

01162
205.1

SIMULACION DEL FLUJO EN UNA RED DE CANALES PARA RIEGO

MAURICIO CARRILLO GARCÍA

T E S I S

**PRESENTADA A LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
COMO REQUISITO PARA OBTENER
EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERIA
HIDRAULICA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, 18 DE AGOSTO DE 1987.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 está 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.

RESUMEN

SE REALIZA UN ESTUDIO DEL FLUJO NO PERMANENTE EN UNA RED DE CANALES A PARTIR DE LAS ECUACIONES DE SAINT-VENANT DISCRETIZADAS EN DIFERENCIAS FINITAS UTILIZANDO EL ESQUEMA SÁNCHEZ-FUENTES HACIENDO UN ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES FRONTERA PARA UN HIDROGRAMA DE ENTRADA, TIRANTE FINAL-CONSTANTE, CON DESCARGA LIBRE O AHOGADA Y COMPUERTAS INICIAL E INTERMEDIA, SIMULANDO DOS CONDICIONES SOBRE LA MARGEN IZQUIERDA DE LA RED DEL DISTRITO DE RIEGO 035 "LA BEGOÑA" EN CELAYA, GUANAJUATO CON EL USO DE UNA MICRO COMPUTADORA PERSONAL C-128.

CONTENIDO

	PÁGINA.
LISTA DE FIGURAS.	4
LISTA DE TABLAS.	6
LISTA DE PLANOS.	7
NOMENCLATURA.	8
CAPÍTULO I.	11
1. <i>Introducción.</i>	
1.1 <i>Planteamiento del Problema.</i>	
1.2 <i>Distrito de Riego 085.</i>	
1.3 <i>Objetivos.</i>	
CAPÍTULO II.	15
2. <i>Solución de las ecuaciones en diferencias finitas.</i>	
2.1 <i>Esquema Sánchez-Fuentes.</i>	
2.2 <i>Esquema Preissmann (SOGREAH).</i>	
2.3 <i>Tránsito de avenida en un canal como medio de -- comparación.</i>	
CAPÍTULO III.	28
3. <i>Condiciones Frontera.</i>	
3.1 <i>Hidrograma de entrada.</i>	
3.2 <i>Compuerta (Inicial, Intermedia, Con derivación y - Cerrada).</i>	
3.3 <i>Descarga Libre o Ahogada.</i>	
CAPÍTULO IV.	42
4. <i>Redes de Canales.</i>	
4.1 <i>Red de canales cerrada.</i>	
4.2 <i>Red de canales abierta.</i>	
4.3 <i>Aplicación de la margen del Distrito de Riego 085 "LA BEGONA" Celaya, Gto.</i>	
4.3.1 <i>Condición de simulación uno.</i>	
4.3.2 <i>Condición de simulación dos.</i>	

	PÁGINA.
CAPÍTULO V.	62
5. <i>Consideraciones Generales, Conclusiones y Recomendaciones.</i>	
CAPÍTULO VI.	65
6. <i>Bibliografía y Referencias.</i>	
ANEXO 1.	68
<i>Deducción de las ecuaciones de flujo.</i>	
ANEXO 2.	75
<i>Diferencias finitas.</i>	
ANEXO 3.	79
<i>Programas:</i>	
P ₁ <i>Tránsito de Avenidas (Esquema Sánchez-Fuentes)</i>	
P ₂ <i>Tránsito de Avenidas (Esquema Preissmann).</i>	
P ₃ <i>Condición de simulación 1.</i>	
P ₄ <i>Condición de simulación 2.</i>	

LISTA DE FIGURAS

<u>Nb.</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>PAGINA</u>
2.1	ESQUEMA SÁNCHEZ FUENTES.	25
2.2	DIAGRAMA DE APLICACIÓN DEL ESQUEMA - SÁNCHEZ-FUENTES.	25
2.3	ESQUEMA PREISSMANN (SOGREAH):	26
2.4	DIAGRAMA DE APLICACIÓN DEL ESQUEMA - PREISSMANN (SOGREAH).	26
3.1	COMPUERTAS DESLIZANTES: A) LIBRE B) AHOGADA.	38
3.2	COMPUERTA INICIAL CON TIRANTE CONSTANTE.	38
3.3	COMPUERTA INTERMEDIA.	38
3.4	COMPUERTA CON DERIVACIÓN.	39
3.5	COMPUERTA CERRADA.	39
3.6	CURVAS DE PROFUNDIDAD HIDRÁULICA CRÍTICA CONTRA VELOCIDAD.	39
3.7	VARIACIÓN DEL TIRANTE DE LA COMPUERTA INTERMEDIA AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO PARA UN CIERRE RÁPIDO (60 SEGUNDOS).	40
3.8	VARIACIÓN DEL TIRANTE DE LA COMPUERTA INTERMEDIA AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO PARA UN CIERRE LENTO (600 SEGUNDOS).	41
4.1	RED DE CANALES CERRADA.	52
4.2	SECCIÓN DE CRUCE EN CANALES.	52
4.3	SIMPLIFICACIÓN DE LA RED DE LA MARGEN IZQUIERDA PARA SIMULACIÓN 1.	53
4.4	LEY DE CIERRE DE LA COMPUERTA INICIAL PARA LA SIMULACIÓN 1.	54

4.5	PERFIL DEL CANAL PRINCIPAL PARA SIMULACIÓN 1 PARA $T= 300$ SEGUNDOS.	55
4.6	SIMPLIFICACIÓN DE LA RED PARA SIMULACIÓN 2 MARGEN IZQUIERDA.	56
4.7	LEY DE APERTURA PARA LAS COMPUERTAS DE LA SIMULACIÓN DOS.	57
4.8	PERFIL DEL CANAL PRINCIPAL PARA SIMULACIÓN DOS EN DIFERENTES TIEMPOS.	58
A1.1	VOLUMEN DE CONTROL DE LA ECUACIÓN DE CONTINUIDAD.	69
A1.2	EFFECTOS DINÁMICOS EN EL VOLUMEN DE CONTROL.	71
A2.1	DIFERENCIAS FINITAS DE UNA VARIABLE.	76
A2.2	REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS DIFERENCIAS EN MÁS DE UNA VARIABLE.	77
A3.1	DIAGRAMA DE BLOQUES DE SOLUCIÓN DEL PROGRAMA 1.	79
A3.2	DIAGRAMA DE BLOQUES DE SOLUCIÓN DEL PROGRAMA 2.	84
A3.3	DIAGRAMA DE BLOQUES DE SOLUCIÓN DEL PROGRAMA 3.	89
A3.4	DIAGRAMA DE BLOQUES DE SOLUCIÓN DEL PROGRAMA 4.	98

LISTA DE TABLAS

<u>Nº.</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>PAGINA</u>
2.1	RESULTADOS DE SIMULACIÓN ENTRE EL ESQUEMA - PREISSMANN Y EL SÁNCHEZ-FUENTES PARA UN TIEMPO. $T = 120$ Y 150 .	27
4.1	CARACTERÍSTICAS DE LAS OBRAS DEL DISTRITO DE RIEGO DCS "LA BEGONA" GUANAJUATO, MARGEN IZQUIERDA.	59
4.2	RESULTADOS DE SIMULACIÓN UNO EN LA RED DE CANALES DE LA MARGEN IZQUIERDA PARA $T = 270$ Y 300 SEGUNDOS.	60
4.3	RESULTADOS DE SIMULACIÓN DOS EN LA RED DE CANALES MARGEN IZQUIERDA PARA $T = 1920$ SEGUNDOS.	61

LISTA DE PLANOS

<u>No.</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>PAGINA</u>
1	LOCALIZACIÓN GENERAL DEL DISTRITO - DE RIEGO 065 "LA BEGONA" CELAYA, GTO.	108
2	MARGEN IZQUIERDA DEL DISTRITO DE -- RIEGO 065.	109

NOEMLCLATURA

y	TIRANTE DEL CANAL (m).
x	VARIABLE DISTANCIA (m).
t	VARIABLE TIEMPO (s).
z	ELEVACIÓN DE LA PLANTILLA (m).
v	VELOCIDAD DEL AGUA (m/s).
A	ÁREA HIDRÁULICA (m ²).
S_f	PENDIENTE DE FRICCIÓN.
S_o	PENDIENTE DEL CANAL.
B	ANCHO DE SUPERFICIE LIBRE (m).
i	SECCIÓN i .
j	INSTANTE DE TIEMPO j .
u_i^j	VELOCIDAD DE SALIDA DE LA SECCIÓN i EN EL INSTANTE j (m/s).
v_i^j	VELOCIDAD DE ENTRADA EN LA SECCIÓN i EN EL INSTANTE j (m/s).
Δx	DISTANCIA EN EL TRAMO CONSIDERADO DE i A $i+1$ (m).
Δt	INTERVALO DE TIEMPO CONSIDERADO DE j A $j+1$ (s).
g	ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD (m/s).
n	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING (s/m ^{1/3}).
$R_{H_i}^j$	RADIO HIDRÁULICO MEDIO EN LA SECCIÓN i E INSTANTE j (m).
θ	FACTOR DE PESO.
QE_i^j	GASTO DE ENTRADA O SALIDA DESDE EL EXTERIOR A LA SECCIÓN i EN EL INSTANTE j (m ³ /s).
b	ANCHO DE PLANTILLA (m).
m_i	TALUD DEL CANAL DE LA SECCIÓN i .
PP_i^j	PERÍMETRO MOJADO EN LA SECCIÓN i EN EL INSTANTE j (m).

P_i^j	COEFICIENTE DE LA VELOCIDAD u_i^{j+1} ($\frac{1}{3}$).
Q_i^j	COEFICIENTE DE VELOCIDAD u_i^{j+1} ($\frac{1}{3}$).
R_i^j	COEFICIENTE DE VELOCIDAD u_i^{j+1} (m/s).
S_i^j	COEFICIENTE DE VELOCIDAD v_{i+1}^{j+1} ($\frac{1}{8}$).
T_i^j	COEFICIENTE DE VELOCIDAD v_{i+1}^{j+1} ($\frac{1}{8}$).
W_i^j	COEFICIENTE DE VELOCIDAD v_{i+1}^{j+1} (m/s).
Z'	ELEVACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL AGUA (m).
Q'	GASTO O CAUDAL EN EL CANAL (m^3/s).
α	COEFICIENTE DE CORRECCION DE DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES.
K	FACTOR DE CONDUCCIÓN DEL CANAL (MANNING).
$H_i, 1b_i,$ $C_i, D_i,$ G_i	COEFICIENTES DEFINIDOS PARA LA ECUACIÓN DE CONTINUIDAD DEL ESQUEMA PREISSMANN.
$H_i', 1b_i',$ $C_i', D_i',$ G_i'	COEFICIENTES DEFINIDOS PARA LA ECUACIÓN DINÁMICA DEL ESQUEMA- PREISSMANN.
$\Delta Q'$	INCREMENTO DE GASTO EN EL INTERVALO DE TIEMPO (m^3/s).
$\Delta Z'$	INCREMENTO DE ELEVACIÓN DEL NIVEL DEL AGUA EN EL INTERVALO DE TIEMPO (m).
E, F	COEFICIENTES DEFINIDOS EN EL MÉTODO DE DOBLE BARRIDO DEL ESQUEMA PREISSMANN.
M	SECCIÓN TERMINAL DEL CANAL EN ESTUDIO.
VF	TIRANTE EN LA SECCIÓN FINAL CONSTANTE (m).

q^j	GASTO QUE CIRCUA EN LAS COMPUERTAS EN EL INSTANTE j (m^3/s).
C_d	COEFICIENTE DE DESCARGA DE LAS COMPUERTAS.
a	APERTURA DE LA COMPUERTA (m).
PE	PENDIENTE DEL AJUSTE DE LA ECUACIÓN PARA EL COEFICIENTE DE -- DESCARGA DE LA COMPUERTA.
RO	ORDENADA DEL AJUSTE DE LA ECUACIÓN PARA EL COEFICIENTE DE DES- CARGA DE LA COMPUERTA.
y_1	TIRANTE AGUAS ARRIBA DE LA COMPUERTA (m).
y_3	TIRANTE AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA (m).
y_0	TIRANTE AGUAS ARRIBA DE LA COMPUERTA CONSTANTE (m).
\bar{q}	GASTO MEDIO DE ENTRADA EN EL INTFRVALO DE TIEMPO j A $j+1$ EN COMPUERTA INTERMEDIA (m^3/s).
QD	GASTO DERIVADO EN LAS COMPUERTAS (m^3/s).
D	SECCIÓN FINAL DE COMPUERTA CERRADA.
y	PROFUNDIDAD HIDRÁULICA (A/B) (m).
y_c	PROFUNDIDAD HIDRÁULICA CRÍTICA (m).
v^*	VELOCIDAD CRÍTICA PARA AJUSTE DE PARÁMETROS EN LA ECUACIÓN - 3.30 DE DESCARGA LIBRE O AHOGADA (m/Δ).
K''	FACTOR QUE AFECTA LA PROFUNDIDAD HIDRÁULICA CRÍTICA.
δ, β, γ	COEFICIENTES DE LA ECUACIÓN DE PROFUNDIDAD HIDRÁULICA CRÍTICA.
m	SECCIÓN IMPAR EN REDES DE CANALES.
Δm	CAMBIO DE MASA EN (Kgm).
τ_0	ESFUERZO CORTANTE DE FONDO DEL CANAL (Kg/m^2).
δ	DENSIDAD (Kg/m^3).
F	FUERZA (N).

CAPITULO I

INTRODUCCION.

EL AGUA ES ESENCIAL PARA TODA ACTIVIDAD HUMANA Y SU DISPONIBILIDAD ES VITAL PARA ALIMENTAR A LA CRECIENTE POBLACIÓN DEL MUNDO, PRODUCIR MATERIAS PARA LOGRAR UN MEJOR NIVEL DE VIDA Y PRESERVAR EL EQUILIBRIO NATURAL. SE LE DEBE DAR CADA VEZ MÁS IMPORTANCIA DEBIDO A QUE SU ESCASEZ PODRÍA ORIGINAR EL ROMPIMIENTO DEL BALANCE HIDROLÓGICO Y NATURAL PARA LA EXISTENCIA HUMANA.

AUNQUE ES UN RECURSO RENOVABLE, LOS DEPÓSITOS NATURALES Y ARTIFICIALES PUEDEN LLEGAR A DESAPARECER O DESECHARSE POR EFECTOS DE CONTAMINACIÓN Y SOBRE-EXPLOTACIÓN. LOS PROBLEMAS DONDE INTERVIENE EL AGUA SON DIFERENTES Y VARIADOS. ELLOS OCUPAN DIVERSAS ÁREAS DE LA CIENCIA Y AQUÍ SE TRATA RÁ LO REFERENTE A EL ESTUDIO DEL FLUJO EN CANALES A SUPERFICIE LIBRE.

