48	49	51	54	56	58	60
	0.025	19	22	24	27	29	31	34	36	38	39	41	44	46	47	50
	0.030	15	17	19	22	24	25	28	30	32	33	35	37	39	40	43

TABLA 7.

VALOR DE N_c EN LA ECUACIÓN DE KOSENY.

$$c = 20 \log D + N_c$$

$$D = A/T$$

Secciones Abiertas (Canales)	N_c
Mampostería de ladrillo bien acabado.	70 - 76
Cemento Pulido	84 - 90
Concreto Rugoso.	58 - 62
Piedra Braza Bien Acabada.	60 - 70
Roca Acomodada.	36 - 50
Roca a Volteo.	28 - 36
Grava Gruesa (10 a 15 cm.)	32 - 38
Grava Media (5 a 10 cm.)	38 - 42
Grava Fina (2 - 3 cm.)	42
Cantos Rodados.	28 - 32

TABLA 8.

VALORES DEL FACTOR DE DESCARGA K EN $Q = (K/n)^{2/3} S^{1/2}$
 PARA CANALES TRAPEZOIDALES

(n = profundidad de la corriente, b = anchura de la solera del canal)

Pendientes de los lados de la sección del canal (horizontal a vertical)

p/b	Vertical	1:1	1 1/2:1	2:1	3:1	4:1	5:1	6:1	7:1	8:1	9:1	10:1
0.01	98.7	99.1	99.3	99.6	99.8	100.1	100.4	100.6	100.9	101.3		
0.02	48.7	49.1	49.4	49.6	49.8	50.1	50.4	50.7	50.9	51.3		
0.03	32.0	32.4	32.7	33.0	33.2	33.5	33.8	34.1	34.3	34.7		
0.04	23.8	24.1	24.4	24.6	24.8	25.2	25.4	25.7	26.0	26.4		
0.05	18.8	19.1	19.4	19.7	19.9	20.2	20.5	20.8	21.0	21.5		
0.06	15.5	15.8	16.1	16.4	16.6	16.9	17.2	17.5	17.7	18.2		
0.07	13.12	13.46	13.73	14.0	14.2	14.5	14.8	15.1	15.3	15.9		
0.08	11.31	11.64	11.98	12.18	12.38	12.72	13.06	13.33	13.59	14.13		
0.09	9.96	10.30	10.57	10.83	11.04	11.37	11.71	11.98	12.25	12.79		
0.10	8.48	8.92	9.49	9.59	9.96	10.30	10.57	10.90	11.17	11.71		
0.11	7.96	8.30	8.59	8.82	9.03	9.35	9.69	10.03	10.30	10.83		
0.12	7.22	7.56	7.84	8.03	8.28	8.61	8.95	9.29	9.56	10.09		
0.13	6.70	6.92	7.21	7.34	7.65	8.01	8.34	8.61	8.95	9.49		
0.14	6.26	6.39	6.67	6.80	7.11	7.47	7.81	8.08	8.41	9.02		
0.15	5.60	5.92	6.20	6.24	6.65	7.00	7.34	7.67	7.94	8.55		
0.16	5.20	5.52	5.79	6.03	6.24	6.60	6.92	7.23	7.54	8.14		
0.17	4.84	5.16	5.44	5.67	5.88	6.25	6.58	6.88	7.19	7.81		
0.18	4.53	4.85	5.12	5.36	5.57	5.93	6.26	6.57	6.87	7.47		
0.19	4.25	4.56	4.84	5.07	5.28	5.65	5.98	6.29	6.59	7.20		
0.20	4.00	4.31	4.58	4.82	5.03	5.39	5.72	6.04	6.35	6.93		
0.22	3.57	3.88	4.15	4.38	4.59	4.95	5.29	5.61	5.92	6.52		
0.24	3.21	3.51	3.78	4.01	4.22	4.59	4.93	5.24	5.56	6.18		
0.26	2.91	3.21	3.47	3.71	3.92	4.29	4.62	4.95	5.26	5.88		
0.28	2.66	2.95	3.21	3.45	3.65	4.02	4.36	4.68	5.00	5.63		
0.30	2.44	2.73	2.99	3.22	3.43	3.80	4.14	4.46	4.78	5.41		
0.32	2.25	2.54	2.79	3.02	3.23	3.60	3.94	4.27	4.59	5.22		
0.34	2.08	2.36	2.62	2.85	3.06	3.43	3.77	4.10	4.41	5.05		
0.36	1.94	2.21	2.47	2.70	2.90	3.28	3.62	3.94	4.27	4.90		
0.38	1.80	2.08	2.34	2.56	2.77	3.14	3.48	3.81	4.13	4.77		
0.40	1.69	1.97	2.21	2.44	2.64	3.01	3.36	3.69	4.01	4.65		
0.42	1.59	1.86	2.11	2.33	2.54	2.91	3.25	3.58	3.90	4.54		
0.44	1.49	1.76	2.01	2.23	2.44	2.81	3.15	3.48	3.81	4.44		
0.46	1.41	1.67	1.92	2.14	2.34	2.72	3.06	3.39	3.71	4.35		
0.48	1.33	1.59	1.83	2.06	2.26	2.63	2.98	3.31	3.63	4.27		
0.50	1.26	1.52	1.76	1.98	2.19	2.56	2.90	3.24	3.56	4.20		
0.55	1.11	1.36	1.59	1.82	2.02	2.39	2.74	3.08	3.41	4.04		
0.60	0.983	1.23	1.46	1.68	1.88	2.25	2.60	2.93	3.26	3.90		
0.70	0.794	1.03	1.26	1.47	1.67	2.04	2.39	2.72	3.05	3.69		
0.80	0.661	0.882	1.10	1.31	1.51	1.88	2.23	2.56	2.89	3.54		
0.90	0.549	0.774	0.989	1.20	1.39	1.76	2.11	2.44	2.77	3.42		
1.00	0.451	0.686	0.898	1.10	1.30	1.66	2.01	2.34	2.67	3.32		
1.20	0.354	0.583	0.787	0.982	1.16	1.52	1.86	2.20	2.53	3.18		
1.40	0.293	0.476	0.672	0.868	1.06	1.42	1.76	2.10	2.43	3.08		
1.60	0.240	0.415	0.604	0.794	0.983	1.35	1.69	2.02	2.35	2.99		
1.80	0.201	0.367	0.552	0.740	0.929	1.29	1.63	1.96	2.29	2.93		
2.00	0.171	0.330	0.511	0.700	0.882	1.24	1.58	1.91	2.24	2.89		
2.25	0.143	0.295	0.471	0.655	0.834	1.19	1.53	1.86	2.19	2.84		

* Valores tomados de King de *Handbook of Hydraulics*, 4ª ed., McGraw-Hill Co.

TABLA 9.

VALORES DEL FACTOR DE DESCARGA K' EN $Q = (K'/n)b^{8/3}S^{1/2}$
 PARA CANALES TRAPEZOIDALES

(n = profundidad de la corriente, b = anchura de la solera del canal)

Pendientes de los lados de la sección del canal (horizontal a vertical)

y/b	Vertic- al	1:1	3:1	4:1	5:1	6:1	7:1	8:1	9:1	10:1	12:1	15:1	20:1	30:1	40:1
0.01	0.00046	0.00046	0.00046	0.00046	0.00046	0.00046	0.00046	0.00046	0.00046	0.00046	0.00046	0.00046	0.00046	0.00046	0.00046
0.02	0.00143	0.00145	0.00145	0.00145	0.00145	0.00145	0.00145	0.00145	0.00145	0.00145	0.00145	0.00145	0.00145	0.00145	0.00145
0.03	0.00279	0.00282	0.00285	0.00285	0.00287	0.00288	0.00291	0.00293	0.00293	0.00293	0.00293	0.00293	0.00293	0.00293	0.00293
0.04	0.00444	0.00451	0.00457	0.00457	0.00461	0.00465	0.00467	0.00471	0.00471	0.00471	0.00471	0.00471	0.00471	0.00471	0.00471
0.05	0.00637	0.00649	0.00659	0.00659	0.00667	0.00674	0.00677	0.00681	0.00681	0.00681	0.00681	0.00681	0.00681	0.00681	0.00681
0.06	0.00855	0.00875	0.00888	0.00888	0.00902	0.00915	0.00929	0.00949	0.00949	0.00949	0.00949	0.00949	0.00949	0.00949	0.00949
0.07	0.01090	0.01117	0.01144	0.01144	0.01164	0.01178	0.01211	0.01231	0.01231	0.01231	0.01231	0.01231	0.01231	0.01231	0.01231
0.08	0.01346	0.01399	0.0142	0.0142	0.0145	0.0147	0.0151	0.0155	0.0155	0.0155	0.0155	0.0155	0.0155	0.0155	0.0155
0.09	0.0162	0.0168	0.0172	0.0172	0.0176	0.0180	0.0185	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190
0.10	0.0191	0.0198	0.0205	0.0205	0.0209	0.0214	0.0221	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228
0.11	0.0221	0.0231	0.0238	0.0238	0.0245	0.0251	0.0260	0.0269	0.0269	0.0269	0.0269	0.0269	0.0269	0.0269	0.0269
0.12	0.0253	0.0264	0.0275	0.0275	0.0283	0.0290	0.0301	0.0314	0.0314	0.0314	0.0314	0.0314	0.0314	0.0314	0.0314
0.13	0.0286	0.0300	0.0312	0.0312	0.0323	0.0332	0.0347	0.0361	0.0361	0.0361	0.0361	0.0361	0.0361	0.0361	0.0361
0.14	0.0320	0.0338	0.0353	0.0353	0.0365	0.0376	0.0393	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412
0.15	0.0355	0.0376	0.0394	0.0394	0.0408	0.0422	0.0445	0.0466	0.0466	0.0466	0.0466	0.0466	0.0466	0.0466	0.0466
0.16	0.0392	0.0417	0.0437	0.0437	0.0455	0.0471	0.0498	0.0523	0.0523	0.0523	0.0523	0.0523	0.0523	0.0523	0.0523
0.17	0.0429	0.0458	0.0482	0.0482	0.0503	0.0522	0.0554	0.0583	0.0583	0.0583	0.0583	0.0583	0.0583	0.0583	0.0583
0.18	0.0466	0.0501	0.0529	0.0529	0.0553	0.0577	0.612	0.0646	0.0646	0.0646	0.0646	0.0646	0.0646	0.0646	0.0646
0.19	0.0507	0.0544	0.0577	0.0577	0.0605	0.0636	0.0674	0.0713	0.0713	0.0713	0.0713	0.0713	0.0713	0.0713	0.0713
0.20	0.0546	0.0590	0.0627	0.0627	0.0669	0.0708	0.0756	0.0803	0.0803	0.0803	0.0803	0.0803	0.0803	0.0803	0.0803
0.22	0.0629	0.0683	0.0734	0.0734	0.0774	0.0820	0.0875	0.0930	0.0930	0.0930	0.0930	0.0930	0.0930	0.0930	0.0930
0.24	0.0714	0.0781	0.0841	0.0841	0.0895	0.0942	0.1023	0.1097	0.1097	0.1097	0.1097	0.1097	0.1097	0.1097	0.1097
0.26	0.801	0.882	0.956	0.956	1.023	1.077	1.178	1.272	1.272	1.272	1.272	1.272	1.272	1.272	1.272
0.28	0.0588	0.0989	0.108	0.108	0.116	0.122	0.135	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146
0.30	0.0683	0.1097	0.120	0.120	0.130	0.138	0.153	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167
0.32	0.1077	0.1211	0.134	0.134	0.145	0.155	0.172	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189
0.34	0.1171	0.133	0.147	0.147	0.160	0.172	0.193	0.213	0.213	0.213	0.213	0.213	0.213	0.213	0.213
0.36	0.1272	0.145	0.162	0.162	0.177	0.194	0.210	0.238	0.244	0.244	0.244	0.244	0.244	0.244	0.244
0.38	0.137	0.157	0.172	0.172	0.192	0.212	0.229	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262
0.40	0.147	0.170	0.184	0.184	0.208	0.230	0.251	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287
0.42	0.157	0.184	0.208	0.208	0.230	0.251	0.314	0.353	0.353	0.353	0.353	0.353	0.353	0.353	0.353
0.44	0.167	0.197	0.225	0.225	0.250	0.273	0.347	0.386	0.386	0.386	0.386	0.386	0.386	0.386	0.386
0.46	0.178	0.211	0.242	0.242	0.270	0.295	0.375	0.421	0.421	0.421	0.421	0.421	0.421	0.421	0.421
0.48	0.188	0.225	0.259	0.259	0.291	0.317	0.402	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457
0.50	0.199	0.239	0.277	0.277	0.324	0.369	0.486	0.556	0.556	0.556	0.556	0.556	0.556	0.556	0.556
0.55	0.225	0.276	0.335	0.335	0.375	0.431	0.643	0.777	0.666	0.666	0.666	0.666	0.666	0.666	0.666
0.60	0.252	0.318	0.485	0.485	0.568	0.645	0.787	0.922	0.787	0.922	1.050	1.178	1.427	1.427	1.427
0.70	0.308	0.398	0.485	0.485	0.610	0.725	0.834	1.036	1.231	1.231	1.413	1.595	1.952	1.952	1.952
0.80	0.365	0.488	0.610	0.610	0.747	0.872	1.050	1.332	1.588	1.588	1.844	2.093	2.577	2.577	2.577
0.90	0.423	0.585	0.747	0.747	0.892	1.050	1.245	1.568	1.878	1.878	2.212	2.342	2.672	2.672	2.672
1.00	0.480	0.688	0.895	0.895	1.104	1.299	1.643	2.070	2.470	2.470	3.035	3.580	4.112	4.112	4.112
1.20	0.600	0.915	1.245	1.245	1.649	2.127	2.591	3.479	4.320	4.320	5.141	5.949	7.537	7.537	7.537
1.40	0.720	1.171	2.113	2.113	2.786	3.445	4.704	5.908	7.079	7.079	8.210	9.210	10.998	10.998	10.998
1.60	0.841	1.453	2.645	2.645	3.553	4.441	6.157	7.806	9.421	9.421	10.969	14.065	14.065	14.065	14.065
1.80	1.082	2.100	3.244	3.244	4.428	5.599	7.873	10.027	12.180	12.180	14.266	18.371	18.371	18.371	18.371
2.25	1.238	2.564	4.098	4.098	5.693	7.268	10.363	13.324	16.218	16.218	19.112	24.697	24.697	24.697	24.697