EL AGUA EN NUESTRO PAÍS PRESENTA UN FUERTE CONTRASTE EN ESCASEZ Y -- ABUNDANCIA; LA IRREGULARIDAD CON QUE OCURRE LA PRECIPITACIÓN CREA INUNDACIONES Y SEQUÍAS CUYOS EFECTOS AFECTAN A LA SOCIEDAD, DEBIDO A QUE LA LLUVIA TOTAL DEL PAÍS OCURRE EN PROPORCIÓN $2/3$ EN EL SUR $1/3$ EN EL NORTE EN - EL CUAL EXISTE EL MAYOR NÚMERO DE TIERRAS CULTIVABLES, LO CUAL HACE IMPRESCINDIBLE EL BUEN USO DE DICHO RECURSO.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

EL RIEGO EN EL PAÍS ES DE GRAN IMPORTANCIA PARA EL SECTOR AGROPECUARIO. LA SUPERFICIE BAJO RIEGO CUBRE APROXIMADAMENTE $1/3$ DE LA SUPERFICIE COSECHADA, DISTRIBUIDA EN LOS DISTINTOS SISTEMAS Y CONTRIBUYE CON MÁS DEL 50% DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA, REF. (16).

DENTRO DEL USO DEL AGUA EN LOS SISTEMAS DE RIEGO, POR LO GENERAL LA CUARTA PARTE DEL AGUA QUE PROPORCIONAN LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO ES LA UTILIZADA POR LOS CULTIVOS. ESTE APROVECHAMIENTO SE DEBE PRINCIPALMENTE - A LOS SIGUIENTES FACTORES: EVAPORACIÓN E INFILTRACIÓN EN LAS UNIDADES DE -

ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN, SIENDO PÉRDIDAS DIFÍCILES DE EVITAR. POR DERRAMES EN LOS EMBALSES Y PÉRDIDAS POR EXCEDENTES DE RIEGO CONOCIDAS COMO "COLEOS" LOS CUALES SE PUEDEN SUPERAR MEDIANTE TÉCNICA DE OPERACIÓN -- QUE PERMITAN UNA MAYOR FLEXIBILIDAD EN LA SATISFACCIÓN DE LAS DEMANDAS, -- Y EL EXCEDENTE DE AGUA DENTRO DE LA PARCELA PROVOCANDO VOLÚMENES NO APROVECHABLES POR EL CULTIVO.

LOS DERRAMES EN LOS EMBALSES E INCLUSO EL DÉFICIT DE ALMACENAMIENTO-- PUEDEN DISMINUIRSE CON EL MANEJO COMBINADO DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS, UTILIZANDO MÉTODOS QUE OPTIMIZAN LOS BENEFICIOS DEL USO DEL AGUA. LA EXISTENCIA DEL PROBLEMA ANTERIOR QUIZAS SE DEBE A LAS DIFICULTADES PARA APLICAR DICHAS TÉCNICAS, PRINCIPALMENTE POR ESCASEZ DE INFORMACIÓN.

PARA EL CASO DE REDUCIR LOS COLEOS Y AL MISMO TIEMPO ASEGURAR EL SUMINISTRO DE AGUA A LA PARCELA EN FORMA MÁS EFICAZ TANTO EN CANTIDAD COMO EN OPORTUNIDAD Y CON GASTOS MÁS REGULARES, SE PUEDEN EMPLEAR PROCEDIMIENTOS DE RIEGO HIDRÁULICAMENTE MÁS FLEXIBLES EXTRAYENDO DEL EMBALSE SOLO EL VOLUMEN DE AGUA EQUIVALENTE, AL CANALIZADO EN PERÍODOS ANTERIORES AL ÁREA DE CULTIVO EN BASE A SU DEMANDA Y PROGRAMA DE RIEGOS, EN LUGAR DE EXTRAER EL VOLUMEN DEL VASO Y CONDUCIRLA PARA POSTERIORMENTE APLICARLA EN EL ÁREA DE RIEGO COMO SE HACE FRECUENTEMENTE UTILIZANDO LA EXPERIENCIA DE LOS PROFESIONALES QUE LABORAN EN EL DISTRITO Y DE LOS CANALEROS.

LA METODOLOGÍA DEL USO DE TÉCNICAS HIDRÁULICAS FLEXIBLES REQUIERE -- DEL CONOCIMIENTO DE ASPECTOS GENERALES E HIDROLÓGICOS DE LOS ALMACENAMIENTOS Y DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO, ASÍ COMO LA DISTRIBUCIÓN DE LOS -- CANALES, SECCIONES, PENDIENTES Y LOCALIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE CONTROL COMO COMPUERTAS Y ESPACIOS PARA LAS OBRAS REALIZADAS CON LA FINALIDAD DE INCREMENTAR LA CAPACIDAD REGULADORA DEL SISTEMA.

ESTA METODOLOGÍA VA DE ACUERDO CON LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS SISTEMAS PARA RIEGO, PERO PARA ELLO SE REQUIERE DE TIEMPO PARA SER APLICABLE A -- BUEN NIVEL EN NUESTRO MEDIO; DESDE LUEGO SE PUEDE EMPEZAR ESTE PROCESO MEJORANDO LA EFICIENCIA ACTUAL CON DICHOS PROCEDIMIENTOS CON EL USO CADA -- VEZ MAYOR DE COMPUTADORAS, SIMULANDO LAS CONDICIONES GENERALES MÁS IMPORTANTES.

EN NUESTRO PAÍS SE TIENE AVANCES EN DICHA METODOLOGÍA COMO LOS TRABAJOS --

DE LAS REFERENCIAS (1, 11, 13, 20).

EN MÉXICO YA SE INICIÓ ESTA METODOLOGÍA CON EL TRABAJO DE AUTOMATIZACIÓN SOBRE EL DISTRITO DE RIEGO 041, RÍO YAQUI, SONORA, POR PARTE DE LA - S.A.R.H. (PLAN NACIONAL HIDRÁULICO), BASADA EN EL ESQUEMA PREISSMANN DELCUAL SE HARÁ REFERENCIA EN LOS CAPÍTULOS POSTERIORES.

EL PRESENTE TRABAJO CONSISTE EN CALCULAR EL FUNCIONAMIENTO DE UNA -- RED DE DISTRIBUCIÓN EN RÉGIMEN NO ESTABLECIDO, PARA ELLO SE UTILIZÓ UNA - MICROCOMPUTADORA PERSONAL COMMODORE 123, CON UN MICROPROCESADOR QUE MANEJA 3 BITS EN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN BASIC; PARA EJEMPLIFICAR LO ANTERIOR SE USÓ EN EL DISTRITO DE RIEGO 085 "LA BEGOÑA" CON LOS DATOS EXISTENTES - DEBIDO A SER UN SISTEMA DE CANALES PEQUEÑOS Y QUE CUENTA CON LOS PROBLE-- MAS GENERALES DE LOS SISTEMAS AGRÍCOLAS.

1.2 DISTRITO DE RIEGO 085 "LA BEGOÑA" CELAYA GUANAJUATO, MÉXICO.

EL DISTRITO DE RIEGO 085, SE LOCALIZA EN EL ESTADO DE GUANAJUATO EN LA REGIÓN DEL BAJÍO DE MÉXICO Y ACTUALMENTE SE CONOCE EN LA NUEVA - ADMINISTRACIÓN CON EL NOMBRE DE DISTRITOS DE RIEGO PARA EL DESARROLLO RURAL 053; ESTÁ CONSTITUIDO PRINCIPALMENTE POR SU EMBALSE "PRESA IGNACIO -- ALLENDE" ("LA BEGOÑA"), CON UNA CAPACIDAD DE 251 MILLONES DE METROS CÚBICOS (m^3) PROPORCIONANDO ALREDEDOR DE 150 MILLONES DE m^3 POR AÑO PARA EL - RIEGO, SITUADA SOBRE EL RÍO LAJA, SIENDO DE USO AGRÍCOLA PRINCIPALMENTE. - LA SUPERFICIE DEL DISTRITO COMPRENDE APROXIMADAMENTE 11844 HECTÁREAS (HA), DIVIDIDAS EN DOS UNIDADES, LA UNIDAD CELAYA Y LA UNIDAD FORMADA POR CO-- MMONFORT, NEUTLA Y PEÑUELITAS; LA PRESA DESCARGA SOBRE EL RÍO LAJA EN EL - CUAL EXISTEN DOS PRESAS DERIVADORAS, LAS CUALES ALIMENTAN A LOS DOS CANALES PRINCIPALES DE LA UNIDAD CELAYA, LA SORIA QUE ALIMENTA AL CANAL PRIN - CIPAL MARGEN DERECHA CON UNA LONGITUD APROXIMADA DE 16300 METROS Y LA PRE - SA DERIVADORA GUADALUPE QUE ALIMENTA LA MARGEN IZQUIERDA CON UNA LONGITUD APROXIMADA DE 7755 METROS, EN LA SEGUNDA UNIDAD COMMONFORT ES REGADA - CON BOMBEO DIRECTO DEL MISMO RÍO EN EL MUNICIPIO DEL MISMO NOMBRE. - CON 107 HAS., NEUTLA POR LA PRESA "ISIDRO V. OROZCO" MUNICIPIO DE COMMON - FORT CON 644 HAS. Y PAÑUELITAS POR LA PRESA DEL MISMO NOMBRE, EN EL MUNI-

CIPIO DE DOLORES HIDALGO CON 1062 HAS., VER (PLANO 01), SUS PRINCIPALES -- CULTIVOS BÁSICOS SON EL TRIGO, SORGO Y MAÍZ; PERENES COMO LA ALFALFA Y FRU TALES COMO EL AGUACATE Y ALGUNAS MORTALIZAS.

LA OPERACIÓN DEL DISTRITO OBEDECE A LA PROGRAMACIÓN DEL RIEGO BASADA EN LA DEMANDA DE LOS CULTIVOS QUE VARÍA EN FUNCIÓN DE SU USO CONSUNTIVO Y DEL CLIMA COMO EL CASO DE ÉPOCA DE LLUVIAS.

LA SIMULACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO SE HACE SOBRE LA MARGEN IZQUIERDA UBICADA EN LA UNIDAD CELAYA, LA CUAL CUENTA CON SIETE SECCIONES DE RIEGO - Y DICHA MARGEN ES UNA DE ELLAS DONDE SE PRESENTAN LAS CONDICIONES NORMALES DE OPERACIÓN DEL DISTRITO CONTANTO CON LA INFORMACIÓN NECESARIA PARA REALI ZAR EL PROCESO. EN ESTA SECCIÓN SE CUENTA CON EL CANAL PRINCIPAL, SIETE - LATERALES Y TRES SUBLATERALES, VER (PLANO 02), COSECHANDO CULTIVOS BÁSICOS, FRUTALES Y ALGUNAS MORTALIZAS.

1.3 OBJETIVOS.

LOS OBJETIVOS PRINCIPALES DEL PRESENTE TRABAJO SON:

- A) SIMULAR EL FLUJO NO ESTABLECIDO EN UNA RED DE CANALES.
- B) ESTABLECER LAS CONDICIONES FRONTERA EN BASE AL TRABAJO DEL ESQUE- MA SÁNCHEZ-FUENTES, REF. (1).
- C) VERIFICAR LA BONDAD DEL ESQUEMA SÁNCHEZ-FUENTES COMPARADO CON EL- PREISSMANN (SOGREAH).
- D) OBTENER EL COMPORTAMIENTO DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL DISTRITO DE- RIEGO 085 PARA UNA MANIOBRA.

CAPITULO 2

SOLUCION DE LAS ECUACIONES EN DIFERENCIAS FINITAS.

EN EL PLANTEAMIENTO DE LAS ECUACIONES DE FLUJO NO ESTABLECIDO EN DIFERENCIAS FINITAS SE DISCRETIZAN LAS ECUACIONES DIFERENCIALES DE CONTINUIDAD Y DE CANTIDAD DE MOVIMIENTO EN FORMA UNIDIMENSIONAL, CONOCIDAS COMO -- LAS ECUACIONES DE SAINT-VENANT.

DENTRO DE LA BUSQUEDA DE UNA SOLUCIÓN A DICHAS ECUACIONES EXISTEN MÉTODOS SIMPLIFICADOS COMO EL DE MUSKINGUM, DETALLADO POR EL I.I.E. (25) Y HENDERSON (4), EN ELLOS SE UTILIZA LA ECUACIÓN DE CONTINUIDAD Y EN VEZ DE LA ECUACIÓN DINÁMICA UNA RELACIÓN APROXIMADA ENTRE EL ALMACENAMIENTO Y EL GASTO QUE ENTRA Y SALE DEL TRAMO DADO Y ALGUNOS MÉTODOS EMPÍRICOS COMO EL DE VELAZCO, MENCIONADOS EN LA REF. (21); PERO LA MEJOR SOLUCIÓN ES LA NUMÉRICA DEBIDO A QUE TRABAJAN CON LAS ECUACIONES COMPLETAS.

PARA LAS SOLUCIONES NUMÉRICAS EXISTE EL RIESGO DE QUE EL SISTEMA NO CUMPLA CON LAS CONDICIONES DE ESTABILIDAD, CONVERGENCIA Y CONGRUENCIA, CON NO BUENOS RESULTADOS (ANEXO 2).

2.1 ESQUEMA SÁNCHEZ-FUENTES (1).

ESTE ESQUEMA FUE DESARROLLADO EN EL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA U.N.A.M. REF. (1), SIENDO DEL TIPO IMPLÍCITO QUE PLANTEA UN SISTEMA DE ECUACIONES Y NO TIENE PROBLEMAS FUERTES DE CONVERGENCIA COMO LOS QUE IMPONEN LOS EXPLÍCITOS, SIENDO MÁS EXACTO PARA INTERVALOS DE TIEMPO GRANDES -- (ANEXO 2).