* Valores tomados de King, de *Handbook of Hydraulics*, 4.ª ed., McGraw-Hill Co

TABLA 10.

TABLA 11.

Tabla para determinar $F(u, N)$ para pendientes positivas*

$u \backslash N$	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.02	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
0.04	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
0.06	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
0.08	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080
0.10	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
0.12	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120
0.14	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140
0.16	0.161	0.161	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160
0.18	0.181	0.181	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180
0.20	0.202	0.201	0.201	0.201	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
0.22	0.223	0.222	0.221	0.221	0.221	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220
0.24	0.244	0.243	0.242	0.241	0.241	0.241	0.240	0.240	0.240	0.240
0.26	0.265	0.263	0.262	0.262	0.261	0.261	0.261	0.260	0.260	0.260
0.28	0.286	0.284	0.283	0.282	0.282	0.281	0.281	0.281	0.280	0.280
0.30	0.307	0.305	0.304	0.303	0.302	0.302	0.301	0.301	0.301	0.300
0.32	0.329	0.326	0.325	0.324	0.323	0.322	0.322	0.321	0.321	0.321
0.34	0.351	0.348	0.346	0.344	0.343	0.343	0.342	0.342	0.341	0.341
0.36	0.372	0.369	0.367	0.366	0.364	0.363	0.363	0.362	0.362	0.361
0.38	0.395	0.392	0.389	0.387	0.385	0.384	0.383	0.383	0.382	0.382

$u \backslash N$	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0
0.40	0.418	0.414	0.411	0.408	0.407	0.405	0.404	0.403	0.403	0.402
0.42	0.442	0.437	0.433	0.430	0.428	0.426	0.425	0.424	0.423	0.423
0.44	0.465	0.460	0.456	0.452	0.450	0.448	0.446	0.445	0.444	0.443
0.46	0.480	0.483	0.479	0.475	0.472	0.470	0.468	0.466	0.465	0.464
0.48	0.514	0.507	0.502	0.497	0.494	0.492	0.489	0.488	0.486	0.485
0.50	0.539	0.531	0.525	0.521	0.517	0.514	0.511	0.509	0.508	0.506
0.52	0.565	0.557	0.550	0.544	0.540	0.536	0.534	0.531	0.529	0.528
0.54	0.592	0.582	0.574	0.568	0.563	0.559	0.556	0.554	0.551	0.550
0.56	0.619	0.608	0.599	0.593	0.587	0.583	0.579	0.576	0.574	0.572
0.58	0.649	0.635	0.626	0.618	0.612	0.607	0.603	0.599	0.596	0.594
0.60	0.676	0.663	0.653	0.644	0.637	0.631	0.627	0.623	0.620	0.617
0.61	0.691	0.678	0.667	0.657	0.650	0.644	0.639	0.635	0.631	0.628
0.62	0.706	0.692	0.680	0.671	0.663	0.657	0.651	0.647	0.643	0.640
0.63	0.722	0.707	0.694	0.684	0.676	0.669	0.664	0.659	0.655	0.652
0.64	0.738	0.722	0.709	0.698	0.690	0.683	0.677	0.672	0.667	0.664
0.65	0.754	0.737	0.724	0.712	0.703	0.696	0.689	0.684	0.680	0.676
0.66	0.771	0.753	0.738	0.727	0.717	0.709	0.703	0.697	0.692	0.688
0.67	0.787	0.769	0.754	0.742	0.731	0.723	0.716	0.710	0.705	0.701
0.68	0.804	0.785	0.769	0.757	0.746	0.737	0.729	0.723	0.718	0.713
0.69	0.822	0.804	0.785	0.772	0.761	0.751	0.743	0.737	0.731	0.726
0.70	0.840	0.819	0.802	0.787	0.776	0.766	0.757	0.750	0.744	0.739
0.71	0.858	0.836	0.819	0.804	0.791	0.781	0.772	0.764	0.758	0.752
0.72	0.878	0.855	0.836	0.820	0.807	0.796	0.786	0.779	0.772	0.766
0.73	0.898	0.874	0.854	0.837	0.823	0.811	0.802	0.793	0.786	0.780
0.74	0.918	0.892	0.868	0.854	0.840	0.827	0.817	0.808	0.800	0.794
0.75	0.940	0.913	0.890	0.872	0.857	0.844	0.833	0.823	0.815	0.808
0.76	0.961	0.933	0.909	0.890	0.874	0.861	0.849	0.839	0.830	0.823
0.77	0.985	0.954	0.930	0.909	0.892	0.878	0.866	0.855	0.846	0.838
0.78	1.007	0.976	0.950	0.929	0.911	0.896	0.883	0.872	0.862	0.854
0.79	1.031	0.998	0.971	0.940	0.920	0.904	0.891	0.889	0.879	0.870
0.80	1.056	1.022	0.994	0.970	0.950	0.934	0.919	0.907	0.896	0.887
0.81	1.083	1.046	1.017	0.992	0.971	0.954	0.938	0.925	0.914	0.904
0.82	1.110	1.072	1.041	1.015	0.993	0.974	0.958	0.945	0.932	0.922
0.83	1.139	1.099	1.067	1.039	1.016	0.996	0.979	0.965	0.952	0.940
0.84	1.171	1.129	1.094	1.064	1.040	1.019	1.001	0.985	0.972	0.960
0.85	1.201	1.157	1.121	1.091	1.065	1.043	1.024	1.007	0.993	0.980
0.86	1.238	1.192	1.153	1.119	1.092	1.068	1.048	1.031	1.015	1.002
0.87	1.274	1.223	1.182	1.149	1.120	1.095	1.074	1.055	1.039	1.025
0.88	1.314	1.262	1.220	1.181	1.151	1.124	1.101	1.081	1.064	1.049
0.89	1.357	1.302	1.255	1.216	1.183	1.155	1.131	1.110	1.091	1.075