EL ESQUEMA UTILIZA LAS ECUACIONES DINÁMICA Y DE CONTINUIDAD:

$$\frac{\partial V}{\partial X} + \frac{\partial Z}{\partial X} = - \left[\frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial X} + \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + S_b \right] \dots\dots\dots 2.1$$

$$\frac{\partial AV}{\partial X} = -B \frac{\partial V}{\partial X} \dots\dots\dots 2.2$$

QUE EXPRESADAS EN LAS DIFERENCIAS, CADA UNO DE SUS TÉRMINOS SE ESCRIBEN COMO:

$$\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{0}{\Delta x} (v_{i+1}^{j+1} - v_i^{j+1}) + \frac{1}{\Delta x} (v_{i+1}^j - v_i^j) \dots\dots\dots 2.3$$

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{z_{i+1} - z_i}{\Delta x} \dots\dots\dots 2.4$$

$$\frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{v_{i+1}^{j+1} + v_i^{j+1}}{2g\Delta x} (v_{i+1}^j - v_i^j) \dots\dots\dots 2.5$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{1}{2g\Delta t} (u_i^{j+1} + v_{i+1}^{j+1}) - (u_i^j - v_{i+1}^j) \dots\dots\dots 2.6$$

$$S\delta = \frac{1}{4} \left[\frac{n}{R_{M_i}^j} \right]^{2/3} [u_i^j + v_{i+1}^j] |u_i^{j+1} + v_{i+1}^{j+1}| \dots\dots\dots 2.7$$

$$\frac{\partial(AV)}{\partial x} = \frac{A_{i+1}^j v_{i+1}^{j+1} - A_i^j u_i^{j+1}}{\Delta x} \dots\dots\dots 2.8$$

$$B \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{B_{i+1}^j + B_i^j}{4\Delta t} [(v_{i+1}^{j+1} + v_i^{j+1}) - (v_{i+1}^j + v_i^j)] \dots\dots\dots 2.9$$

PARA CONOCER LOS VALORES DE LAS LITERALES HACER REFERENCIA A LA HOJA DE NOMENCLATURA Y VER FIGURA 2.1

SUSTITUYENDO LAS ECUACIONES 2.3 A 2.7 EN LA ECUACION 2.1 Y LAS ECUACIONES 2.8 Y 2.9 EN LA 2.2, SE OBTIENE DESPUÉS DE HACER SIMPLIFICACIONES QUE:

$$v_{i+1}^{j+1} - v_i^{j+1} + \frac{1-0}{0} (v_{i+1}^j - v_i^j) + \frac{z_{i+1} - z_i}{0} - \frac{\Delta x}{2g0\Delta t} (u_i^j + v_{i+1}^j) =$$

$$- \frac{1}{20} \left(\frac{v_{i+1}^j - v_i^j}{g} + \frac{\Delta x}{g\Delta t} + \frac{\Delta x}{2} \left[\frac{n}{R_{M_i}^j} \right]^{2/3} |u_i^j + v_{i+1}^j| \right) (u_i^{j+1} + v_{i+1}^{j+1}) \dots\dots\dots 2.10$$

$$A_i^j u_i^{j+1} - A_{i+1}^j v_{i+1}^{j+1} = \frac{\Delta x}{4\Delta t} (B_{i+1}^j + B_i^j) [(v_{i+1}^{j+1} + v_i^{j+1}) - (v_{i+1}^j + v_i^j)] \dots\dots\dots 2.11$$

ECUACIONES QUE FORMAN UN SISTEMA LINEAL NO HOMOGÉNEO EN u_i^{j+1} Y v_{i+1}^{j+1} ,
 INCÓGNITAS QUE PUEDEN DESPEJARSE USANDO LA REGLA DE CRAMER. LA SECCIÓN MÁS
 COMÚN EN LOS SISTEMAS HIDROAGRÍCOLAS ES LA TRAPEZOIDAL DEBIDO A CONDICIONES
 DE DISEÑO Y EN BASE A DICHA SECCIÓN SU ÁREA, PERÍMETRO MOJADO, RADIO Y AN-
 CHO DE SUPERFICIE LIBRE.

$$A_i^j = (b_i^j + m_i^j v_i^j) v_i^j \dots\dots\dots 2.12$$

$$PP_i^j = b_i^j + 2v_i^j \sqrt{1+(m_i^j)^2} \dots\dots\dots 2.13$$

$$R_i^j = \frac{A_i^j}{PP_i^j} \dots\dots\dots 2.14$$

$$B_i^j = b_i^j + 2m_i^j v_i^j \dots\dots\dots 2.15$$

$$R_{M_i}^j = (R_i^j + R_{i+1}^j)/2 \dots\dots\dots 2.16$$

Y DEFINIENDO A LOS SIGUIENTES COEFICIENTES POR SER DEL MISMO INSTANTE J Y -
 QUE ES CONOCIDO:

$$CA_i^j = -\frac{1}{2\theta} \left[\frac{v_{i+1}^j - u_i^j}{\theta} + \frac{\Delta X}{g\Delta t} + \frac{\Delta X}{2} \left(\frac{n}{R_{M_i}^{j2/3}} \right)^2 (u_i^j + v_{i+1}^j) \dots\dots\dots 2.17$$

$$CC_i^j = \frac{1-\theta}{\theta} (v_{i+1}^j - v_i^j) + \frac{z_{i+1} - z_i}{\theta} - \frac{\Delta X}{2g\Delta t\theta} (u_i^j + v_{i+1}^j) \dots\dots\dots 2.18$$

$$CB_i^j = \frac{(B_i^j + B_{i+1}^j) \Delta X}{4\Delta t} \dots\dots\dots 2.19$$

$$CD_i^j = (v_{i+1}^j + v_i^j) CB_i^j \dots\dots\dots 2.20$$

$$EA_i^j = A_i^j + A_{i+1}^j \dots\dots\dots 2.21$$

$$P_i^j = \frac{CB_i^j}{EA_i^j} + \frac{A_{i+1}^j}{CA_i^j EA_i^j} \dots\dots\dots 2.22$$

$$Q_{\lambda}^j = \frac{CB_{\lambda}^j}{\Sigma A_{\lambda}^j} - \frac{A_{\lambda+1}^j}{CA_{\lambda}^j \Sigma A_{\lambda}^j} \dots\dots\dots 2.23$$

$$R_{\lambda}^j = \frac{CC_{\lambda}^j A_{\lambda+1}^j}{CA_{\lambda}^j \Sigma A_{\lambda}^j} - \frac{CD_{\lambda}^j}{\Sigma A_{\lambda}^j} \dots\dots\dots 2.24$$

$$S_{\lambda}^j = \frac{A_{\lambda}^j}{CA_{\lambda}^j \Sigma A_{\lambda}^j} - \frac{CB_{\lambda}^j}{\Sigma A_{\lambda}^j} \dots\dots\dots 2.25$$

$$T_{\lambda}^j = \frac{A_{\lambda}^j}{CA_{\lambda}^j \Sigma A_{\lambda}^j} + \frac{CB_{\lambda}^j}{\Sigma A_{\lambda}^j} \dots\dots\dots 2.26$$

$$W_{\lambda}^j = \frac{CC_{\lambda}^j A_{\lambda}^j}{CA_{\lambda}^j \Sigma A_{\lambda}^j} + \frac{CD_{\lambda}^j}{\Sigma A_{\lambda}^j} \dots\dots\dots 2.27$$

CON AYUDA DE LAS FORMULAS 2.22, 2.27 Y LAS VELOCIDADES u_{λ}^{j+1} Y $v_{\lambda+1}^{j+1}$ --
DESPEJADAS DEL SISTEMA 2.10, 2.11 RESULTA:

$$u_{\lambda}^{j+1} = v_{\lambda+1}^{j+1} P_{\lambda}^j + v_{\lambda}^{j+1} Q_{\lambda}^j + R_{\lambda}^j \dots\dots\dots 2.28$$

$$v_{\lambda+1}^{j+1} = v_{\lambda+1}^{j+1} S_{\lambda}^j - v_{\lambda}^{j+1} T_{\lambda}^j + W_{\lambda}^j \dots\dots\dots 2.29$$

Y ESTABLECIENDO LA ECUACIÓN DE CONTINUIDAD EN LA SECCIÓN λ , SE OBTIENE:

$$A_{\lambda}^j v_{\lambda}^{j+1} + \theta QE_{\lambda}^{j+1} + (1 - \theta) QE_{\lambda}^j = A_{\lambda}^j u_{\lambda}^{j+1} \dots\dots\dots 2.30$$

SUSTITUYENDO EN LA ECUACIÓN (2.28), (2.29) EN (2.30), RESULTA:

$$T_{\lambda-1}^j v_{\lambda-1}^{j+1} + (Q_{\lambda}^j - S_{\lambda-1}^j) v_{\lambda}^{j+1} + P_{\lambda}^j v_{\lambda+1}^{j+1} = W_{\lambda-1}^j - R_{\lambda}^j + \frac{1}{A_{\lambda}^j} (\theta QE_{\lambda}^{j+1} + (1 - \theta) QE_{\lambda}^j) \dots\dots\dots 2.31$$

DADO QUE EL CÁLCULO SE HACE PARA RÉGIMEN SUBCRÍTICO (QUE ES EL CASO-QUE SE ANALIZA EN EL PRESENTE TRABAJO), SE REQUIERE ESTABLECER UNA FRONTE-RA AL INICIO DEL CANAL Y OTRA AL FINAL; CON EL ESQUEMA SE FORMARÁ UN SIS-TEMA DE ECUACIONES TRIDIAGONAL QUE SE RESUELVE POR EL MÉTODO DE DOBLE BA-RRIDO, EN LA FIGURA 2.2, SE PRESENTA UN DIAGRAMA DE APLICACIÓN.

2.2 ESQUEMA PREISSMANN (SOGREAN) (2).

ESTE ESQUEMA TAMBIÉN ES UN ESQUEMA IMPLÍCITO EL CUAL ES MUN-DIALMENTE CONOCIDO Y UTILIZADO Y FUE PUBLICADO POR PRIMERA OCASIÓN POR - RICHTMYER EN 1957 CUANDO LO APLICÓ EN PROBLEMAS DE PROPAGACIÓN DE CALOR - Y POSTERIORMENTE SE APLICÓ A FLUJO EN CANALES EN RÉGIMEN NO PERMANENTE, - EL ESQUEMA QUE SE PRESENTA ES LA VERSIÓN DESARROLLADA EN 1960 POR SO- - GREAH DE GRENoble, FRANCIA.

TAMBIÉN POR SER DE UN ESQUEMA CONFIABLE Y PROBADO SE UTILIZÓ PARA -- COMPARARLO CON EL ESQUEMA SÁNCHEZ-FUENTES.

EL ESQUEMA SE BASA EN LA ECUACIÓN DE CONTINUIDAD EN SU FORMA:

$$\frac{\partial z'}{\partial x} + \frac{1}{B} \frac{\partial Q'}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots 2.32$$

Q' SE UTILIZA PARA GASTO Y NO CONFUNDIR CON EL PARÁMETRO Q DEL ESQUE-MA ANTERIOR, z' ES LA ELEVACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL AGUA.

Y LA ECUACIÓN DINÁMICA EN LA FORMA:

$$\frac{\partial Q'}{\partial x} - \frac{Q'B}{A} \frac{\partial z'}{\partial x} + \frac{\alpha Q'}{A} \frac{\partial Q'}{\partial x} - \frac{\alpha Q'^2}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial z'}{\partial x} + \frac{Q'^2}{2A} \frac{\partial \alpha}{\partial x} + Ag \frac{Q/Q'}{A^2} = 0 \dots 2.33$$

VER (ANEXO 1) PARA SU OBTENCIÓN:

$$K = AR^{2/3} / n$$

Y UTILIZANDO LAS DIFERENCIAS FINITAS:

$$\delta(x, z) = \frac{\theta}{2} \left[\delta_{i+1}^{j+1} + \delta_i^{j+1} \right] + \frac{1-\theta}{2} \left[\delta_{i+1}^j + \delta_i^j \right] \dots\dots\dots 2.34$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial X} = \theta \frac{\delta_{i+1}^{j+1} - \delta_i^{j+1}}{\Delta X} + \frac{\delta_{i+1}^j - \delta_i^j}{\Delta X} (1 - \theta) \dots\dots\dots 2.35$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial t} = \frac{\delta_{i+1}^{j+1} - \delta_{i+1}^j + \delta_i^{j+1} - \delta_i^j}{2\Delta t} \dots\dots\dots 2.36$$

VER FIGURA 2.3.

Y ADEMÁS CONSIDERANDO ENTRE DOS INSTANTES QUE:

$$\delta^{j+1} = \delta^j + \Delta \delta \dots\dots\dots 2.37$$

$\Delta \delta$ = INCREMENTO EN EL INTERVALO DE TIEMPO.

SUSTITUIDAS 2.34, 2.35 Y 2.36 EN 2.32 Y 2.33 SE LLEGA A:

CONTINUIDAD:

$$H_i \Delta Z_{i+1}^1 + 1b_i \Delta Q_{i+1}^1 = C_i \Delta Z_i^1 + D_i \Delta Q_i^1 + G_i \dots\dots\dots 2.38$$

Y LA DINÁMICA COMO:

$$H_i^1 \Delta Z_{i+1}^1 + 1b_i^1 \Delta Q_{i+1}^1 = C_i^1 \Delta Z_i^1 + D_i^1 \Delta Q_i^1 + G_i^1 \dots\dots\dots 2.39$$

DONDE:

$$H_i = 1 - \frac{4\theta\Delta t}{\Delta X} \frac{Q_{i+1}^1 - Q_i^1}{(B_{i+1} + B_i)^2} \frac{dB_{i+1}}{dZ_{i+1}^1} \dots\dots\dots 2.40$$

$$1b_i = \frac{4\theta\Delta t}{\Delta X} \frac{1}{B_{i+1} + B_i} \dots\dots\dots 2.41$$

$$C_i = -1 + \frac{4\theta\Delta t}{\Delta X} \frac{Q_{i+1}^1 - Q_i^1}{(B_{i+1} + B_i)^2} \frac{dB_i}{dZ_i^1} \dots\dots\dots 2.42$$

$$D_i = \frac{-4\theta\Delta t}{\Delta X} (B_i + B_{i+1}) \dots\dots\dots 2.42'$$

$$G_i = \frac{1b_i}{\theta} (Q_{i+1}^1 - Q_i^1) \dots\dots\dots 2.43$$

$$H_i^1 = -\frac{1}{2} \left(\frac{Q_{i+1}^1 B_{i+1}}{A_{i+1}} + \frac{Q_i^1 B_i}{A_i} \right) + \theta \frac{\Delta t}{\Delta X} \left((Q_{i+1}^1 - Q_i^1) \left(\frac{Q_{i+1}^1}{A_{i+1}} \frac{dA_{i+1}}{dZ_{i+1}^1} \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{Q_{i+1}^1 B_{i+1}}{A_{i+1}^2} \right) - B_{i+1} \left(\frac{Q_{i+1}^1}{A_{i+1}} \frac{dA_{i+1}}{dZ_{i+1}^1} + \frac{Q_i^1}{A_i^2} \right) - \frac{Q_i^1}{A_i^2} (A_{i+1} - A_i) \right)$$

$$\begin{aligned} & \left(\frac{da_{i+1}}{dz_{i+1}^2} - \frac{2a_{i+1} B_{i+1}}{A_{i+1}} \right) + 15_{i+1} (z_{i+1}' - z_i') - \frac{Q_{i+1}' B_{i+1}}{2A_{i+1}^2} (a_{i+1} - a_i) \\ & + g(A_{i+1} + A_i) + \frac{1}{2} \left(\frac{Q_{i+1}'^2}{A_{i+1}} + \frac{Q_i'}{A_i} \right) \frac{da_{i+1}}{dz_{i+1}'} + g\theta\Delta t \frac{Q_{i+1}' / Q_{i+1}'}{K_{i+1}^2} \\ & (B_{i+1} - \frac{2A_{i+1}}{K_{i+1}} \frac{dK_{i+1}}{dz_{i+1}'}) \dots\dots\dots 2.44 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1b_i' &= 1 + \frac{\theta\Delta t}{\Delta X} \left(\frac{a_{i+1} Q_{i+1}'}{A_{i+1}} + \frac{a_i Q_i'}{A_i} + (Q_{i+1}' + Q_i') \frac{a_{i+1}}{A_{i+1}} - (A_{i+1} A_i) \right. \\ & \left. \frac{2a_{i+1} Q_{i+1}'}{A_{i+1}^2} + (a_{i+1} - a_i) \frac{Q_{i+1}'}{A_{i+1}} \right) + 2g\theta\Delta t \frac{A_{i+1}/Q_{i+1}'}{K_{i+1}^2} \dots\dots 2.45 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_i' &= \frac{1}{2} \left(\frac{Q_{i+1}' B_{i+1}}{A_{i+1}} + \frac{Q_i' B_i}{A_i} \right) - \frac{\theta\Delta t}{\Delta X} \left((Q_{i+1}' - Q_i') \left(\frac{Q_i'}{A_i} \frac{da_i}{dz_i'} - \frac{Q_i' B_i a_i}{A_i^2} \right) \right. \\ & + B_i \left(\frac{a_{i+1} Q_{i+1}'^2}{A_{i+1}^2} + \frac{a_i Q_i'^2}{A_i^2} \right) - \frac{Q_i'^2}{A_i^2} (A_{i+1} - A_i) \left(\frac{da_i}{dz_i'} - \frac{2a_i B_i}{A_i} + gB_i \right) \\ & (z_{i+1}' - z_i') - \frac{Q_i'^2 B_i}{2A_i^2} (a_{i+1} - a_i) - g(A_{i+1} + A_i) - \frac{1}{2} \left(\frac{Q_{i+1}'}{A_{i+1}} + \right. \\ & \left. \frac{Q_i'^2}{A_i} \right) \frac{da_i}{dz_i'} - g\theta\Delta t \frac{Q_i' / Q_i'}{K_i^2} - (B_i - \frac{2A_i}{K_i} \frac{dK_i}{dz_i'}) \dots\dots\dots 2.46 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_i' &= -1 - \frac{\theta\Delta t}{\Delta X} \left(- \frac{a_{i+1} Q_{i+1}'}{A_{i+1}} - \frac{a_i Q_i'}{A_i} + (Q_{i+1}' - Q_i') \frac{a_i}{A_i} - (A_{i+1} - A_i) \right. \\ & \left. \frac{2a_i Q_i'}{A_i^2} + (a_{i+1} - a_i) \frac{Q_i'}{A_i} \right) - 2g\theta\Delta t \frac{A_i/Q_i'}{K_i^2} \dots\dots\dots 2.47 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_i' &= - \frac{\Delta t}{\Delta X} \left((Q_{i+1}' - Q_i') \left(\frac{a_{i+1} Q_{i+1}'}{A_{i+1}} + \frac{a_i Q_i'}{A_i} \right) - (A_{i+1} - A_i) \left(\frac{a_{i+1} Q_{i+1}'^2}{A_{i+1}^2} \right. \right. \\ & \left. \left. - \frac{a_i Q_i'^2}{A_i^2} \right) + g(z_{i+1}' - z_i') (A_{i+1} + A_i) + \left(\frac{Q_{i+1}'}{2A_{i+1}} + \frac{Q_i'^2}{2A_i} \right) (a_{i+1} - a_i) \right) \\ & - g\Delta t \left(\frac{Q_{i+1}'/Q_{i+1}'/A_{i+1}}{K_{i+1}^2} + \frac{Q_i'/Q_i'/A_i}{K_i^2} \right) \dots\dots\dots 2.48 \end{aligned}$$

FORMANDO LAS ECUACIONES 2.38 Y 2.39 UN SISTEMA DE ECUACIONES EN CADA PUNTO EN CADA INSTANTE PERO DEBIDO A QUE FORMAN UN SISTEMA TRIDIAGONAL -- LÍNEAL SE UTILIZÓ EL MÉTODO DE DOBLE BARRIDO Y CONSIDERANDO LAS SIGUIENTES EXPRESIONES VALIDAS EN UNA RELACIÓN LÍNEAL SE LLEGA A QUE:

$$\Delta z'_i = \frac{H_i}{C_i + D_i E_i} \Delta z'_{i+1} + \frac{1b_i}{C_i + D_i E_i} Q'_{i+1} - \frac{G_i + D_i F_i}{C_i + D_i E_i} \dots\dots\dots 2.49$$

EQUIVALENTE A:

$$\Delta z'_i = L_i \Delta z'_{i+1} + M_i \Delta Q'_{i+1} + N_i \dots\dots\dots 2.50$$

DONDE:

$$L_i = \frac{H_i}{C_i + D_i E_i}; M_i = \frac{1b_i}{C_i + D_i E_i}; N_i = - \frac{G_i + D_i F_i}{C_i + D_i E_i} \dots\dots\dots 2.51$$

$$\Delta Q'_{i+1} = \frac{H_i (C_i + D_i E_i) - H'_i (C_i + D_i E_i)}{B'_i (C_i + D_i E_i) - 1b_i (C_i + D_i E_i)} \Delta z'_{i+1} + \frac{(G_i + D_i F_i) (C_i + D_i E_i)}{B'_i (C_i + D_i E_i)} - \frac{(G_i + D_i F_i) (C_i + D_i E_i)}{1b_i (C_i + D_i E_i)} \dots\dots\dots 2.52$$

QUE ES UNA RELACIÓN LÍNEAL INDICADA DE LA SIGUIENTE MANERA:

$$\Delta Q'_{i+1} = E_{i+1} \Delta z'_i + F_{i+1} \dots\dots\dots 2.53$$

CALCULANDO E_{i+1} E F_{i+1} CONOCIDO E_i Y F_i CON LAS CONDICIONES PRONTERA, TIENE UN PROCEDIMIENTO DE SOLUCIÓN PARECIDO AL SÁNCHEZ-FUENTES SÓLO QUE NO FORMA EL SISTEMA DE ECUACIONES SINO LO RESUELVE IMPLÍCITAMENTE - EN LA FIGURA 2.4 SE PRESENTA EL DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO.

EN AMBOS ESQUEMAS ES NECESARIO DAR UN PERÍODO DE "CALENTAMIENTO" POR LA DISCRETIZACIÓN DE LAS ECUACIONES DE SAINT-VENANT PARA DISIPAR ERRORES, - POR LO TANTO SE LE PUEDEN DAR VALORES INICIALES NO DEMASIADO APROXIMADOS - Y EN DICHO PERÍODO OSCILAR HASTA LLEGAR AL RÉGIMEN ESTABLECIDO CORRECTO EN LUGAR DE DAR UN PERFIL CALCULADO CON ALGÚN MÉTODO CLÁSICO.

2.3 TRÁNSITO DE AVENIDAS EN UN CANAL COMO MEDIO DE VERIFICACIÓN ENTRE LOS ESQUEMAS.

EN UN CANAL TRAPEZIAL DE 6 M. DE ANCHO Y TALUD 1:1 Y 1000 METROS DE LONGITUD SE ENCUENTRA EN RÉGIMEN ESTABLECIDO CON UN GASTO DE 10 M³/S Y UN TIRANTE DE 1.8 METROS CONSTANTE EN EL TIEMPO EN LA SECCIÓN FINAL, EL CANAL ES SUJETO EN LA SECCIÓN INICIAL (HIDROGRAMA DE ENTRADA) A UN INCREMENTO EN EL FLUJO DE 20 M³/S EN UN PERÍODO DE 10 MINUTOS. DESPUÉS ESTE FLUJO DECRECE UNIFORMEMENTE A LA CONDICIÓN INICIAL EN UN PERÍODO ADICIONAL DE 20 MINUTOS; EL CANAL TIENE UNA PENDIENTE S DE 0.0009 M/M Y UN COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING DE 0.015, EN ESTE PROBLEMA AUNQUE EN EL HIDROGRAMA DE ENTRADA ES MÁS SEVERO QUE UN REAL POR EL PICO TAN FUERTE QUE PRESENTA, TENDRÁ LA VENTAJA DE VERIFICAR EL ESQUEMA EN DICHAS CONDICIONES, REF. (1).

PARA RESOLVER EL PROBLEMA SE EMPLEÓ EL PROGRAMA P1 (ANEXO 3, REF. 1) CONSIDERANDO EL CANAL DIVIDIDO EN 10 TRAMOS DE 100 METROS CADA UNO Y $\Delta t = 30S$. CON UN FACTOR DE PESO $\theta = 0.9$, LOS RESULTADOS PARA DOS DIFERENTES TIEMPOS SE MUESTRAN EN LA TABLA 2.1, ASÍ COMO LOS DEL ESQUEMA PREISSMANN EN LOS MISMOS TIEMPOS CON EL PROGRAMA P2 (ANEXO 3).

EN LA APLICACIÓN DE LAS ECUACIONES DEL ESQUEMA PREISSMANN, SE CONSIDERÓ PARA EL EJEMPLO:

$\alpha =$ CONSTANTE EN EL TIEMPO E IGUAL A 1.

$$\frac{dK}{dz} = \frac{R_i^{j2/3}}{3n} (5B_i^j - 4R_i^j \sqrt{1 + m_i^{j2}}) \dots\dots\dots 2.54$$

$$\frac{dB_i^j}{dz} = 2m_i^j \dots\dots\dots 2.55$$

$$\frac{da_i^j}{dz} = 0 \dots\dots\dots 2.56$$

COMO SE MUESTRA EN LOS RESULTADOS OBTENIDOS (TABLA 2.1), EL ESQUEMA -

SÁNCHEZ-FUENTES ES PRACTICAMENTE IGUAL A EL PREISSMANN; CONSIDERANDO EL ESQUEMA SATISFACTORIO. ADEMÁS COMO SE VE, USA MENOS EXPRESIONES, SIENDO MÁS-FÁCIL DE APLICAR A CANALES PRISMÁTICOS ASÍ COMO NO PERDER EL PROBLEMA FÍSICO PORQUE NO REQUIERE DE MUCHAS DEDUCCIONES ALGEBRAICAS PARA LLEGAR A LAS-ECUACIONES CONSIDERADAS Y EN CONSECUENCIA USA UN 50% MENOS DE TIEMPO DE CÁLCULO EN LOS PROGRAMAS UTILIZADOS, CUYA DIFERENCIA SE PUEDE MODIFICAR AL UTILIZAR UN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN ESTRUCTURADA.

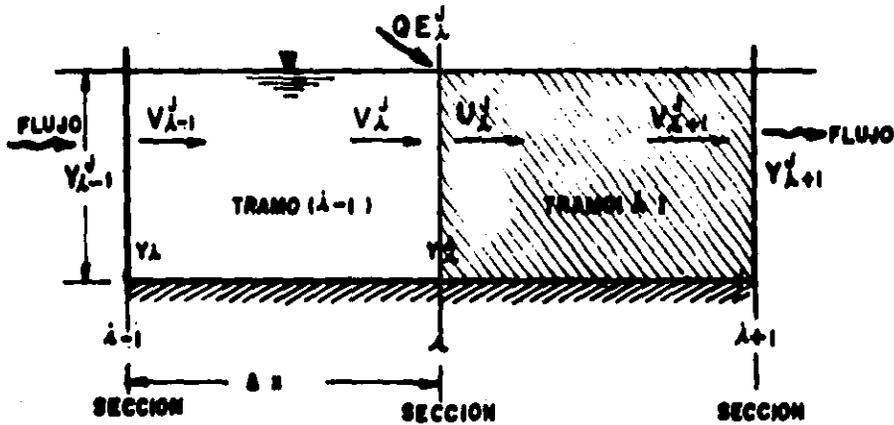


Figura 2.1. Esquema Sánchez-Fuentes.

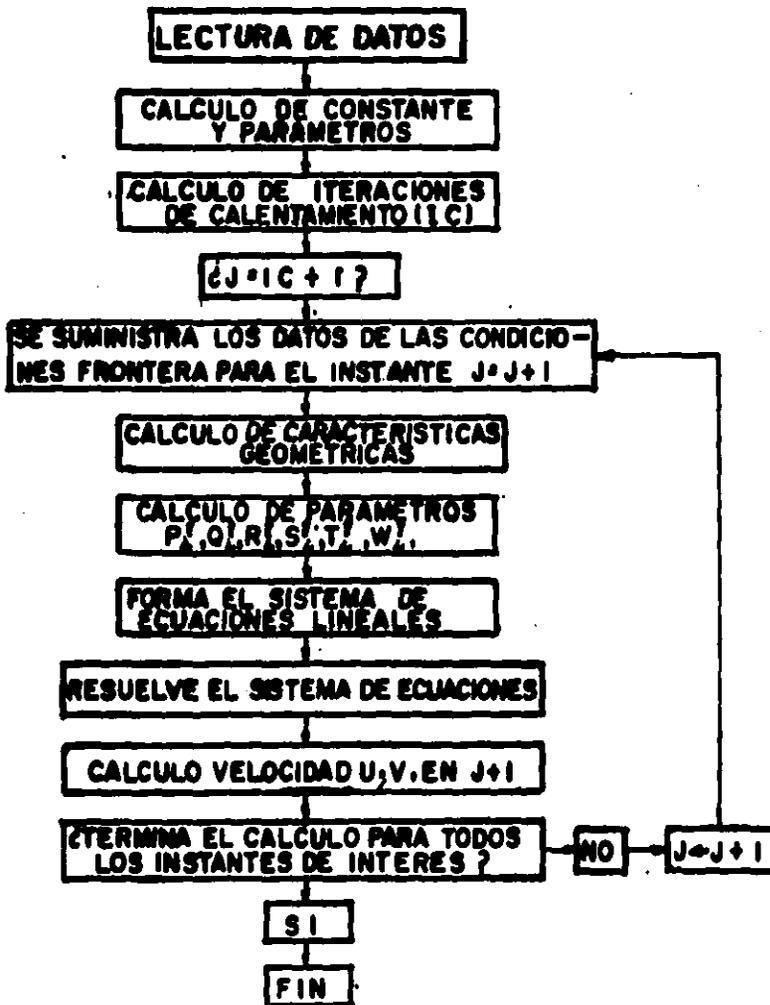


Figura 2.2. Diagrama de aplicación del Esquema Sánchez-Fuentes.