μ	N	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0
0.90	1.401	1.343	1.294	1.253	1.218	1.189	1.163	1.140	1.120	1.103	
0.91	1.452	1.389	1.336	1.294	1.257	1.225	1.197	1.173	1.152	1.133	
0.92	1.505	1.438	1.351	1.340	1.300	1.266	1.236	1.210	1.187	1.166	
0.93	1.564	1.493	1.435	1.391	1.348	1.311	1.279	1.251	1.226	1.204	
0.94	1.645	1.568	1.504	1.449	1.403	1.363	1.328	1.297	1.270	1.246	
0.950	1.737	1.652	1.582	1.518	1.467	1.423	1.385	1.352	1.322	1.296	
0.960	1.833	1.741	1.665	1.601	1.545	1.497	1.454	1.417	1.385	1.355	
0.970	1.969	1.866	1.780	1.707	1.644	1.590	1.543	1.501	1.464	1.431	
0.975	2.055	1.945	1.853	1.773	1.707	1.649	1.598	1.554	1.514	1.479	
0.980	2.164	2.045	1.946	1.855	1.783	1.720	1.666	1.617	1.575	1.536	
0.985	2.294	2.165	2.056	1.959	1.880	1.812	1.752	1.699	1.652	1.610	
0.990	2.477	2.333	2.212	2.106	2.017	1.940	1.873	1.814	1.761	1.714	
0.995	2.792	2.621	2.478	2.355	2.250	2.159	2.070	2.008	1.945	1.889	
0.999	3.523	3.292	3.097	2.931	2.788	2.663	2.554	2.457	2.370	2.283	
1.000	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
1.001	3.317	2.931	2.640	2.399	2.184	2.008	1.856	1.725	1.610	1.508	
1.005	2.587	2.266	2.022	1.818	1.679	1.506	1.384	1.279	1.188	1.107	
1.010	2.273	1.977	1.757	1.572	1.419	1.291	1.182	1.089	1.007	0.936	
1.015	2.090	1.807	1.602	1.428	1.286	1.166	1.065	0.978	0.902	0.836	
1.020	1.961	1.711	1.493	1.327	1.191	1.078	0.982	0.900	0.828	0.766	
1.03	1.779	1.531	1.340	1.186	1.060	0.955	0.866	0.790	0.725	0.668	
1.04	1.651	1.410	1.232	1.086	0.967	0.868	0.785	0.714	0.653	0.600	
1.05	1.552	1.334	1.150	1.010	0.896	0.802	0.723	0.656	0.598	0.548	
1.06	1.472	1.250	1.082	0.948	0.838	0.748	0.672	0.608	0.553	0.506	
1.07	1.404	1.195	1.026	0.896	0.790	0.703	0.630	0.569	0.516	0.471	
1.08	1.346	1.139	0.978	0.851	0.749	0.665	0.595	0.535	0.485	0.441	
1.09	1.295	1.089	0.935	0.812	0.713	0.631	0.563	0.506	0.457	0.415	
1.10	1.250	1.050	0.897	0.777	0.681	0.601	0.536	0.480	0.433	0.392	
1.11	1.209	1.014	0.864	0.746	0.652	0.575	0.511	0.457	0.411	0.372	
1.12	1.172	0.981	0.833	0.718	0.626	0.551	0.488	0.436	0.392	0.354	
1.13	1.138	0.950	0.805	0.692	0.602	0.529	0.468	0.417	0.374	0.337	
1.14	1.107	0.921	0.780	0.669	0.581	0.509	0.450	0.400	0.358	0.322	
1.15	1.078	0.892	0.756	0.647	0.561	0.490	0.432	0.384	0.343	0.308	
1.16	1.052	0.870	0.734	0.627	0.542	0.473	0.417	0.369	0.329	0.295	
1.17	1.027	0.850	0.713	0.608	0.525	0.458	0.402	0.356	0.317	0.283	
1.18	1.003	0.825	0.694	0.591	0.509	0.443	0.388	0.343	0.305	0.272	
1.19	0.981	0.810	0.676	0.574	0.494	0.429	0.375	0.331	0.294	0.262	
1.20	0.960	0.787	0.659	0.559	0.480	0.415	0.363	0.320	0.283	0.252	
1.22	0.922	0.735	0.628	0.531	0.454	0.392	0.341	0.299	0.264	0.235	
1.24	0.887	0.725	0.600	0.505	0.431	0.371	0.322	0.281	0.248	0.219	

μ	N	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0
1.26	0.855	0.692	0.574	0.482	0.410	0.351	0.304	0.265	0.233	0.205	
1.28	0.827	0.666	0.551	0.461	0.391	0.334	0.288	0.250	0.219	0.193	
1.30	0.800	0.644	0.530	0.442	0.373	0.318	0.274	0.237	0.207	0.181	
1.32	0.775	0.625	0.510	0.424	0.357	0.304	0.260	0.225	0.196	0.171	
1.34	0.752	0.605	0.492	0.408	0.342	0.290	0.248	0.214	0.185	0.162	
1.36	0.731	0.588	0.475	0.393	0.329	0.278	0.237	0.204	0.176	0.153	
1.38	0.711	0.567	0.455	0.376	0.316	0.266	0.226	0.194	0.167	0.145	
1.40	0.692	0.548	0.444	0.365	0.304	0.256	0.217	0.185	0.159	0.138	
1.42	0.674	0.533	0.431	0.353	0.293	0.246	0.208	0.177	0.152	0.131	
1.44	0.658	0.517	0.417	0.341	0.282	0.236	0.199	0.169	0.145	0.125	
1.46	0.642	0.505	0.405	0.330	0.273	0.227	0.191	0.162	0.139	0.119	
1.48	0.627	0.493	0.394	0.320	0.263	0.219	0.184	0.156	0.133	0.113	
1.50	0.613	0.480	0.383	0.310	0.255	0.211	0.177	0.149	0.127	0.108	
1.55	0.580	0.451	0.358	0.288	0.235	0.194	0.161	0.135	0.114	0.097	
1.60	0.551	0.425	0.335	0.269	0.218	0.179	0.148	0.123	0.103	0.087	
1.65	0.525	0.402	0.316	0.251	0.203	0.165	0.136	0.113	0.094	0.079	
1.70	0.501	0.381	0.298	0.236	0.189	0.153	0.125	0.103	0.086	0.072	
1.75	0.480	0.362	0.282	0.222	0.177	0.143	0.116	0.095	0.079	0.065	
1.80	0.460	0.349	0.267	0.209	0.166	0.133	0.108	0.088	0.072	0.060	
1.85	0.442	0.332	0.254	0.198	0.156	0.125	0.100	0.082	0.067	0.055	
1.90	0.425	0.316	0.242	0.188	0.147	0.117	0.094	0.078	0.062	0.050	
1.95	0.409	0.304	0.231	0.178	0.139	0.110	0.088	0.070	0.057	0.046	
2.00	0.395	0.292	0.221	0.169	0.132	0.104	0.082	0.066	0.053	0.043	
2.10	0.369	0.273	0.202	0.154	0.119	0.092	0.073	0.058	0.046	0.037	
2.20	0.346	0.253	0.186	0.141	0.107	0.083	0.065	0.051	0.040	0.032	
2.3	0.326	0.235	0.173	0.129	0.098	0.075	0.058	0.045	0.035	0.028	
2.4	0.308	0.220	0.160	0.119	0.089	0.068	0.052	0.040	0.031	0.024	
2.5	0.292	0.207	0.150	0.110	0.082	0.062	0.047	0.036	0.028	0.022	
2.6	0.277	0.197	0.140	0.102	0.076	0.057	0.043	0.033	0.025	0.019	
2.7	0.264	0.188	0.131	0.095	0.070	0.052	0.039	0.029	0.022	0.017	
2.8	0.252	0.176	0.124	0.089	0.063	0.048	0.036	0.027	0.020	0.015	
2.9	0.241	0.166	0.117	0.083	0.060	0.044	0.033	0.024	0.018	0.014	
3.0	0.230	0.159	0.110	0.078	0.056	0.041	0.030	0.022	0.017	0.012	
3.5	0.190	0.126	0.085	0.059	0.041	0.029	0.021	0.015	0.011	0.008	
4.0	0.161	0.104	0.069	0.046	0.031	0.022	0.015	0.010	0.007	0.005	
4.5	0.139	0.087	0.057	0.037	0.025	0.017	0.011	0.008	0.005	0.004	
5.0	0.122	0.076	0.048	0.031	0.020	0.013	0.009	0.006	0.004	0.003	
6.0	0.098	0.060	0.036	0.022	0.014	0.009	0.006	0.004	0.002	0.002	
7.0	0.081	0.048	0.028	0.017	0.010	0.006	0.004	0.002	0.002	0.001	
8.0	0.069	0.040	0.022	0.013	0.008	0.005	0.003	0.002	0.001	0.001	
9.0	0.060	0.034	0.019	0.011	0.006	0.004	0.002	0.001	0.001	0.000	
10.0	0.053	0.028	0.016	0.009	0.005	0.003	0.002	0.001	0.001	0.000	
20.0	0.023	0.018	0.011	0.006	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	

N	N									
	4.2	4.8	5.0	5.4	5.8	6.2	6.6	7.0	7.4	7.8
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.02	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
0.04	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
0.06	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
0.08	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080
0.10	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
0.12	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120
0.14	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140
0.16	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160
0.18	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180
0.20	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
0.22	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220
0.24	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240
0.26	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260
0.28	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280
0.30	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
0.32	0.321	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320
0.34	0.341	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340
0.36	0.361	0.361	0.360	0.360	0.360	0.360	0.360	0.360	0.360	0.360
0.38	0.381	0.381	0.380	0.380	0.380	0.380	0.380	0.380	0.380	0.380
0.40	0.402	0.401	0.401	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
0.42	0.422	0.421	0.421	0.421	0.420	0.420	0.420	0.420	0.420	0.420
0.44	0.443	0.442	0.441	0.441	0.441	0.440	0.440	0.440	0.440	0.440
0.46	0.463	0.462	0.462	0.461	0.461	0.460	0.460	0.460	0.460	0.460
0.48	0.483	0.483	0.482	0.481	0.481	0.480	0.480	0.480	0.480	0.480
0.50	0.505	0.504	0.503	0.502	0.501	0.501	0.500	0.500	0.500	0.500
0.52	0.527	0.525	0.523	0.522	0.521	0.521	0.521	0.520	0.520	0.520
0.54	0.548	0.546	0.544	0.543	0.542	0.542	0.541	0.541	0.541	0.541
0.56	0.570	0.567	0.565	0.564	0.563	0.562	0.562	0.561	0.561	0.561
0.58	0.592	0.589	0.587	0.585	0.583	0.583	0.582	0.582	0.581	0.581
0.60	0.614	0.611	0.608	0.606	0.605	0.604	0.603	0.602	0.602	0.601
0.61	0.626	0.622	0.619	0.617	0.615	0.614	0.613	0.612	0.612	0.611
0.62	0.637	0.633	0.630	0.628	0.626	0.625	0.624	0.623	0.622	0.622
0.63	0.649	0.644	0.641	0.638	0.636	0.635	0.634	0.633	0.632	0.632
0.64	0.661	0.656	0.652	0.649	0.647	0.646	0.645	0.644	0.643	0.642
0.65	0.673	0.667	0.663	0.660	0.658	0.656	0.655	0.654	0.653	0.653
0.66	0.685	0.679	0.675	0.672	0.669	0.667	0.666	0.665	0.664	0.663
0.67	0.697	0.691	0.686	0.683	0.680	0.678	0.676	0.675	0.674	0.673
0.68	0.709	0.703	0.698	0.694	0.691	0.689	0.687	0.686	0.685	0.684
0.69	0.722	0.715	0.710	0.706	0.703	0.700	0.698	0.696	0.695	0.694

N	N									
	4.2	4.8	5.0	5.4	5.8	6.2	6.6	7.0	7.4	7.8
0.70	0.735	0.727	0.722	0.717	0.714	0.712	0.710	0.708	0.706	0.705
0.71	0.748	0.740	0.734	0.729	0.726	0.723	0.721	0.719	0.717	0.716
0.72	0.761	0.752	0.746	0.741	0.737	0.734	0.732	0.730	0.728	0.727
0.73	0.774	0.765	0.759	0.753	0.749	0.746	0.743	0.741	0.739	0.737
0.74	0.788	0.779	0.771	0.766	0.761	0.757	0.754	0.752	0.750	0.748
0.75	0.802	0.792	0.784	0.778	0.773	0.769	0.766	0.763	0.761	0.759
0.76	0.817	0.806	0.798	0.791	0.786	0.782	0.778	0.776	0.773	0.771
0.77	0.831	0.820	0.811	0.804	0.798	0.794	0.790	0.787	0.784	0.782
0.78	0.847	0.834	0.825	0.817	0.811	0.806	0.802	0.799	0.796	0.794
0.79	0.862	0.849	0.839	0.831	0.824	0.819	0.815	0.811	0.808	0.805
0.80	0.878	0.865	0.854	0.845	0.838	0.832	0.828	0.823	0.820	0.818
0.81	0.895	0.881	0.869	0.860	0.852	0.846	0.841	0.836	0.833	0.830
0.82	0.913	0.897	0.885	0.875	0.866	0.860	0.854	0.850	0.846	0.842
0.83	0.931	0.914	0.901	0.890	0.881	0.874	0.868	0.863	0.859	0.855
0.84	0.949	0.932	0.918	0.906	0.897	0.889	0.882	0.877	0.872	0.868
0.85	0.968	0.950	0.935	0.923	0.912	0.905	0.898	0.891	0.887	0.882
0.86	0.990	0.970	0.954	0.940	0.930	0.921	0.913	0.906	0.901	0.896
0.87	1.012	0.990	0.973	0.959	0.947	0.937	0.929	0.922	0.916	0.911
0.88	1.035	1.012	0.994	0.978	0.966	0.955	0.946	0.938	0.932	0.927
0.89	1.060	1.035	1.015	0.999	0.986	0.974	0.964	0.956	0.949	0.943
0.90	1.087	1.060	1.039	1.021	1.007	0.994	0.984	0.974	0.967	0.960
0.91	1.116	1.086	1.064	1.045	1.029	1.016	1.003	0.995	0.986	0.979
0.92	1.148	1.117	1.092	1.072	1.054	1.039	1.027	1.016	1.006	0.999
0.93	1.181	1.151	1.123	1.101	1.081	1.065	1.050	1.040	1.029	1.021
0.94	1.225	1.188	1.158	1.134	1.113	1.095	1.080	1.066	1.054	1.044
0.950	1.272	1.232	1.199	1.172	1.148	1.128	1.111	1.097	1.084	1.073
0.960	1.329	1.285	1.248	1.217	1.188	1.167	1.149	1.133	1.119	1.106
0.970	1.402	1.351	1.310	1.276	1.246	1.219	1.197	1.179	1.162	1.148
0.975	1.447	1.393	1.348	1.311	1.280	1.250	1.227	1.207	1.190	1.173
0.980	1.502	1.443	1.395	1.354	1.339	1.318	1.282	1.241	1.221	1.204
0.985	1.573	1.508	1.454	1.409	1.372	1.337	1.300	1.284	1.263	1.243
0.990	1.671	1.595	1.537	1.487	1.444	1.404	1.373	1.344	1.319	1.297
0.995	1.838	1.751	1.678	1.617	1.565	1.519	1.479	1.451	1.416	1.388
0.999	2.223	2.102	2.002	1.917	1.845	1.780	1.725	1.678	1.635	1.596
1.000	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1.001	1.417	1.364	1.318	1.283	1.251	1.220	1.190	1.163	1.138	1.114
1.005	1.476	1.419	1.370	1.333	1.300	1.269	1.239	1.211	1.184	1.158
1.010	1.573	1.506	1.454	1.415	1.381	1.349	1.318	1.289	1.261	1.234
1.015	1.778	1.690	1.630	1.587	1.553	1.520	1.489	1.460	1.431	1.403
1.02	0.711	0.620	0.546	0.486	0.436	0.394	0.358	0.327	0.300	0.276

N	4.2	4.6	5.0	5.4	5.8	6.2	6.6	7.0	7.4	7.8
1.03	0.618	0.535	0.469	0.415	0.370	0.333	0.300	0.272	0.249	0.228
1.04	0.554	0.477	0.415	0.365	0.324	0.290	0.262	0.236	0.214	0.195
1.05	0.501	0.412	0.374	0.328	0.289	0.259	0.231	0.208	0.189	0.174
1.06	0.464	0.396	0.342	0.298	0.262	0.233	0.209	0.187	0.170	0.154
1.07	0.431	0.366	0.315	0.273	0.239	0.212	0.191	0.168	0.151	0.136
1.08	0.403	0.341	0.292	0.252	0.220	0.194	0.172	0.153	0.137	0.123
1.09	0.379	0.319	0.272	0.234	0.204	0.179	0.158	0.140	0.125	0.112
1.10	0.357	0.299	0.254	0.218	0.189	0.165	0.146	0.129	0.114	0.102
1.11	0.338	0.282	0.239	0.204	0.176	0.154	0.135	0.119	0.105	0.094
1.12	0.321	0.267	0.225	0.192	0.165	0.143	0.125	0.110	0.097	0.086
1.13	0.305	0.253	0.212	0.181	0.155	0.135	0.117	0.102	0.090	0.080
1.14	0.291	0.240	0.201	0.170	0.146	0.126	0.109	0.095	0.084	0.074
1.15	0.278	0.229	0.191	0.161	0.137	0.118	0.102	0.089	0.078	0.068
1.16	0.266	0.218	0.181	0.153	0.130	0.111	0.096	0.084	0.072	0.064
1.17	0.255	0.208	0.173	0.145	0.123	0.105	0.090	0.078	0.068	0.060
1.18	0.244	0.199	0.165	0.138	0.116	0.099	0.085	0.073	0.063	0.055
1.19	0.235	0.191	0.157	0.131	0.110	0.094	0.080	0.068	0.059	0.051
1.20	0.226	0.183	0.150	0.125	0.105	0.088	0.076	0.064	0.056	0.048
1.22	0.209	0.168	0.138	0.114	0.095	0.080	0.068	0.057	0.049	0.042
1.24	0.195	0.156	0.127	0.104	0.086	0.072	0.060	0.051	0.044	0.038
1.26	0.182	0.145	0.117	0.095	0.079	0.065	0.055	0.046	0.039	0.033
1.28	0.170	0.135	0.108	0.088	0.072	0.060	0.050	0.041	0.035	0.030
1.30	0.160	0.126	0.100	0.081	0.066	0.054	0.045	0.037	0.031	0.026
1.32	0.150	0.118	0.093	0.075	0.061	0.050	0.041	0.034	0.028	0.024
1.34	0.142	0.110	0.087	0.069	0.056	0.045	0.037	0.030	0.025	0.021
1.36	0.134	0.103	0.081	0.064	0.052	0.042	0.034	0.028	0.023	0.019
1.38	0.127	0.097	0.076	0.060	0.048	0.038	0.032	0.026	0.021	0.017
1.40	0.120	0.092	0.071	0.056	0.044	0.036	0.028	0.023	0.019	0.016
1.42	0.114	0.087	0.067	0.052	0.041	0.033	0.026	0.021	0.017	0.014
1.44	0.108	0.082	0.063	0.049	0.038	0.030	0.024	0.019	0.016	0.013
1.46	0.103	0.077	0.059	0.046	0.036	0.028	0.022	0.018	0.014	0.012
1.48	0.098	0.073	0.056	0.043	0.033	0.026	0.021	0.017	0.013	0.010
1.50	0.093	0.069	0.053	0.040	0.031	0.024	0.020	0.015	0.012	0.009
1.55	0.083	0.061	0.046	0.035	0.026	0.020	0.016	0.012	0.010	0.008
1.60	0.074	0.054	0.040	0.030	0.023	0.017	0.013	0.010	0.008	0.006
1.65	0.067	0.048	0.035	0.026	0.019	0.014	0.011	0.008	0.006	0.005
1.70	0.060	0.043	0.031	0.023	0.016	0.012	0.009	0.007	0.005	0.004
1.75	0.054	0.038	0.027	0.020	0.014	0.010	0.008	0.006	0.004	0.003
1.80	0.049	0.034	0.024	0.017	0.012	0.009	0.007	0.005	0.004	0.003
1.85	0.045	0.031	0.022	0.015	0.011	0.008	0.006	0.004	0.003	0.002

N	4.2	4.6	5.0	5.4	5.8	6.2	6.6	7.0	7.4	7.8
1.90	0.041	0.028	0.020	0.014	0.010	0.007	0.006	0.004	0.003	0.002
1.95	0.038	0.026	0.013	0.012	0.008	0.006	0.004	0.003	0.002	0.002
2.00	0.035	0.023	0.016	0.011	0.007	0.005	0.004	0.003	0.002	0.001
2.10	0.030	0.019	0.013	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001
2.20	0.025	0.016	0.011	0.007	0.005	0.004	0.002	0.001	0.001	0.001
2.3	0.022	0.014	0.009	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001
2.4	0.019	0.012	0.008	0.005	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
2.5	0.017	0.010	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
2.6	0.015	0.009	0.005	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
2.7	0.013	0.006	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
2.8	0.012	0.007	0.004	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
2.9	0.010	0.005	0.004	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
3.0	0.009	0.005	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
3.5	0.006	0.003	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4.0	0.004	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4.5	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5.0	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6.0	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7.0	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

N	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.02	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
0.04	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
0.06	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
0.08	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080
0.10	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
0.12	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120
0.14	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140
0.16	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160
0.18	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180
0.20	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
0.22	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220
0.24	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240
0.26	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260
0.28	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280
0.30	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
0.32	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320
0.34	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340
0.36	0.360	0.360	0.360	0.360	0.360
0.38	0.380	0.380	0.380	0.380	0.380
0.40	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
0.42	0.420	0.420	0.420	0.420	0.420
0.44	0.440	0.440	0.440	0.440	0.440
0.46	0.460	0.460	0.460	0.460	0.460
0.48	0.480	0.480	0.480	0.480	0.480
0.50	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
0.52	0.520	0.520	0.520	0.520	0.520
0.54	0.540	0.540	0.540	0.540	0.540
0.56	0.561	0.560	0.560	0.560	0.560
0.58	0.581	0.581	0.580	0.580	0.580
0.60	0.601	0.601	0.601	0.600	0.600
0.61	0.611	0.611	0.611	0.610	0.610
0.62	0.621	0.621	0.621	0.621	0.621
0.63	0.632	0.631	0.631	0.631	0.631
0.64	0.642	0.641	0.641	0.641	0.641
0.65	0.652	0.652	0.651	0.651	0.651
0.66	0.662	0.662	0.662	0.661	0.661
0.67	0.673	0.672	0.672	0.672	0.671
0.68	0.683	0.683	0.682	0.682	0.681
0.69	0.694	0.693	0.692	0.692	0.692

N	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.70	0.704	0.704	0.703	0.702	0.702
0.71	0.715	0.714	0.713	0.713	0.712
0.72	0.726	0.725	0.724	0.723	0.723
0.73	0.736	0.735	0.734	0.734	0.733
0.74	0.747	0.746	0.745	0.744	0.744
0.75	0.758	0.757	0.756	0.755	0.754
0.76	0.769	0.768	0.767	0.766	0.765
0.77	0.780	0.779	0.778	0.777	0.776
0.78	0.792	0.790	0.789	0.788	0.787
0.79	0.804	0.802	0.800	0.799	0.798
0.80	0.815	0.813	0.811	0.810	0.809
0.81	0.827	0.825	0.823	0.822	0.820
0.82	0.839	0.837	0.835	0.833	0.831
0.83	0.852	0.849	0.847	0.845	0.844
0.84	0.856	0.862	0.860	0.858	0.856
0.85	0.878	0.875	0.873	0.870	0.868
0.86	0.892	0.889	0.886	0.883	0.881
0.87	0.907	0.903	0.900	0.897	0.894
0.88	0.921	0.918	0.914	0.911	0.908
0.89	0.937	0.933	0.929	0.925	0.922
0.90	0.954	0.949	0.944	0.940	0.937
0.91	0.972	0.967	0.961	0.957	0.953
0.92	0.991	0.986	0.980	0.975	0.970
0.93	1.012	1.006	0.999	0.994	0.989
0.94	1.036	1.029	1.022	1.016	1.010
0.950	1.062	1.055	1.047	1.040	1.033
0.960	1.097	1.085	1.074	1.063	1.053
0.970	1.136	1.124	1.112	1.100	1.087
0.975	1.157	1.147	1.134	1.122	1.108
0.980	1.187	1.175	1.160	1.150	1.132
0.985	1.224	1.210	1.196	1.183	1.165
0.990	1.275	1.260	1.243	1.228	1.208
0.995	1.363	1.342	1.320	1.302	1.280
0.999	1.560	1.530	1.500	1.476	1.447
1.000	∞	∞	∞	∞	∞
1.001	0.614	0.577	0.546	0.519	0.494
1.005	0.420	0.391	0.368	0.350	0.331
1.010	0.337	0.313	0.294	0.278	0.262
1.015	0.289	0.269	0.255	0.237	0.223
1.020	0.257	0.237	0.221	0.209	0.196