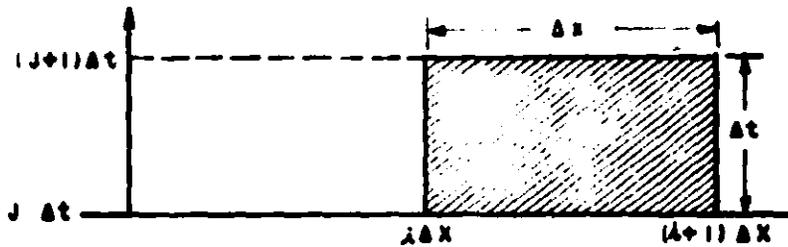


Figura 2.3. Esquema Preissmann

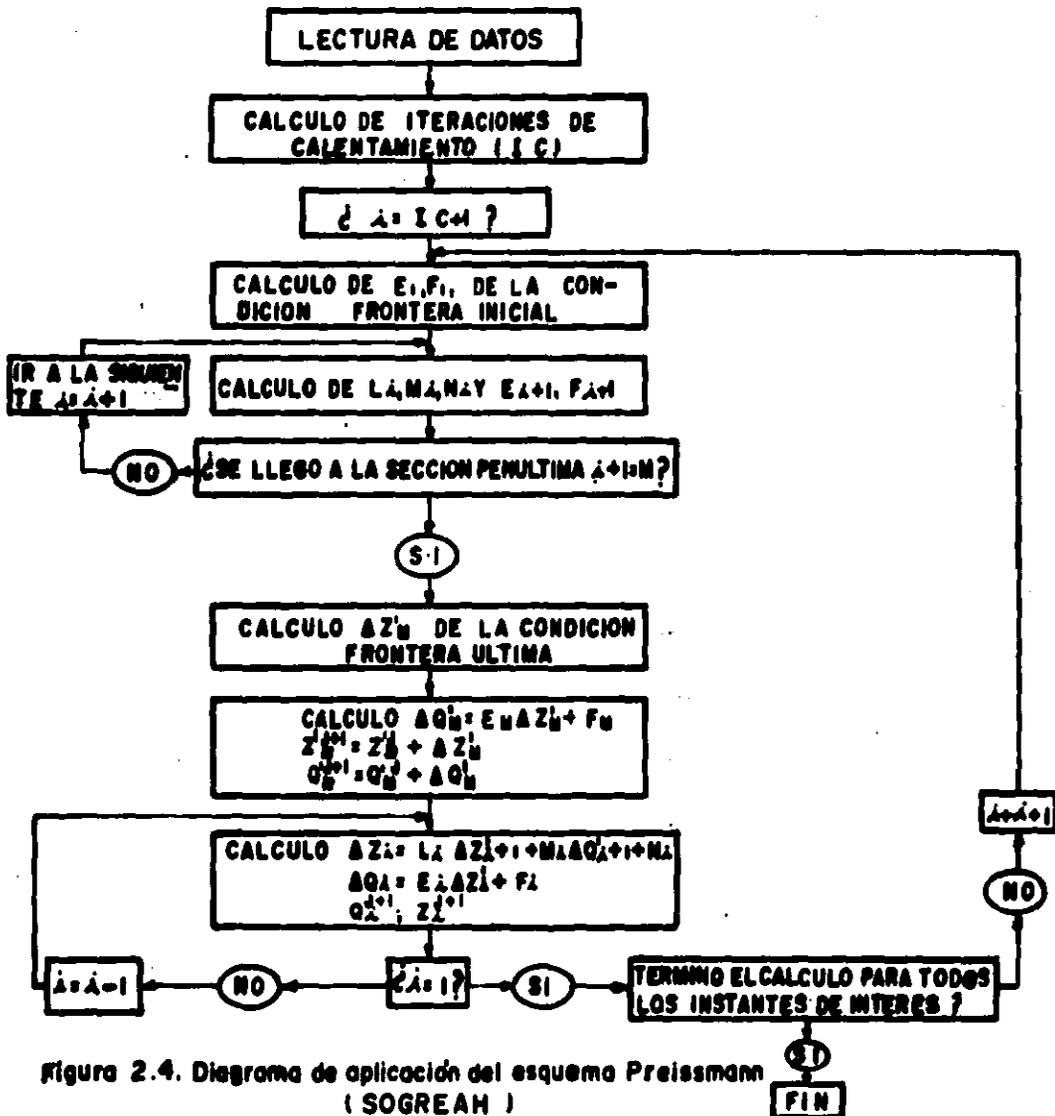


Figura 2.4. Diagrama de aplicación del esquema Preissmann (SOGREAH)

TABLA 2.1

RESULTADOS DE SIMULACIÓN ENTRE EL ESQUEMA PREISSMANN
Y EL SÁNCHEZ-FUENTES PARA UN TIEMPO: T= 120 Y 150 SEG.

ESQUEMA PREISSMANN

ITERACION 25 TIEMPO 120 GASTO E. 14
SECC. VEL.V. TIRANTE GASTO

1	1.4959	1.1851	14.0000
2	1.5500	1.2108	13.1482
3	1.4020	1.2467	12.3435
4	1.2595	1.2920	11.6203
5	1.1317	1.3466	11.0287
6	1.0241	1.4098	10.5951
7	0.9361	1.4802	10.3046
8	0.8640	1.5558	10.1229
9	0.8037	1.6351	10.0160
10	0.7523	1.7168	9.9597
11	0.7081	1.8000	9.9418

ITERACION 26 TIEMPO 150 GASTO E. 15
SECC. VEL.V. TIRANTE GASTO

1	1.7615	1.2166	15.0000
2	1.6186	1.2408	14.1319
3	1.4724	1.2750	13.3017
4	1.3289	1.3179	12.5202
5	1.1943	1.3687	11.8151
6	1.0743	1.4271	11.2227
7	0.9723	1.4926	10.7652
8	0.8881	1.5640	10.4396
9	0.8192	1.6401	10.2266
10	0.7628	1.7192	10.1053
11	0.7169	1.8000	10.0653

ESQUEMA SÁNCHEZ-FUENTES

ITERACION 25 TIEMPO 120 GASTO E. 14
SECC. VEL.V TIRANTE GASTO VEL.U

1	0.0000	1.1913	14.2977	1.6689
2	1.5308	1.2189	13.4701	1.5308
3	1.3827	1.2531	12.5673	1.3827
4	1.2457	1.2983	11.8029	1.2457
5	1.1132	1.3485	11.0311	1.1132
6	1.0055	1.4090	10.4964	1.0055
7	0.9217	1.4788	10.1932	0.9217
8	0.8546	1.5547	10.0373	0.8546
9	0.7983	1.6344	9.9614	0.7983
10	0.7495	1.7165	9.9268	0.7495
11	0.7062	1.8000	9.9151	

ITERACION 26 TIEMPO 150 GASTO E. 15
SECC. VEL.V TIRANTE GASTO VEL.U

1	0.0000	1.2239	15.3774	1.7392
2	1.5966	1.2470	14.4287	1.5966
3	1.4567	1.2822	13.6023	1.4567
4	1.3148	1.3240	12.7501	1.3148
5	1.1828	1.3739	11.9831	1.1828
6	1.0595	1.4289	11.2468	1.0595
7	0.9564	1.4916	10.6872	0.9564
8	0.8747	1.5620	10.3319	0.8747
9	0.8097	1.6382	10.1313	0.8097
10	0.7564	1.7181	10.0305	0.7564
11	0.7118	1.8000	9.9943	

CAPITULO 3

CONDICIONES DE FRONTERA.

PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE FLUJO NO PERMANENTE EN RÉGIMEN SUBCRÍTICO PARA CANALES SE NECESITA EL CONOCIMIENTO DE LAS CONDICIONES INICIALES Y FINALES AL TRANSCURRIR EL TIEMPO Y LAS INTERMEDIAS DONDE SE TENGAN SECCIONES DE CONTROL; PARA ELLO EXISTEN DIVERSAS CONDICIONES FRONTERA COMO EN EL CASO DE TENER TIRANTE CONSTANTE EN UN EXTREMO; ELLO SE EJEMPLIFICA EN EL PROBLEMA DEL CAPÍTULO ANTERIOR Y EN LA PRIMERA SIMULACIÓN DE LA RED DEL CAPÍTULO 4; EN ESTE CAPÍTULO SE TRATARÁ DE DESARROLLAR LAS CONDICIONES MÁS COMUNES QUE SE PRESENTAN EN LOS DISTRITOS DE RIEGO QUE ES EL CASO DE LAS COMPUERTAS Y SUS VARIANTES Y LA DESCARGA LIBRE O AHOGADA.

PARA EL CASO DE TIRANTE CONSTANTE EN EL TIEMPO EN LA SECCIÓN FINAL SE DEBE SATISFACER LA ECUACIÓN DE VELOCIDAD (2.29) EN LA FORMA:

$$v_M^{j+1} - T_{M-1}^j v_{M-1}^{j+1} + w_{M-1}^j + S_{M-1}^j v_F \dots\dots\dots 3.1$$

Y LA ECUACIÓN PARA EL SISTEMA EN LA SECCIÓN PENÚLTIMA ES:

$$T_{M-2}^j v_{M-2}^{j+1} + (Q_{M-1}^j - S_{M-2}^j) v_{M-1}^{j+1} = w_{M-2}^j - R_{M-1}^j - P_M^j v_F \dots\dots\dots 3.2$$

3.1 HIDROGRAMA DE ENTRADA.

PARA EL CASO DE UN TRÁNSITO DE UN CANAL SE REQUIERE CONOCER LA LEY DE VARIACIÓN DE GASTO A LA ENTRADA DEL CANAL CON RESPECTO AL TIEMPO - DANDO VALORES DE CAUDAL PARA LOS INTERVALOS DE TIEMPO CONSIDERADOS EN FORMA ANALÍTICA O EN FORMA TABULAR PROPORCIONÁNDOSELOS A LA COMPUTADORA COMO ES EL CASO DEL EJEMPLO DEL CAPÍTULO ANTERIOR. LA ECUACIÓN EN LA SECCIÓN- INICIAL TOMARÍA LA FORMA SEGUN 2.31.

$$v_1^{j+1} Q_1^j + v_2^{j+1} P_1^j = -R_1^j + \frac{1}{A_1^j} \left[\theta Q E_1^{j+1} + (1-\theta) Q E_1^j \right] \dots\dots\dots 3.3$$

3.2 COMPUERTAS.

LAS COMPUERTAS SON ESTRUCTURAS DE CONTROL PRINCIPALMENTE EMPLEADAS EN LOS SISTEMAS DE RIEGO, ELLAS POR LO GENERAL SON LAS QUE REGULAN LA CANTIDAD DE AGUA SUMINISTRADA A LA PARCELA. EXISTEN COMPUERTAS RADIALES Y DESLIZANTES REF. (4 Y 5). LA ECUACIÓN QUE GOBIERNA LA CANTIDAD DE FLUJO ES LA ECUACIÓN DE ORIFICIO Y PUEDEN DESCARGAR LIBRES O AHOGADAS, HAY EXPRESIONES QUE RELACIONAN EL AHOGAMIENTO DE LAS COMPUERTAS CON LA DIFERENCIA DE TIRANTES AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO REF. (2,13,14) AFECTADA A LA CARGA, Y OTRA EXPRESIÓN QUE LO AFECTA EN EL COEFICIENTE DE DESCARGA REF. (1,4,5), PERO TODO ESTO DEPENDERÁ DE LA CALIBRACIÓN QUE SE LE HAGA A CADA COMPUERTA EN CAMPO O EN LABORATORIO PARA ENCONTRAR SU ECUACIÓN. AQUÍ SE CONSIDERA QUE EL EFECTO DE AHOGAMIENTO INTERVIENE EN EL COEFICIENTE A PARTIR DE LOS RESULTADOS DE HENRY, REF. (4,5).

EN LA FIGURA (3.1a,3.1b) SE ESQUEMATIZA EL PROBLEMA DE LAS COMPUERTAS DESCARGANDO LIBRE O AHOGADAS.

LA ECUACIÓN QUE RIGE EL GASTO EN LAS COMPUERTAS ES:

$$q = C_d ab \sqrt{2gY_1} \dots\dots\dots 3.4$$

DONDE EL COEFICIENTE DE DESCARGA:

$$C_d = F(a, Y_1, Y_3). \quad \text{VER HOJA NOMENCLATURA.}$$

PARA HACER INTERVENIR LA COMPUERTA EN EL FLUJO NO PERMANENTE EN CANALES YA SE HA HECHO TRABAJOS COMO EL DE PEREZOWSKY-GRACIA (13), SÁNCHEZ-FUENTES (1), Y PADILLA (14) DE LOS CUALES SE TOMARON LAS IDEAS DIRECTRICES DEL SIGUIENTE DESARROLLO.

3.2.1 COMPUERTA INICIAL.

PARA EL CASO DE UNA COMPUERTA INICIAL TENDREMOS EL CASO EN EL QUE EL TIRANTE AGUAS ARRIBA VA A PERMANECER CONSTANTE, FIGURA 3.2, O SEA QUE LA VARIACIÓN DE ESTE AGUAS ARRIBA ES INAPRECIABLE, COMO ES EL CASO DE

DE UN GRAN ALMACENAMIENTO. PARA ELLO SE TIENE QUE $V1=V0 =$ CONSTANTE Y QUE LA ECUACIÓN 3.4 ES VÁLIDA PARA DESCARGA LIBRE O AHOGADA. PARA LA ESTIMACIÓN DEL VALOR DE Cd ES NECESARIO ENCONTRAR UNA RELACIÓN DE CAMPO EN FORMA GRÁFICA O ANALÍTICA PERO DEBIDO A QUE NO EXISTE TAL CALIBRACIÓN, - UNA FORMA MUY APROXIMADA DE ENCONTRARLO CUANDO SE TIENEN COMPUERTAS PLANAS DESLIZANTES, ES UTILIZAR LOS EXPERIMENTOS DE HENRY REF. (4, 5). ELABORANDO UN AJUSTE A DICHS EXPERIMENTOS CON BASE EN LOS CRITERIOS DE LA REFERENCIA (1), DONDE SE TOMAN EN CUANTA TODOS LOS PARÁMETROS BÁSICOS QUE INTERVIENEN EN EL COEFICIENTE SE TIENE:

$$Cd = PE (V1/V0) + R0 \dots\dots\dots 3.5$$

PE y R0 DEPENDERÁN DEL TIPO DE DESCARGA POR LO TANTO

$$VM = 1.019 (V0/\alpha)^{-0.369} \dots\dots\dots 3.6$$

$$CW = 0.53 (V0/\alpha)^{0.046} \dots\dots\dots 3.7$$

LA DESCARGA ES LIBRE CUANDO

$$V1/V0 < VM$$

Y:

$$PE = -.1259 \dots\dots\dots 3.8$$

$$R0 = .6452 \dots\dots\dots 3.9$$

LA DESCARGA SERÁ AHOGADA SI:

$$V1/V0 > VM$$

Y:

$$PE = \frac{CW - 0.1}{VM - T} \dots\dots\dots 3.10$$

$$R_0 = -PE + \dots \dots \dots 3.11$$

HACIENDO INTERVENIR UNA MANIOBRA DE APERTURA Y CIERRE ES NECESARIO - CONSIDERAR EN DIFERENCIAS FINITAS EL GASTO QUE ENTRA AL INSTANTE j Y EL $j+1$, Y CON LA ECUACIÓN 3.5.