N	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
1.03	0.212	0.195	0.181	0.170	0.159
1.04	0.173	0.165	0.152	0.143	0.134
1.05	0.158	0.143	0.132	0.124	0.115
1.06	0.140	0.127	0.116	0.106	0.098
1.07	0.123	0.112	0.102	0.094	0.086
1.08	0.111	0.101	0.092	0.084	0.077
1.09	0.101	0.091	0.082	0.075	0.069
1.10	0.092	0.083	0.074	0.067	0.062
1.11	0.084	0.075	0.067	0.060	0.055
1.12	0.077	0.069	0.062	0.055	0.050
1.13	0.071	0.063	0.056	0.050	0.045
1.14	0.065	0.058	0.052	0.046	0.041
1.15	0.061	0.054	0.048	0.043	0.038
1.16	0.056	0.050	0.045	0.040	0.035
1.17	0.052	0.046	0.041	0.036	0.032
1.18	0.048	0.042	0.037	0.033	0.029
1.19	0.045	0.039	0.034	0.030	0.027
1.20	0.043	0.037	0.032	0.028	0.025
1.22	0.037	0.032	0.028	0.024	0.021
1.24	0.032	0.028	0.024	0.021	0.018
1.26	0.028	0.024	0.021	0.018	0.016
1.28	0.025	0.021	0.018	0.016	0.014
1.30	0.022	0.019	0.016	0.014	0.012
1.32	0.020	0.017	0.014	0.012	0.010
1.34	0.018	0.015	0.012	0.010	0.009
1.36	0.016	0.013	0.011	0.009	0.008
1.38	0.014	0.012	0.010	0.008	0.007
1.40	0.013	0.011	0.009	0.007	0.006
1.42	0.011	0.009	0.008	0.006	0.005
1.44	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005
1.46	0.009	0.008	0.006	0.005	0.004
1.48	0.009	0.007	0.005	0.004	0.004
1.50	0.008	0.006	0.005	0.004	0.003
1.55	0.006	0.005	0.004	0.003	0.003
1.60	0.005	0.004	0.003	0.002	0.002
1.65	0.004	0.003	0.002	0.002	0.001
1.70	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001
1.75	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001
1.80	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
1.85	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001

N	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1.90	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000
1.95	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
2.00	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.10	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabla para determinar $F(u, N)$ para pendientes negativos*

u	N										
	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
0.02	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	
0.04	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	
0.06	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	
0.08	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	
0.10	0.099	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	
0.12	0.109	0.110	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	
0.14	0.139	0.139	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	
0.16	0.158	0.159	0.159	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	
0.18	0.178	0.179	0.179	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	
0.20	0.197	0.198	0.199	0.199	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	
0.22	0.216	0.217	0.218	0.219	0.219	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220	
0.24	0.234	0.236	0.237	0.238	0.239	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	
0.26	0.253	0.255	0.256	0.257	0.258	0.259	0.259	0.260	0.260	0.260	
0.28	0.272	0.274	0.275	0.276	0.277	0.278	0.278	0.279	0.280	0.280	
0.30	0.291	0.293	0.294	0.295	0.296	0.297	0.298	0.298	0.299	0.299	
0.32	0.308	0.311	0.313	0.314	0.316	0.317	0.318	0.318	0.319	0.319	
0.34	0.326	0.329	0.331	0.333	0.335	0.337	0.338	0.338	0.339	0.339	
0.36	0.344	0.347	0.350	0.352	0.354	0.356	0.357	0.357	0.358	0.358	
0.38	0.362	0.365	0.368	0.371	0.373	0.374	0.375	0.376	0.377	0.377	

u	N										
	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	
0.40	0.380	0.384	0.387	0.390	0.392	0.393	0.394	0.395	0.396	0.396	
0.42	0.397	0.401	0.405	0.407	0.409	0.411	0.412	0.413	0.414	0.414	
0.44	0.414	0.419	0.423	0.426	0.429	0.430	0.432	0.433	0.434	0.435	
0.46	0.431	0.437	0.440	0.444	0.447	0.449	0.451	0.452	0.453	0.454	
0.48	0.447	0.453	0.458	0.461	0.464	0.467	0.469	0.471	0.472	0.473	
0.50	0.463	0.470	0.475	0.479	0.482	0.485	0.487	0.489	0.491	0.492	
0.52	0.479	0.485	0.491	0.494	0.499	0.502	0.505	0.507	0.509	0.511	
0.54	0.494	0.501	0.507	0.512	0.516	0.520	0.522	0.525	0.527	0.529	
0.56	0.509	0.517	0.523	0.528	0.533	0.537	0.540	0.543	0.545	0.547	
0.58	0.524	0.533	0.539	0.545	0.550	0.554	0.558	0.561	0.563	0.567	
0.60	0.540	0.548	0.555	0.561	0.566	0.571	0.575	0.578	0.581	0.583	
0.61	0.547	0.556	0.563	0.569	0.575	0.579	0.583	0.587	0.589	0.592	
0.62	0.554	0.563	0.571	0.578	0.583	0.587	0.591	0.595	0.598	0.600	
0.63	0.562	0.571	0.579	0.585	0.590	0.595	0.599	0.603	0.607	0.609	
0.64	0.569	0.579	0.586	0.592	0.598	0.602	0.607	0.611	0.615	0.618	
0.65	0.576	0.585	0.592	0.599	0.606	0.610	0.615	0.619	0.623	0.626	
0.66	0.583	0.593	0.600	0.607	0.613	0.618	0.622	0.626	0.630	0.634	
0.67	0.590	0.599	0.607	0.614	0.621	0.626	0.631	0.635	0.639	0.643	
0.68	0.597	0.607	0.615	0.622	0.628	0.634	0.639	0.643	0.647	0.651	
0.69	0.603	0.613	0.621	0.629	0.635	0.641	0.646	0.651	0.655	0.659	
0.70	0.610	0.620	0.629	0.637	0.644	0.649	0.654	0.659	0.663	0.667	
0.71	0.617	0.627	0.636	0.644	0.651	0.657	0.661	0.666	0.671	0.674	
0.72	0.624	0.634	0.643	0.651	0.658	0.664	0.669	0.674	0.679	0.682	
0.73	0.631	0.641	0.650	0.659	0.665	0.672	0.677	0.682	0.687	0.691	
0.74	0.637	0.648	0.657	0.665	0.672	0.679	0.684	0.689	0.694	0.698	
0.75	0.643	0.655	0.664	0.671	0.679	0.686	0.691	0.696	0.701	0.705	
0.76	0.649	0.661	0.670	0.679	0.687	0.693	0.699	0.704	0.709	0.713	
0.77	0.656	0.667	0.677	0.685	0.693	0.700	0.705	0.711	0.715	0.719	
0.78	0.662	0.673	0.683	0.692	0.700	0.707	0.713	0.718	0.723	0.727	
0.79	0.668	0.680	0.689	0.698	0.705	0.713	0.719	0.724	0.729	0.733	
0.80	0.674	0.685	0.695	0.703	0.712	0.720	0.726	0.732	0.737	0.741	
0.81	0.680	0.691	0.701	0.710	0.719	0.727	0.733	0.739	0.744	0.749	
0.82	0.686	0.698	0.707	0.717	0.725	0.733	0.740	0.746	0.751	0.755	
0.83	0.692	0.703	0.713	0.722	0.731	0.740	0.746	0.752	0.757	0.762	
0.84	0.698	0.709	0.719	0.729	0.737	0.746	0.752	0.758	0.764	0.769	
0.85	0.704	0.715	0.725	0.735	0.744	0.752	0.759	0.765	0.770	0.775	
0.86	0.710	0.721	0.731	0.741	0.750	0.758	0.765	0.771	0.777	0.782	
0.87	0.715	0.727	0.738	0.747	0.756	0.764	0.771	0.777	0.783	0.788	
0.88	0.721	0.733	0.743	0.753	0.762	0.770	0.777	0.783	0.789	0.794	
0.89	0.727	0.739	0.749	0.758	0.767	0.776	0.783	0.789	0.795	0.800	

μ	N	4.0	4.2	4.5	5.0	5.5
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.02	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
0.04	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
0.06	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
0.08	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080
0.10	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
0.12	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120
0.14	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140
0.16	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160
0.18	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180
0.20	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
0.22	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220	0.220
0.24	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240
0.26	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260	0.260
0.28	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280
0.30	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
0.32	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320
0.34	0.339	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340
0.36	0.359	0.360	0.360	0.360	0.360	0.360
0.38	0.378	0.379	0.380	0.380	0.380	0.380
0.40	0.397	0.398	0.398	0.400	0.400	0.400
0.42	0.417	0.418	0.418	0.419	0.420	0.420
0.44	0.436	0.437	0.437	0.439	0.440	0.440
0.46	0.455	0.456	0.457	0.458	0.459	0.459
0.48	0.474	0.475	0.476	0.478	0.479	0.479
0.50	0.493	0.494	0.495	0.497	0.498	0.498
0.52	0.512	0.513	0.515	0.517	0.518	0.518
0.54	0.531	0.532	0.533	0.536	0.537	0.537
0.56	0.549	0.550	0.552	0.555	0.558	0.558
0.58	0.567	0.569	0.570	0.574	0.576	0.576
0.60	0.585	0.587	0.589	0.593	0.595	0.595
0.61	0.594	0.596	0.598	0.602	0.604	0.604
0.62	0.603	0.605	0.607	0.611	0.613	0.613
0.63	0.612	0.615	0.616	0.620	0.622	0.622
0.64	0.620	0.623	0.625	0.629	0.631	0.631
0.65	0.629	0.632	0.634	0.638	0.640	0.640
0.66	0.637	0.640	0.643	0.647	0.650	0.650
0.67	0.646	0.649	0.652	0.656	0.659	0.659
0.68	0.654	0.657	0.660	0.665	0.668	0.668
0.69	0.662	0.665	0.668	0.674	0.677	0.677

μ	N	4.0	4.2	4.5	5.0	5.5
0.70	0.670	0.673	0.677	0.682	0.686	0.686
0.71	0.678	0.681	0.685	0.690	0.694	0.694
0.72	0.686	0.689	0.694	0.699	0.703	0.703
0.73	0.694	0.698	0.702	0.707	0.712	0.712
0.74	0.702	0.705	0.710	0.716	0.720	0.720
0.75	0.709	0.712	0.717	0.724	0.728	0.728
0.76	0.717	0.720	0.725	0.731	0.736	0.736
0.77	0.724	0.727	0.733	0.739	0.744	0.744
0.78	0.731	0.735	0.740	0.747	0.752	0.752
0.79	0.738	0.742	0.748	0.754	0.760	0.760
0.80	0.746	0.750	0.755	0.762	0.768	0.768
0.81	0.753	0.757	0.762	0.770	0.776	0.776
0.82	0.760	0.764	0.769	0.777	0.783	0.783
0.83	0.766	0.771	0.776	0.784	0.790	0.790
0.84	0.773	0.778	0.783	0.791	0.798	0.798
0.85	0.780	0.784	0.790	0.798	0.805	0.805
0.86	0.786	0.791	0.797	0.804	0.812	0.812
0.87	0.793	0.797	0.803	0.811	0.819	0.819
0.88	0.799	0.803	0.810	0.818	0.826	0.826
0.89	0.805	0.810	0.816	0.825	0.832	0.832
0.90	0.811	0.816	0.822	0.831	0.839	0.839
0.91	0.817	0.821	0.828	0.837	0.845	0.845
0.92	0.823	0.828	0.834	0.844	0.851	0.851
0.93	0.829	0.833	0.840	0.850	0.857	0.857
0.94	0.835	0.840	0.846	0.856	0.864	0.864
0.950	0.840	0.845	0.852	0.861	0.869	0.869
0.960	0.846	0.851	0.857	0.867	0.875	0.875
0.970	0.851	0.856	0.863	0.872	0.881	0.881
0.975	0.854	0.859	0.866	0.875	0.883	0.883
0.980	0.857	0.861	0.868	0.878	0.886	0.886
0.985	0.860	0.863	0.870	0.880	0.889	0.889
0.990	0.861	0.867	0.873	0.883	0.891	0.891
0.995	0.864	0.869	0.876	0.885	0.894	0.894
1.000	0.867	0.873	0.879	0.887	0.897	0.897
1.005	0.870	0.874	0.881	0.890	0.899	0.899
1.010	0.873	0.878	0.884	0.893	0.902	0.902
1.015	0.875	0.880	0.886	0.896	0.904	0.904
1.020	0.877	0.883	0.890	0.899	0.907	0.907
1.03	0.882	0.887	0.893	0.902	0.911	0.911
1.04	0.888	0.893	0.898	0.907	0.916	0.916

μ	N	4.0	4.2	4.5	5.0	5.5
1.05	0.892	0.897	0.903	0.911	0.920	0.920
1.06	0.896	0.901	0.907	0.915	0.924	0.924
1.07	0.901	0.906	0.911	0.919	0.928	0.928
1.08	0.905	0.910	0.916	0.923	0.932	0.932
1.09	0.909	0.914	0.920	0.927	0.936	0.936
1.10	0.913	0.918	0.923	0.931	0.940	0.940
1.11	0.917	0.921	0.927	0.935	0.944	0.944
1.12	0.921	0.926	0.931	0.939	0.948	0.948
1.13	0.925	0.929	0.935	0.943	0.951	0.951
1.14	0.928	0.933	0.938	0.947	0.954	0.954
1.15	0.932	0.936	0.942	0.950	0.957	0.957
1.16	0.936	0.941	0.945	0.953	0.960	0.960
1.17	0.939	0.944	0.948	0.957	0.963	0.963
1.18	0.943	0.947	0.951	0.960	0.965	0.965
1.19	0.947	0.950	0.954	0.963	0.968	0.968
1.20	0.950	0.953	0.958	0.966	0.970	0.970
1.22	0.956	0.957	0.964	0.972	0.976	0.976
1.24	0.962	0.962	0.970	0.977	0.981	0.981
1.26	0.968	0.971	0.975	0.982	0.986	0.986
1.28	0.974	0.977	0.981	0.987	0.990	0.990
1.30	0.979	0.978	0.985	0.991	0.994	0.994
1.32	0.985	0.986	0.990	0.995	0.997	0.997
1.34	0.990	0.992	0.995	0.999	1.001	1.001
1.36	0.994	0.996	0.999	1.002	1.005	1.005
1.38	0.998	1.000	1.003	1.006	1.009	1.009
1.40	1.001	1.004	1.006	1.009	1.011	1.011
1.42	1.005	1.008	1.010	1.012	1.014	1.014
1.44	1.009	1.013	1.014	1.016	1.016	1.016
1.46	1.014	1.016	1.017	1.018	1.018	1.018
1.48	1.016	1.019	1.020	1.020	1.020	1.020
1.50	1.020	1.021	1.022	1.022	1.022	1.022
1.55	1.029	1.029	1.029	1.028	1.028	1.028
1.60	1.035	1.035	1.034	1.032	1.030	1.030
1.65	1.041	1.040	1.039	1.036	1.034	1.034
1.70	1.047	1.046	1.043	1.039	1.037	1.037
1.75	1.052	1.051	1.047	1.042	1.039	1.039
1.80	1.057	1.055	1.051	1.045	1.041	1.041
1.85	1.061	1.059	1.054	1.047	1.043	1.043
1.90	1.065	1.060	1.057	1.049	1.045	1.045
1.95	1.068	1.064	1.059	1.051	1.046	1.046

n	N				
	4.0	4.3	4.5	5.0	5.5
0.70	0.670	0.673	0.677	0.682	0.686
0.71	0.678	0.681	0.686	0.690	0.694
0.72	0.686	0.689	0.694	0.699	0.703
0.73	0.694	0.698	0.702	0.707	0.712
0.74	0.702	0.706	0.710	0.716	0.720
0.75	0.709	0.712	0.717	0.724	0.728
0.76	0.717	0.720	0.725	0.731	0.736
0.77	0.724	0.727	0.733	0.739	0.744
0.78	0.731	0.735	0.740	0.747	0.752
0.79	0.738	0.742	0.748	0.754	0.760
0.80	0.746	0.750	0.755	0.762	0.768
0.81	0.753	0.757	0.762	0.770	0.776
0.82	0.760	0.764	0.769	0.777	0.783
0.83	0.766	0.771	0.776	0.784	0.790
0.84	0.773	0.778	0.783	0.791	0.798
0.85	0.780	0.784	0.790	0.798	0.805
0.86	0.786	0.791	0.797	0.804	0.812
0.87	0.793	0.797	0.803	0.811	0.819
0.88	0.799	0.803	0.810	0.818	0.826
0.89	0.805	0.810	0.816	0.825	0.832
0.90	0.811	0.816	0.822	0.831	0.839
0.91	0.817	0.821	0.828	0.837	0.845
0.92	0.823	0.828	0.834	0.844	0.851
0.93	0.829	0.833	0.840	0.850	0.857
0.94	0.835	0.840	0.846	0.856	0.864
0.950	0.840	0.845	0.852	0.861	0.869
0.960	0.846	0.851	0.857	0.867	0.875
0.970	0.851	0.856	0.863	0.872	0.881
0.975	0.854	0.859	0.866	0.875	0.883
0.980	0.857	0.861	0.868	0.878	0.886
0.985	0.859	0.863	0.870	0.880	0.889
0.990	0.861	0.867	0.873	0.883	0.891
0.995	0.864	0.869	0.876	0.886	0.894
1.000	0.867	0.873	0.879	0.887	0.897
1.005	0.870	0.874	0.881	0.890	0.899
1.010	0.873	0.878	0.884	0.893	0.902
1.015	0.875	0.880	0.886	0.896	0.904
1.020	0.877	0.883	0.889	0.899	0.907
1.03	0.882	0.887	0.893	0.902	0.911
1.04	0.886	0.893	0.899	0.907	0.916

n	N				
	4.0	4.3	4.5	5.0	5.5
1.05	0.892	0.897	0.903	0.911	0.920
1.06	0.896	0.901	0.907	0.915	0.924
1.07	0.901	0.906	0.911	0.919	0.928
1.08	0.905	0.910	0.916	0.923	0.932
1.09	0.909	0.914	0.920	0.927	0.936
1.10	0.913	0.918	0.923	0.931	0.940
1.11	0.917	0.921	0.927	0.935	0.944
1.12	0.921	0.926	0.931	0.939	0.948
1.13	0.925	0.929	0.935	0.943	0.951
1.14	0.928	0.933	0.938	0.947	0.954
1.15	0.932	0.936	0.942	0.950	0.957
1.16	0.936	0.941	0.945	0.953	0.960
1.17	0.939	0.944	0.948	0.957	0.963
1.18	0.943	0.947	0.951	0.960	0.965
1.19	0.947	0.950	0.954	0.963	0.968
1.20	0.950	0.953	0.958	0.966	0.970
1.22	0.956	0.957	0.964	0.972	0.978
1.24	0.962	0.962	0.970	0.977	0.981
1.26	0.968	0.971	0.975	0.982	0.986
1.28	0.974	0.977	0.981	0.987	0.990
1.30	0.979	0.978	0.985	0.991	0.994
1.32	0.985	0.986	0.990	0.995	0.997
1.34	0.990	0.992	0.995	0.999	1.001
1.36	0.994	0.996	0.999	1.002	1.005
1.38	0.998	1.000	1.003	1.006	1.006
1.40	1.001	1.004	1.006	1.009	1.011
1.42	1.005	1.008	1.010	1.012	1.014
1.44	1.009	1.013	1.014	1.016	1.016
1.46	1.014	1.016	1.017	1.018	1.018
1.48	1.016	1.019	1.020	1.020	1.020
1.50	1.020	1.021	1.022	1.022	1.022
1.55	1.029	1.029	1.029	1.028	1.028
1.60	1.035	1.035	1.034	1.032	1.030
1.65	1.041	1.040	1.039	1.036	1.034
1.70	1.047	1.046	1.043	1.039	1.037
1.75	1.052	1.051	1.047	1.042	1.039
1.80	1.057	1.055	1.051	1.045	1.043
1.85	1.061	1.059	1.054	1.047	1.043
1.90	1.065	1.060	1.057	1.049	1.045
1.96	1.068	1.064	1.059	1.051	1.046

Valores medios seguros de diseño de Ci y Co. (Chow 1959).

Tipo de Transición	Ci	Co
Alabeadada	0.10	0.20
Cilindro Cuadrante	0.15	0.25
Línea Recta Simplificada	0.20	0.30
Línea Recta	0.30	0.50
Extremos Cuadrados	0.30+	0.75

TABLA 12.

Determinación del Bordo libre y en ancho de Corona.

Gasto (l/s)	Bordo libre (cm)	Ancho de la Corona (cm)
Menores de 50	10	40
50 - 250	20	60
250 - 500	30	80
500 - 1000	40	100
1000 - 2000	50	150
2000 - 2800	60	175

TABLA 13.

MAXIMA EFICIENCIA Y MINIMA FILTRACION.