EL GASTO AL INSTANTE $j+1$ RESULTA SER:

$$q^{j+1} = (PE \times \frac{v_1^{j+1}}{\sqrt{V_0}} + R_0) b^j \sqrt{2g} \sqrt{V_0} a^{j+1} \dots \dots \dots 3.12$$

ADEMÁS POR OTRA PARTE, EL GASTO PROMEDIO SERÁ:

$$\frac{q^{j+1} + q^j}{2} = \frac{\sqrt{2g} a^{j+1} b^j \sqrt{V_0}}{2V_0} PE v_1^{j+1} + \frac{\sqrt{2g} a^{j+1} b^j \sqrt{V_0}}{2} R_0 + \frac{q^j}{2} \dots 3.13$$

SATISFACIÉNDOSE ADEMÁS:

$$\frac{q^{j+1} + q^j}{2} = A_1^j u_1^{j+1} \dots \dots \dots 3.14$$

Y CON AUXILIO DE LA ECUACIÓN 2.28

$$\frac{q^{j+1} + q^j}{2} = A_1^j (p_1^j v_2^{j+1} + q_1^j v_1^{j+1} + R_1^j) \dots \dots \dots 3.14'$$

QUEDANDO LA EXPRESIÓN PARA LA ECUACIÓN INICIAL:

$$(Q_1^j - \frac{\sqrt{2g} a^{j+1} b^j PE^{j+1}}{2A_1^j \sqrt{V_0}}) v_1^{j+1} + p_1^j v_2^{j+1} = -R_1^j \frac{\sqrt{2g} a^{j+1} \sqrt{V_0} b^j}{2A_1^j} \dots \dots \dots 3.15$$

$$R_0^{j+1} + \frac{q^j}{2A_1^j} \dots \dots \dots 3.15$$

LA HIPÓTESIS CONSIDERADA ES QUE PARA EL CÁLCULO DE C_d^{j+1} SE UTILIZA EL VALOR DE PE^{j+1} Y R_0^{j+1} CALCULADO CON a^{j+1} , v_1^j , NO COMETIÉNDOSE ERROR SIGNIFICATIVO EN EL CÁLCULO.

3.2.2 COMPUERTA INTERMEDIA.

CONSIDERANDO EL AJUSTE ANTERIOR PARA C_d Y DEFINIENDO $v_1 = v_i$ - Y $v_3 = v_{i+1}$ EN DONDE LA COMPUERTA SE CONSIDERA EN EL CENTRO DE LA TRAMO i , FIGURA (3.3) Y CONSIDERANDO EL GASTO MEDIO QUE ENTRA COMO:

$$\bar{q} = q^j + \frac{dq}{2} \dots \dots \dots 3.16$$

PARA LA DIFERENCIAL TOTAL DE GASTO EXPRESADA COMO:

$$dq = \frac{\partial q}{\partial a} da + \frac{\partial q}{\partial Cd} dCd + \frac{\partial q}{\partial v} dv \dots\dots\dots 3.17$$

Y OBTENIENDO TODAS LAS DIFERENCIALES Y CONSIDERANDO A LAS DIFERENCIAS DE VARIABLES COMO INCREMENTOS EN EL TIEMPO DE LA FORMA:

$$da = a^{j+1} - a^j \dots\dots\dots 3.18$$

$$dCd = Cd^{j+1} - Cd^j \dots\dots\dots 3.19$$

$$dv = v_{i}^{j+1} - v_{i}^j \dots\dots\dots 3.20$$

SE LLEGA DESPUÉS DE SIMPLIFICAR A:

$$\bar{q} = \frac{1}{2} B_i^j \sqrt{2g} Cd^j \sqrt{v_i^j} a^{j+1} + \frac{1}{2} a^j B_i^j \sqrt{2g} \frac{1}{\sqrt{v_i^j}} PE^{j+1} v_{i+1}^{j+1} + \frac{1}{2} a^j B_i^j \sqrt{2g} \sqrt{v_i^j} RO^{j+1} + \frac{1}{4} B_i^j \sqrt{2g} a^j Cd^j \frac{1}{\sqrt{v_i^j}} v_i^{j+1} - \frac{1}{4} a^j B_i^j \sqrt{2g} Cd^j \sqrt{v_i^j} \dots\dots\dots 3.21$$

LA HIPÓTESIS CONSIDERADA EN EL CÁLCULO, ES QUE PE^{j+1} Y RO^{j+1} PARA OBTENER Cd^{j+1} SE ENCUENTRAN CON v_1^{j+1} , v_3^j , a^{j+1} .

LA COMPUERTA SE CONSIDERA LOCALIZADA EN EL CENTRO DEL TRAMO Y POR LO TANTO AFECTA LA SECCIÓN AGUAS ARRIBA (i) Y LA SECCIÓN AGUAS ABAJO (i+1) - LLEGANDO A MODIFICAR LAS ECUACIONES i, E i+1, QUEDANDO:

PARA LA SECCIÓN i SE DEBE CUMPLIR QUE:

$$\bar{q} = A_i^j v_i^{j+1} \dots\dots\dots 3.22$$

Y DE LAS ECUACIONES (2.29) Y (3.21) SE LLEGA A LA EXPRESIÓN PARA LA SECCIÓN i:

$$v_{i-1}^{j+1} T_{i-1}^j + v_i^{j+1} \left(\frac{q^j}{4A_i^j v_i^j} - S_{i-1}^j \right) + v_{i+1}^{j+1} \frac{q^j PE^{j+1}}{2A_i^j Cd^j v_i^j} = w_{i-1}^j - \frac{q^j}{2} \times \dots$$

$$\left(\frac{a^{j+1}}{a^j} + \frac{RO^{j+1}}{Cd^j} - \frac{1}{2}\right) \dots\dots\dots 3.23$$

PARA LA SECCIÓN $i+1$ SE DEBE TAMBIÉN SATISFACER:

$$\bar{q} = A_i^j v_{i+1}^{j+1} \dots\dots\dots 3.24$$

Y POR (2.29) Y (3.21) SE LLEGA A:

$$v_i^{j+1} \left(\frac{q^j}{4A_i^j v_i^j}\right) + v_{i+1}^{j+1} \left(\frac{q^j PE^{j+1}}{2A_i^j Cd^j v_i^j} - Q_{i+1}^j\right) - v_{i+2}^{j+1} P_{i+1}^j = R_{i+1}^j \frac{q^j}{2A_i^j} \times$$

$$\left(\frac{a^{j+1}}{a^j} + \frac{RO^{j+1}}{Cd^j} - \frac{1}{2}\right) \dots\dots\dots 3.25$$

QUE SERÍAN LAS ECUACIONES A MODIFICAR EN EL SISTEMA PLANTEADO.

3.2.3 COMPUERTA CON GASTO CONSTANTE DERIVADO.

EN LA FIGURA 3.4 SE ESQUEMATIZA LA COMPUERTA CON DERIVACIÓN Y SUS CORRESPONDIENTES LITERALES.

POR CONTINUIDAD:

$$\bar{q} = A_i^j v_i^{j+1} - QD \dots\dots\dots 3.26$$

Y POR LA ECUACIÓN (3.21) Y (2.23) SE TIENE:

$$-v_{i-1}^{j+1} T_{i-1}^j + v_i^{j+1} \left(S_{i-1}^j - \frac{q^j}{4A_i^j v_i^j}\right) - v_{i+1}^{j+1} \frac{q^j PE^{j+1}}{2A_i^j Cd^j v_i^j} = \frac{q^j}{2A_i^j} \left(\frac{a^{j+1}}{a^j} + \dots\dots\dots$$

$$\frac{RO^{j+1}}{Cd^j} - \frac{1}{2}\right) + \frac{QD}{A_i^j} - w_{i-1}^j \dots\dots\dots 3.27$$

3.3.3 COMPUERTA CERRADA.

EN LA FIGURA 3.5 SE ESQUEMATIZA EL CASO DE UNA COMPUERTA CERRA

DA, Y PARA ESTE CASO SE TIENE QUE $v_{cd}^j=0$ Y DE LA ECUACIÓN 2.28:

$$T_{D-1}^j v_{D-1}^{j+1} - S_D^j v_D^{j+1} = w_{D-1}^j \dots\dots\dots 3.28$$

3.3 DESCARGA LIBRE O AHOGADA.

CONSIDERANDO QUE LOS CANALES EN LOS SISTEMAS DE RIEGO PUEDEN -- DESCARGAR EN FORMA LIBRE O AHOGADA SE PRESENTA DICHA CONDICIÓN FRONTERA - (1), CONSIDERANDO A y_6 AL DESNIVEL ENTRE LA SUPERFICIE LIBRE DEL VASO DE GRANDES DIMENSIONES Y LA ELEVACIÓN DE LA PLANTILLA DE LA SECCIÓN TERMINAL M DEL CANAL QUE DESCARGA AHÍ, SE PUEDE CALCULAR LA VELOCIDAD CON LA ECUACIÓN 2.29, TAMBIÉN PUEDE CONOCERSE LA PROFUNDIDAD HIDRÁULICA CRÍTICA y_c , - Y SE TIENE:

$$y_c = \frac{(v_M^{j+1})^2}{g} \dots\dots\dots 3.29$$

COMO $y_6 = A_M/B_M$ DONDE A_M Y B_M SON EL ÁREA Y ANCHO DE SUPERFICIE LIBRE EN LA SECCIÓN TERMINAL PARA EL DESNIVEL y_6 ENTONCES $(v_M^{j+1})^2/g < y_6$ SE -- CONSIDERA QUE EL INTERVALO $j+1$ LA DESCARGA SERÁ AHOGADA CON LA CUAL $v_M^{j+1} = y_6$, PARA TODA j Y EL CÁLCULO SE HACE COMO SI FUERA UN TIRANTE CONSTANTE FINAL, PERO SI SUCEDE QUE $(v_M^{j+1})^2/g \geq y_6$ SE CONSIDERA LIBRE DE MODO QUE y_6 VARIARÍA CON EL TIEMPO Y EL CÁLCULO SE HARÍA DESDE LA SECCIÓN 1 HASTA LA M, EL MÉTODO SE PRESENTA EN SEGUIDA.

COMO EL MÉTODO ES SENSIBLE A LOS CAMBIOS DE DESCARGA LIBRE O AHOGADA SE PRESENTA EN LA FIGURA 3.6 LAS CURVAS QUE CON LAS FUNCIONES DE TRANSICIÓN SUAVIZAN EL CAMBIO, DE LA FIGURA LA CURVA 1 TIENE POR ECUACIÓN:

$$y_M = y_6 + \alpha v_M^B \dots\dots\dots 3.30$$

Y LA CURVA 2:

$$y_M = \frac{v_M^2}{g} \dots\dots\dots 3.31$$

LAS CUALES ESTÁN LIMITADAS POR v^* DE TAL MANERA QUE SI $v_M^{j+1} < v^*$ SE -

EMPLEA LA CURVA 1 HASTA EL VALOR DE V^* DE OTRA MANERA LA CURVA DOS, EL VALOR DE V^* SE DEFINE COMO:

$$\frac{V_M^2}{g} = K'' y_M^2 \dots\dots\dots 3.32$$

DONDE K'' ES UN VALOR PRÓXIMO A 1.05, LAS ECUACIONES 3.30 Y 3.31 SE PUEDEN REUNIR EN UNA SOLA MEDIANTE:

$$y_M = \delta + \alpha V_M^\beta \dots\dots\dots 3.33$$

RA: DONDE LOS PARÁMETROS α , β , δ , ESTÁN DEFINIDOS DE LA SIGUIENTE MANERA:

SI $\frac{V_M^2}{g} < K'' y_M^2$

$$\delta = y_M^2$$

$$\beta = 2K''/(K'' - 1)$$

$$\alpha = y_M^2 (K'' + 1)/V_M^\beta \dots\dots\dots 3.34$$

SI $\frac{V_M^2}{g} \geq K'' y_M^2$

$$\delta = 0$$

$$\beta = 2$$

$$\alpha = 1/g \dots\dots\dots 3.35$$

PARA LA SECCIÓN TRAPEZIAL LA PROFUNDIDAD HIDRÁULICA NO ES UNA ECUACIÓN LÍNEAL ($y_M = A\delta/B\delta$), ASÍ COMO LA ECUACIÓN 3.33, PARA LINEALIZARLAS SE USA EL DESARROLLO DE LA SERIE DE TAYLOR, DESPUÉS SE IGUALAN Y HACIENDO SIMPLIFICACIONES SE LLEGA A:

$$y_M^{j+1} = y_M^j + \left[\frac{B_M^{j2}}{B_M^{j2} - 2m_M A_M^j} \right] \left[\frac{-A_M^j}{y_M^j} + \delta + \alpha (V_M^j)^\beta (1-\beta) \right] + \left[\frac{B_M^{j2}}{B_M^{j2} - 2m_M A_M^j} \right] \left[\alpha B V_M^{j\beta-1} V_M^{j+1} \right] \dots\dots\dots 3.36$$

Y SUSTITUYENDO PARA LA VELOCIDAD LA ECUACIÓN (2.29) POR LA ECUACIÓN-

(3.1) PARA $i+1 = M$ SE ENCUENTRA:

$$(w_2) (T_{M-1}^j v_{M-1}^{j+1}) + (1 - (w_2) S_{M-1}^j) v_M^{j+1} = \left[\frac{B_M^{j2}}{B_M^{j2} - 2m_M A_M^j} \right] \left[\delta - \frac{A_M^j}{B_M^j} \right] + (w_2) \times$$

$$\left[w_{M-1}^j + \frac{1 - \beta}{\beta} v_M^j \right] + v_M^j \dots\dots\dots 3.37$$

SIENDO $w_2 = \left[\frac{B_M^{j2}}{B_M^{j2} - 2m_M A_M^j} \right] \alpha \beta (v_M^{j(B-1)}) \dots\dots\dots 3.38$

DONDE LA ECUACIÓN 3.37 SERÍA LA ECUACIÓN M-ESTIMA DEL SISTEMA TRIDIA GONAL.