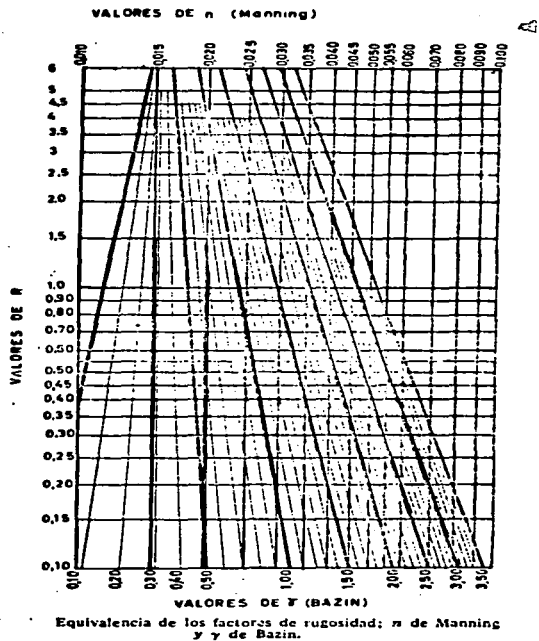
b/d = 2 tan t/2Condición Máxima Eficiencia

b/d = 4 tan t/2Condición Mínima Filtración

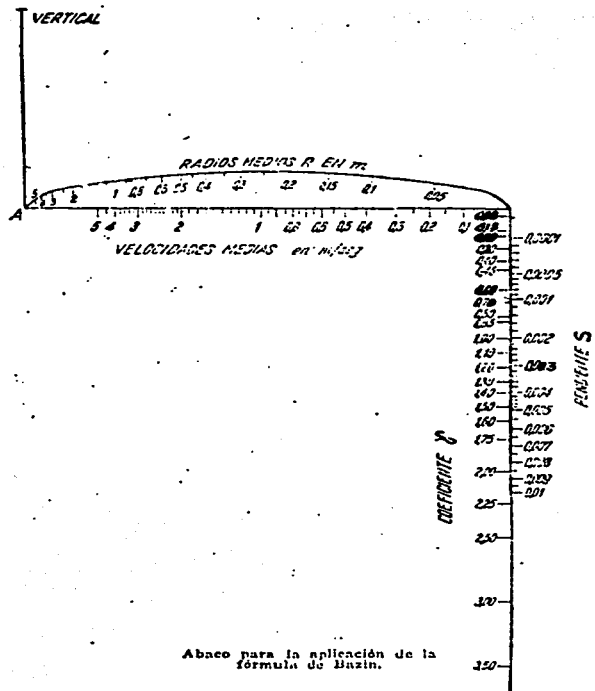
TALUD VERT.	ANGULO	MAXIMA EFIC.	MEDIA EFIC.	MINIMA FILTRACION
¼ a 1	14.03	0.246	0.369	0.492
2/5 a 1	21.80	0.385	0.577	0.77
½ a 1	26.56	0.472	0.708	0.944
¾ a 1	36.86	0.666	0.999	1.332
1 a 1	45	0.825	1.242	1.656
1 ¼ a 1	51.34	0.961	1.441	1.922
1 ½ a 1	56.30	1.070	1.605	2.14
2 a 1	63.43	1.235	1.852	2.47
3 a 1	71.56	1.441	2.161	2.882

TABLA 14.

ANEXO III.

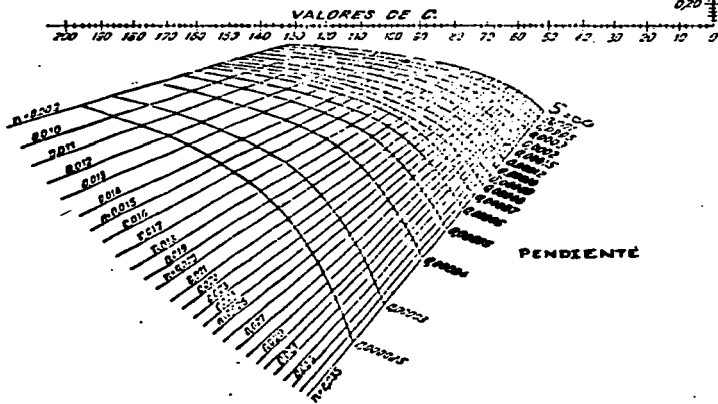
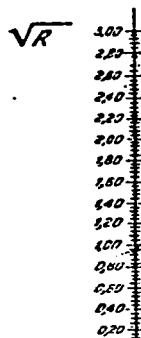


NOMOGRAMA 1.

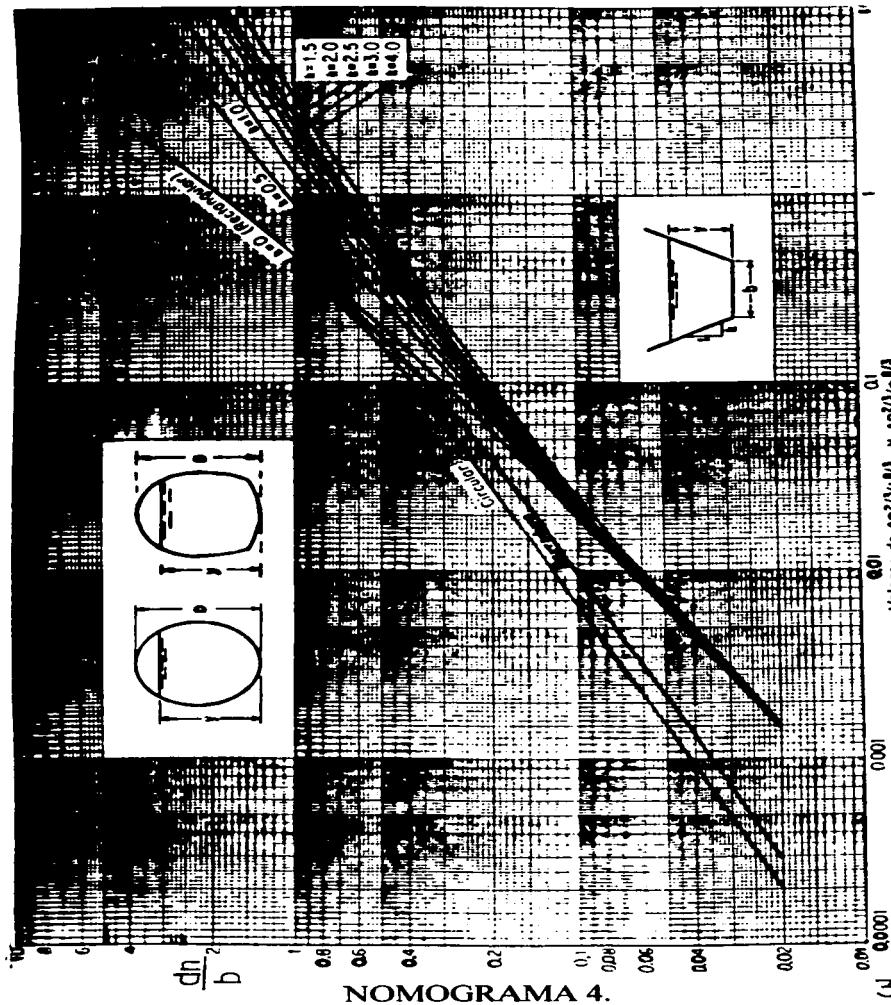


NOMOGRAMA 2.

Diagrama de la fórmula de
GANGUILLET Y KUTTER

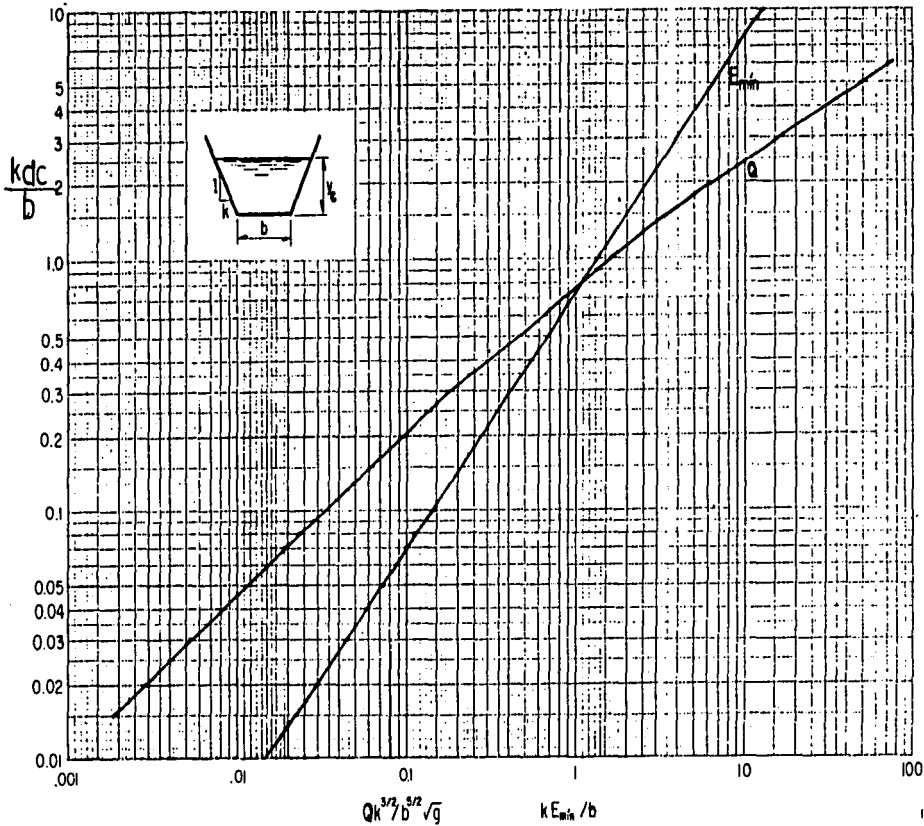


NOMOGRAMA 3.



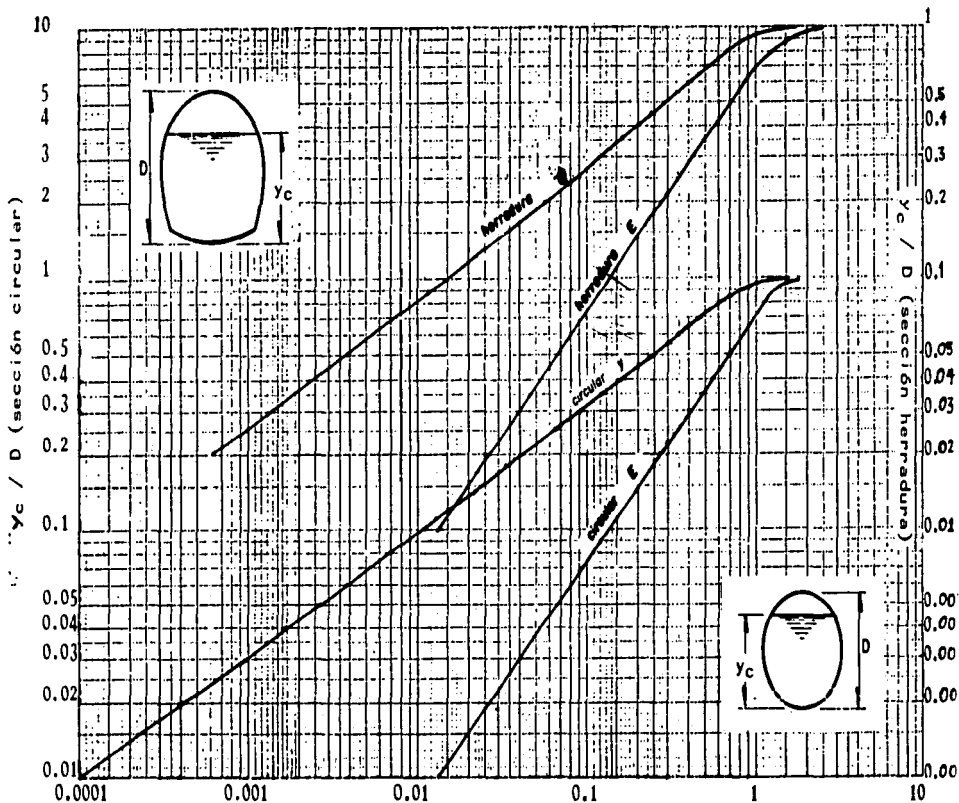
G1
 G2
 C1
 Valores de $AR^{2.7}/\rho^{0.5}$ Y $AR^{2.7}/\rho^{0.5}$
 CURVAS QUE DETERMINAN EL dn

NOMOGRAMA 5.



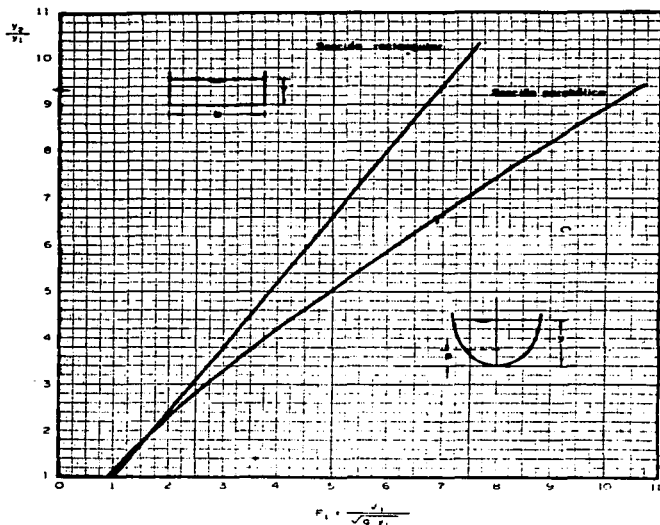
Curvas para determinar el tirante crítico y energía específica mínima en secciones trapezoidales.

NOMOGRAMA 6.



$$\frac{V^2}{g} / D^{5/2} ; E_{\min} / D$$

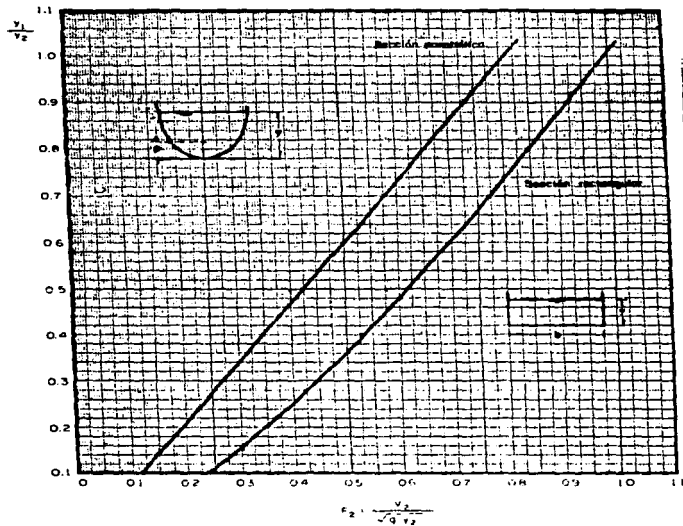
Curvas para determinar el tirante crítico y energía específica mínima en secciones circular y herradura.



CANALES DE SECCION RECTANGULAR Y PARABOLICA

Gráfica para la determinación del traste subcrítico,
conocido el régimen supercrítico

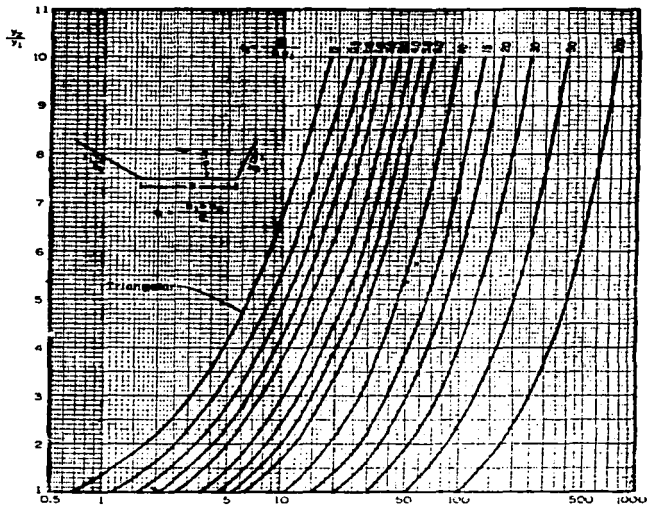
NOMOGRAMA 7.



CANALES DE SECCION RECTANGULAR Y PARABOLICA

Gráfico para la determinación del tirante supercrítico,
conocido el régimen subcrítico.

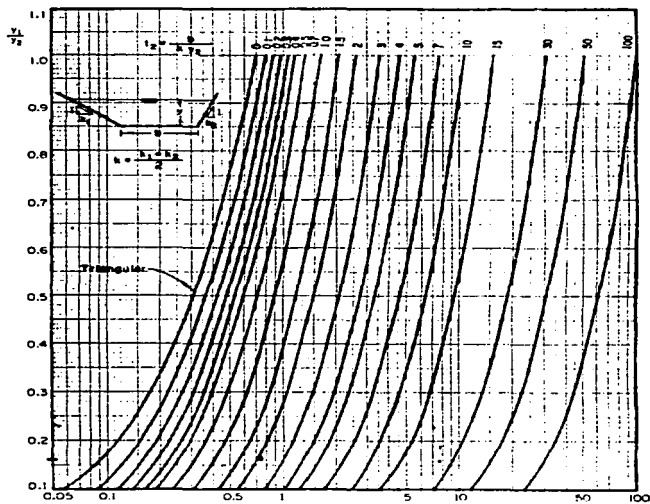
NOMOGRAMA 8.



$$F_{1M} = \frac{Q}{\sqrt{z^2 + 1} \cdot h^{3/2}}$$

$$F_{1M} = (11 - 1) F_1$$
CANALES DE SECCIÓN TRAPEZOIDAL (TRIANGULAR INCLUIDA)
 Gráfica para la determinación del tirante superficial.
 Localidad el reg men superficial.

NOMOGRAMA 9.



$F_{2M} = \frac{Q}{C \sqrt{g} h^{3/2}}$
 $F_{2M} (1.2 - 1.1) F_{2M}$

CANALES DE SECCION TRAPEZIAL (TRIANGULAR INCLUIDA)
 Gráfica para la determinación del tirante supercrítico,
 cuando el régimen es crítico

NOMOGRAMA 10.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES.

En este trabajo se plantearon las ideas fundamentales de la Hidráulica de canales que proporcionen al futuro Ingeniero Hidráulico los conocimientos básicos necesarios para comprender el comportamiento del agua en los canales.

Se puede concluir que se pueden presentar en el ejercicio profesional dos tipos de canales, los naturales y los artificiales, los primeros en varias ocasiones se aprovechan para diseñar y construir obras de toma, dependiendo del afluente, y en los segundos, se proyectan para llevar el fluido del lugar de captación hacia otro sitio, como puede ser el caso de los distritos de riego.

En ocasiones cuando nos encontramos con canales en los que trabaja el fluido bajo un régimen laminar es fácil observar las características hidráulicas del canal, que si se tratase de un fluido con régimen turbulento, el cual es un problema serio para las obras hidráulicas dado que se presenta el fenómeno del golpe de Ariete y el fenómeno de cavitación, en obras de almacenaje.

Este trabajo tiene la convicción de dar a conocer las ideas fundamentales y básicas de la Hidráulica de canales, bajo conceptos claros y fáciles de entender, haciendo mención de que el alumno que analice esta obra se entenderá que ya llevo curso básico de Hidráulica.

Esta tesis tiene la finalidad de facilitar al alumno la serie de cálculos que se realizan en esta materia ubicada en el quinto semestre de la carrera de Ingeniero Civil, para que el alumno comprenda el como calcular un canal, ya sea de forma manual, tabulada e incluso programando los datos en calculadoras programables, además de observar la importancia de bajo que régimen esta trabajando el fluido, para de ahí partir al diseño de obras intermedias, que idealicen al flujo según la conveniencia del proyecto, observándose el flujo como regularmente se hace, esto es, por medio del perfil del mismo, para posteriormente, una vez contando con los datos y resultados necesarios, proceder al diseño de alguna obra de particular importancia, y que en este trabajo se toca el diseño de una obra de transición, en la cual ya e tenían datos proyectados.

En el presente trabajo se muestra la facilidad con la que se pueden manipular los datos hidráulicos, donde un servidor opto por tratar los temas con ejemplos generalizados, no enfocándome a un solo ejemplo en particular, con la finalidad de dar variedad a los resultados que se pueden presentar en la rama de que se habla en esta tesis.

Finalizo este trabajo tratando de motivar al alumno el interés por conocer la gran gama de conocimientos que intervienen en al área de hidráulica, pensando por un instante que si no existiera el Ingeniero Hidráulico, la humanidad se vería envuelta en penosas situaciones.

De esta manera exhorto a los alumnos de quinto semestre de la licenciatura no quedarse con los conocimientos vistos en el aula de clases sino por el contrario a introducirse cada vez mas en las diferentes ramas de la hidráulica.

Esta tesis o trabajo escrito finaliza con una introducción al diseño de obras auxiliares que tiene como finalidad el desalajo de los sedimentos que se encuentran en el fluido, aclarando que la hidráulica de canales no esta desligada con las demás áreas de Ingeniería, donde en este tema en particular interviene la Ingeniería Estructural, construcción, geotécnica, precios unitarios etc.

Pienso que este trabajo contribuye en gran medida a que los alumnos conozcan de una manera breve y sencilla los conceptos que se manejan en el área de hidráulica, para posteriormente seguir con los cursos subsecuentes en esta disciplina.

**BIBLIOGRAFIA
CONSULTADA**

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Sotelo Avila Gilberto, Apuntes de Hidráulica II, Fac. Ing. U.N.A.M.**
- 2.- French Richard H., Hidráulica de Canales Abiertos, Mc. Graw Hill.**
- 3.- Chow Ven Te, Open Channel Hydraulics, Mc. Graw Hill.**
- 4.- Schaum, Mecánica de Fluidos.**
- 5.- Juarez Badillo y Rico Gonzalez, Mecánica de Suelos, Limusa.**
- 6.- King, Handbook of Hydraulics, Mc. Graw Hill.**
- 7.- Enzo Levi, Diseño hidrodinámico y automatización fluidica en obras hidráulicas, Instituto de Ingeniería U.N.A.M..**
- 8.- Kraats, Pequeñas obras hidráulicas, Estudio FAO.**
- 9.- Aguilar Alcerreca Jose, Hidráulica Fluvial, I.P.N.**
- 10.- King, Manual de hidráulica, De. Limusa.**