PARA LA COMPUERTA INTERMEDIA SE REALIZARON MANIOBRAS DE CIERRE PARA - VER EL COMPORTAMIENTO DEL TRANSITORIO EN LOS TIRANTES AGUAS ARRIBA Y ABAJO DE LA COMPUERTA, PARA ELLO SE PROPUSÓ UN CANAL RECTANGULAR CON UNA COMPUERTA INICIAL FIJA DE 6 MTS. DE ANCHO Y ABERTURA DE 0.50 MTS. CON TIRANTE AGUAS ARRIBA CONSTANTE DE 2 MTS. Y UNA INTERMEDIA A UNA DISTANCIA DE 500 METROS A PARTIR DE LA INICIAL; LA LONGITUD TOTAL DEL CANAL ES DE 1000 METROS Y AL FINAL EXISTE UN ALMACENAMIENTO CON UN DESNIVEL ENTRE LA -- ELEVACIÓN DE LA PLANTILLA Y LA SUPERFICIE LIBRE DE 0.65 MTS., HACIÉNDOSE CIERRES DE 0.70 A 0.30 MTS. EN 10, 5, 2 Y 1 MINUTO.

EN LAS FIGURAS 3.7 Y 3.8 SE PRESENTA EL COMPORTAMIENTO DE DICHS TI- RANTES PARA EL CIERRE DE 10 Y 1 MINUTO CON UN INTERVALO DE TIEMPO (Δt) DE 5 SEGUNDOS; EN EL CASO DE CIERRE LENTO (10 MINUTOS) EXISTE OSCILACIÓN DE 0.54 AGUAS ABAJO Y 1.58 AGUAS ARRIBA PARA UN TIEMPO DE 150 SEGUNDOS CUAN- DO LA APERTURA ES DE 0.83 M PARA AMORTIGUARSE APROXIMADAMENTE A 200 SE-- GUNDOS Y DESPUÉS IR VARIANDO EN FORMA GRADUAL SIN VOLVERSE A PRESENTAR. - PARA EL TIEMPO DE CIERRE DE 1 MINUTO SE PRESENTA UNA CONDICIÓN PARECIDA - PERO ES MAYOR LA OSCILACIÓN QUE LLEGA A UN VALOR DE 2.00 Y 0.00 MTS. AGUAS ARRIBA Y ABAJO CORRESPONDIENTEMENTE CUANDO LA ABERTURA ES DE 0.65 MTS; SE NOTA UNA RELACIÓN ENTRE AMBAS MANIOBRAS Y CON UNA DE 5 MINUTOS PARA UN Δt DE 30 SEGUNDOS, LAS CUALES QUEDAN REPRESENTADOS CON EL MODELO, SIN EMBAR- GO CUANDO SE CAMBIÓ EL Δt A 5 SEGUNDOS EN EL CIERRE DE 5 MINUTOS SE AMOR-

TIGUARON LOS PICOS DE OSCILACIÓN BRUSCA, LO CUAL NO ES CONGRUENTE YA QUE -
EL Δt DE 30 SEGUNDOS SI LOS REGISTRA, POR LO TANTO SE DEBE DE CONTINUAR ES-
TUDIANDO EL ESQUEMA PARA DICHA CONDICIÓN FRONTERA Y CON EL AUXILIO DE UN -
EXPERIMENTO FÍSICO, YA QUE EL MODELO ES SATISFACTORIO DESPUÉS DE PASAR LAS-
OSCILACIONES Y PUDIERA SER QUE EL CIERRE BRUSCO SALGA DE LAS HIPÓTESIS PRO-
PUUESTAS ORIGINALMENTE EN LAS ECUACIONES DE SAINT-VENANT.

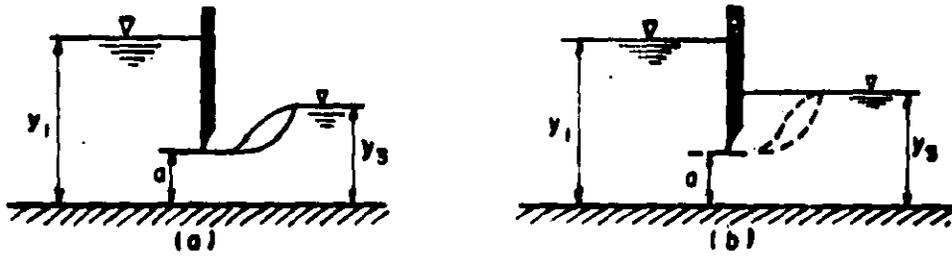


Figura 3.1. Compuertas deslizantes a) Libre b) Ahogada.

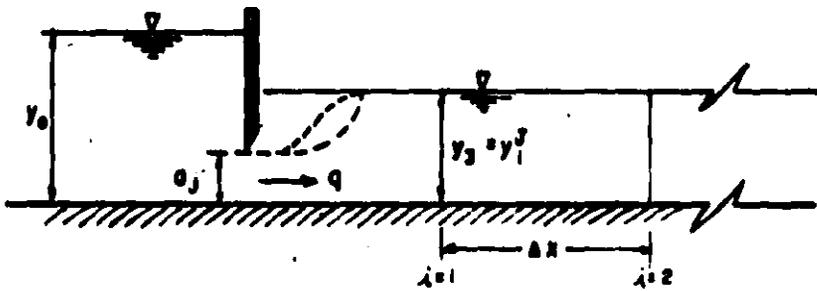


Figura 3.2. Compuerta parcial con tirante constante.

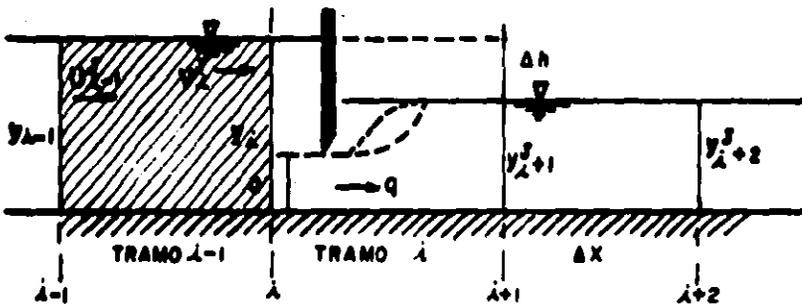


Figura 3.3. Compuerta intermedia.

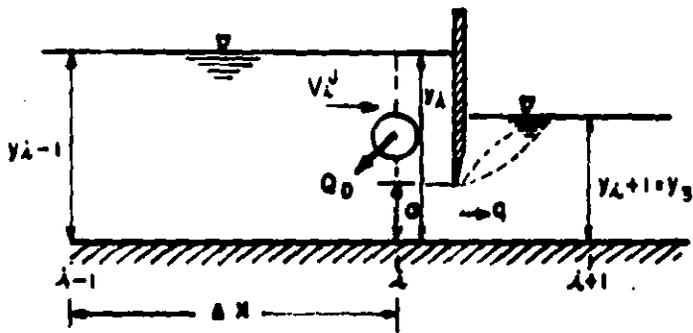


Figura 3.4. Compuerta con derivación.

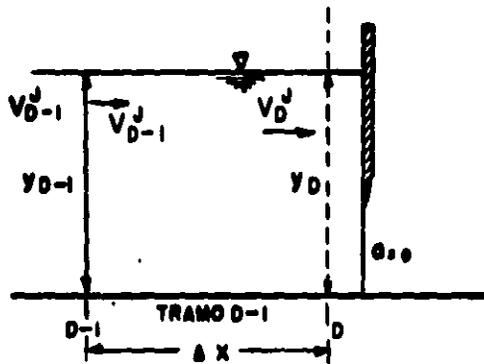


Figura 3.5. Compuerta cerrada.

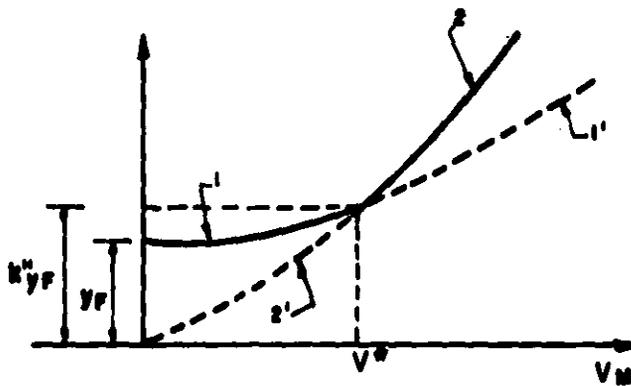


Figura 3.6. Curvas de profundidad Nébrica crítica contra velocidad.

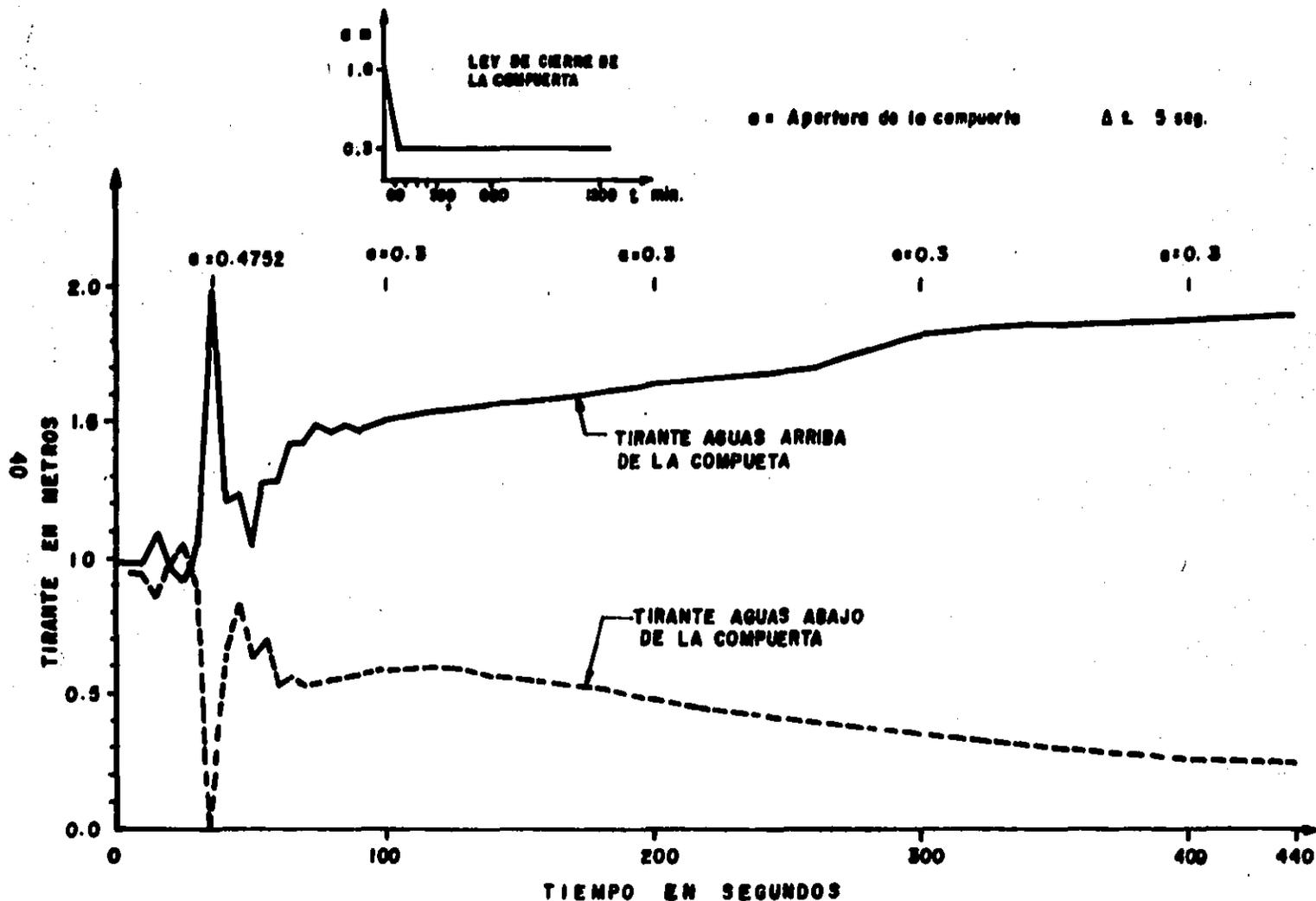


Figure 3.7. Variación del tirante de la compuerta intermedia aguas arriba y aguas abajo para un cierre rápido (60 segundos).

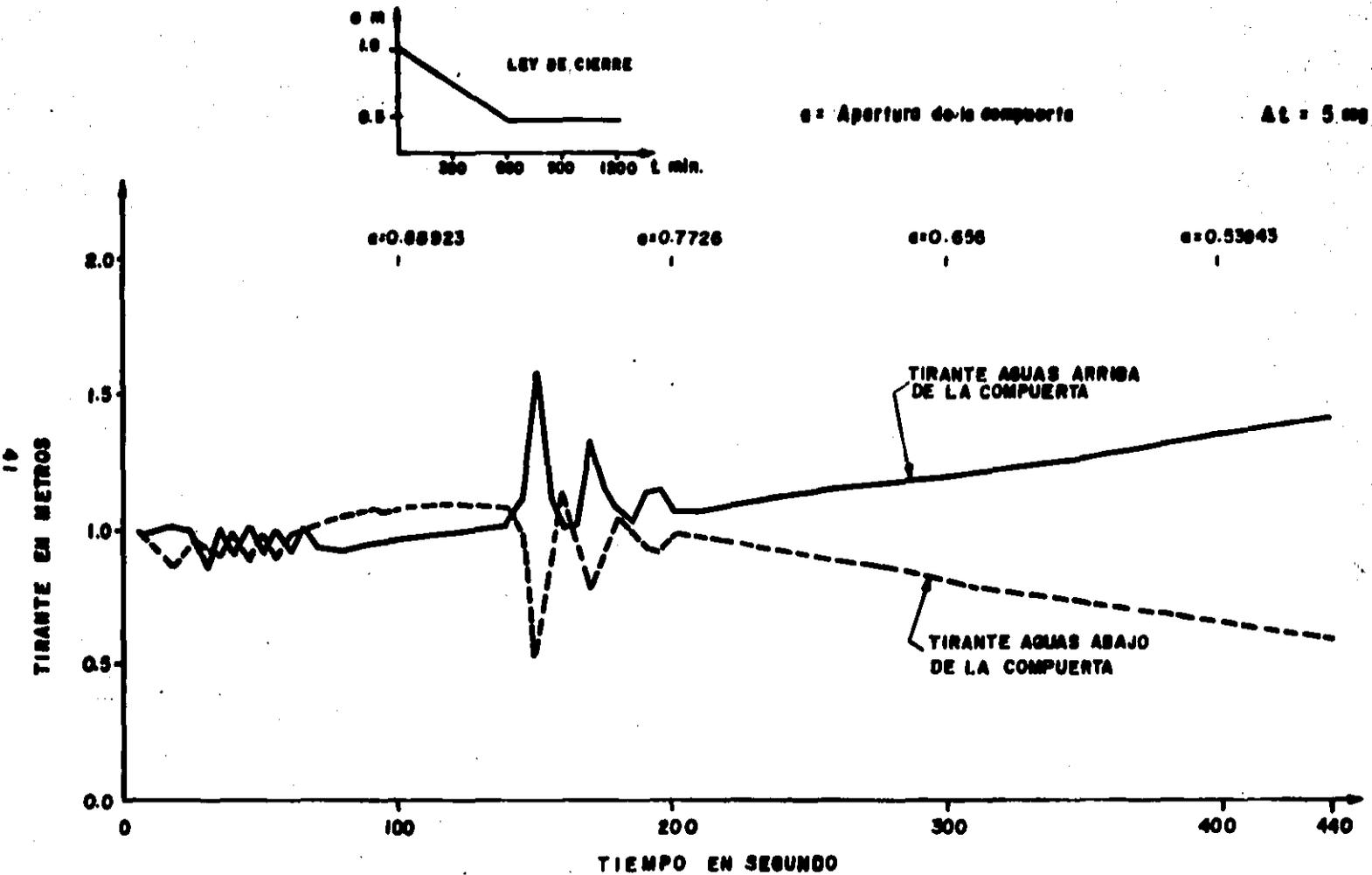


Figura 3.8. Variación del tirante de la compuerta intermedia aguas arriba y aguas abajo para un cierre lento. (600 seg)

CAPITULO 4

REDES DE CANALES.

PARA EL CASO DE PLANTEAR LA RED SE SEGUIRÁN LAS IDEAS EXPUESTAS EN LA REF. (1), DONDE SE PRESENTA UN MÉTODO ALTERNATIVO PARA LA SOLUCIÓN DE UNA RED EN GENERAL Y CONSISTE EN DIVIDIR A LOS CANALES EN SECCIONES PARES E IMPARES PARA SU CÁLCULO INDEPENDIENTE AL TRANSCURRIR EL TIEMPO, EL CUAL SE CONSIDERA ACEPTABLE YA QUE SE COMPROBÓ QUE SE OBTIENEN RESULTADOS SATISFACTORIOS COMPARADOS CON LOS ENCONTRADOS AL NO CONSIDERAR SEPARACIÓN, ESTE PROCESO ORIGINA QUE SE REDUZCA EL NÚMERO DE ECUACIONES DEL SISTEMA IMPLICANDO UN MENOR TIEMPO DE CÁLCULO EN FORMA CONSIDERABLE, LO CUAL FUE COMPROBADO POR EL AUTOR DEL PRESENTE TRABAJO.

4.1 RED DE CANALES CERRADA.

SE CONSIDERAN REDES CERRADAS; AQUELLAS QUE ESTÁN INTERCONECTADAS ENTRE SI Y AL IGUAL QUE EN TUBERIAS, FORMAN CIRCUITOS VER FIGURA 4.1, LAS CUALES TIENEN CRUCES EN LAS UNIONES DE CADA CANAL CON CUATRO RAMAS, AUNQUE EN REALIDAD EN MÉXICO SÓLO SE TIENEN DEL TIPO "T" O SEA CON MÁXIMO DE TRES RAMAS Y RARAMENTE LOS CRUCES. SE HACE SU ESTUDIO HIDRÁULICO DEBIDO A QUE SE DA UNA METODOLOGÍA GENERAL PARA INTERSECCIONES EN CANALES Y SE DESCRIBE A CONTINUACIÓN:

PARA EL CÁLCULO DE SISTEMAS DE CANALES CRUZADOS SE LIMITARÁ A RÉGIMEN SUBCRÍTICO. PARA UTILIZAR EL PROCEDIMIENTO SE REQUIERE DIVIDIR LOS CANALES DEL SISTEMA EN DOS CATEGORÍAS DE TAL MANERA QUE SE PUEDA PRIMERO CALCULAR UNA DE ELLAS SUPONIENDO QUE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE LA OTRA CATEGORÍA PERMANECEN CONSTANTES PARA DESPUÉS CALCULAR LOS DE LA SEGUNDA SUPONIENDO LO MISMO EN LOS DE LA PRIMERA. EL CÁLCULO SE HACE EN INTERVALOS SUCESIVOS DESIGNÁNDOSE "PARES E IMPARES" CON NÚMEROS RESPECTIVOS A SU CATEGORÍA. DE ACUERDO A LO ANTERIOR LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS QUE SE CONSIDERAN CONSTANTES DURANTE EL CÁLCULO DE LOS CANALES IMPARES SON EL TIEMPO EN LA SECCIÓN FINAL DEL CANAL QUE CORRESPONDERÁ AL CANAL PAR CORRES

PONDIENTE AL PUNTO DE DESCARGA EN DONDE TERMINA EL CANAL IMPAR, CONSIDERANDO EN EL INSTANTE INMEDIATO ANTERIOR, $j-1$ O EL TIRANTE CORRESPONDIENTE A LA SECCIÓN TERMINAL, SI EL CANAL IMPAR DESCARGA HACIA FUERA DEL SISTEMA. ADEMÁS SE CONSIDERAN CONSTANTES LOS GASTOS PROVENIENTES DE LOS CANALES PARES EN LAS SECCIONES DE CRUCE REFERIDOS AL INSTANTE $j-1$, TAMBIÉN SE DEBEN TOMAR EN CUENTA LOS INGRESOS O SALIDAS DEL SISTEMA AL MISMO TIEMPO IMPLICANDO LA DEFINICIÓN DE UNA SERIE DE EQUIVALENCIA QUE SE BASAN EN LOS PRINCIPIOS GENERALES BÁSICOS DE LA HIDRÁULICA COMO EL DE CONTINUIDAD.

ENTONCES SE DEBERÁN DE TOMAR EN CUENTA LOS SIGUIENTES TIPOS DE SECCIONES EN SU ESTUDIO Y SON:

- A) SECCIONES ORDINARIAS CONSTITUIDAS POR LAS SECCIONES INTERMEDIAS.
- B) SECCIONES DE CRUZAMIENTO.
- C) SECCIONES FINALES.
- D) SECCIONES INICIALES.

EN LA FIGURA 4.2 SE MUESTRA UNA SECCIÓN DE CRUCE i EN EL MOMENTO $j+2$ EN QUE SE HACE EL CÁLCULO DE LOS CANALES EN LAS SECCIONES $i-2, i, i+2$, A ESTA SECCIÓN LLEGAN DOS GASTOS, UNO DE FUERA DEL SISTEMA DESIGNADO COMO QE_i^{j+1} , Y EL OTRO PROVIENE DEL CANAL DE LA OTRA CATEGORÍA Y DE VALOR $A_i^{j+1} v_i^{j+1}$; TAMBIÉN SALE DE ESA SECCIÓN HACIA ESE MISMO CANAL, UN GASTO DE VALOR $A_m^{j+1} u_m^{j+1}$, Y CONSIDERANDO EL PROCEDIMIENTO DE DIFERENCIAS FINITAS EN EL INTERVALO DE TIEMPO j A $j+2$, SE SUPONE QUE INGRESA A LA SECCIÓN i UN GASTO $A_i^j v_i^{j+1}$ Y QUE SALE DE ELLA $A_i^j u_i^{j+2}$ ASÍ ESTABLECIENDO LA ECUACIÓN DE CONTINUIDAD EN LA SECCIÓN i SE OBTIENE:

$$u_i^{j+1} - v_i^{j+1} = \frac{A_i^{j+1}}{A_i^j} [u_m^{j+1} - u_m^{j+1}] + \frac{1}{A_i^j} QE_i^{j+1} \dots\dots\dots 4.1$$

ECUACIÓN (4.1) QUE REQUIERE EL CONOCIMIENTO PREVIO DE A_i^{j+1} , CON EL AUXILIO DE LAS ECUACIONES (2.28) Y (2.29) EN LA FÓRMULA (4.1) SE LLEGA A:

$$T_{i-2}^j v_{i-2}^{j+2} + (Q_{i-2}^j - S_{i-2}^j) v_i^{j+2} + P_{i-2}^j v_{i+2}^{j+2} = W_{i-2}^j - R_{i-2}^j + \frac{A_{i-2}^{j+1}}{A_{i-2}^j} v_m^{j+1} - U_m^{j+1} + \frac{1}{A_{i-2}^j} Q_{i-2}^{j+1} \dots \dots \dots 4.2$$

PARA EL CÁLCULO DEL CANAL DE SECCIONES $m-2, m+2$ EN EL MOMENTO $j+3$ SE CONSIDERA QUE EL TIRANTE v_m^{j+3} , ES IGUAL AL v_i^{j+2} , POR LO QUE NO ES NECESARIO PLANTEAR LA ECUACIÓN DE CONTINUIDAD EN LA SECCIÓN m , POR LO TANTO LA m -ÉSIMA ECUACIÓN SERÍA $v_m^{j+3} = v_i^{j+2}$.

A LAS SECCIONES DONDE CONFLUYEN TRES TRAMOS, (TIPO "T") SE CONSIDERA QUE CUANDO LOS EXTREMOS DE LOS CANALES DE CUALQUIER CATEGORÍA TIENE UNO - DE SUS EXTREMOS CON ESTE TIPO DE CRUCES, ES NECESARIO CONSIDERAR QUE ALLÍ EL TIRANTE ESTÁ DEFINIDO POR EL DEL CANAL DE LA OTRA CATEGORÍA QUE PASA - POR ESA SECCIÓN, PERO QUE NO INICIA NI TERMINA EN ELLA, SIN EMBARGO ES IN - DIFERENTE PARA SECCIONES QUE NO SEAN DEL TIPO "T" Y SOLO SE DEBE MANTENER LA CONVECCIÓN DURANTE TODO EL CÁLCULO.

PARA LAS SECCIONES ORDINARIAS LOS ÚLTIMOS DOS TÉRMINOS SERÍAN NULOS - Y CON ELLO SE OBTENDRÍA UNA EXPRESIÓN SIMILAR A LA (2.31) REFERIDA A LOS - CANALES CUYAS SECCIONES SON $i-2$ E $i+2$, EN EL CASO EN QUE EL CANAL TERMINA - RA EN UNA SECCIÓN M DE CONEXIÓN CON UN CANAL DE LA OTRA CATEGORÍA EL CAL - CULO SE HARÍA HASTA LA SECCIÓN $M-2$, CONSIDERANDO QUE EL TIRANTE EN LA SEC - CIÓN M ES "FIJO" Y CON VALOR IGUAL AL QUE TUVIERA LA SECCIÓN DE LA OTRA - CATEGORÍA EN EL INSTANTE ANTERIOR $j+1$, LLAMÁNDOSE A ESTE TIRANTE v_{ℓ}^{j+1} , - EN DONDE ℓ DESIGNA AL CANAL EN ESTUDIO. DE LA ECUACIÓN (4.2) SE OBTIENE:

$$T_{M-4}^j v_{M-4}^j + (Q_{M-2}^j - S_{M-4}^j) v_{M-2}^{j+2} = W_{M-4}^j - R_{M-2}^j - P_{M-2}^j v_{\ell}^{j+1} \dots \dots 4.3$$

PARA PROSEGUIR EL CÁLCULO AL TERMINAR EL ANÁLISIS DEL CANAL IMPAR, - EN EL INSTANTE $j+2$ DEBE DE CALCULARSE LA VELOCIDAD EN LA SECCIÓN FINAL DA - DA POR LA FÓRMULA (3.1), QUE PARA ESTE CASO TOMARÍA LA FORMA:

$$v_M^{j+2} = -T_{M-2}^j v_{M-2}^{j+2} + u_{M-2}^j + S_{M-2}^j v_{\ell}^{j+1} \dots\dots\dots 4.4$$

SI EL CANAL DESCARGA LIBREMENTE HACIA EL EXTERIOR DEBERÁ TOMARSE EN CUENTA LA CONDICIÓN FRONTERA REFERIDA EN EL CAPÍTULO ANTERIOR. TAMBIÉN ES CONVENIENTE TOMAR EN CUENTA LAS CONDICIONES INICIALES $v_{\ell}^0, u_{\ell}^0, v_{\ell}^0$ -- QUE DEBERÁN DIVIDIRSE EN CONDICIONES PARES E IMPARES DE MANERA QUE LOS DATOS PARA EL PRIMER TIEMPO SERÁN $v_{\ell}^1, u_{\ell}^1, v_{\ell}^1$ Y PARA LOS DE LA SEGUNDA-CATEGORÍA $v_{\ell}^2, u_{\ell}^2, v_{\ell}^2$, AÚN CUANDO EN REALIDAD CORRESPONDEN AL MISMO -- TIEMPO INICIAL, INTRODUCIENDO PEQUEÑOS ERRORES QUE PRONTO SON COMPENSADOS POR EL PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO.

4.2. RED DE CANALES ABIERTA (TIPO PEINE).

LOS SISTEMAS DE CANALES ABIERTOS SON AQUELLOS QUE SE VAN RAMIFICANDO SIN VOLVERSE A UNIR VER (PLANO 02) Y POR LO GENERAL SON DEL TIPO- "PEINE", ÉSTO QUIERE DECIR QUE DEL CANAL PRINCIPAL SE VAN DERIVANDO LOS -- LATERALES Y SUBLATERALES Y DIFÍCILMENTE SE VUELVEN A UNIR TENIENDO UNA -- FORMA PARTICULAR DE PEINE SIENDO EL CASO COMÚN EN LOS DISTRITOS DE RIEGO. PARA ESTE TIPO DE REDES SE APLICA EL MISMO CRITERIO DE SOLUCIÓN DE LAS REDES CERRADAS PERO NO EXISTEN CRUCES CON CUATRO TRAMOS SINO DEL TIPO "T" -- COMO ES EL CASO DEL EJEMPLO DE ESTUDIO QUE SE ANALIZA EN EL SIGUIENTE SUB-CAPÍTULO.

4.3 APLICACIÓN A LA MARGEN IZQUIERDA DEL DISTRITO DE RIEGO No. 005- "LA BEGONA" CELAYA GUANAJUATO.

PARA REALIZAR ESTA SIMULACIÓN Y EJEMPLIFICAR LOS CONCEPTOS ESTUDIADOS SE PROCEDIÓ A CONSIDERAR LOS CANALES DE LA MARGEN IZQUIERDA, LA -- CUAL SE MUESTRA EN EL (PLANO 02), Y LOS DATOS DE ELLOS SE PRESENTAN EN LA TABLA (4.1), SE PROCEDIÓ A REALIZAR LA SIMPLIFICACIÓN MOSTRADA EN LA FIGURA (4.3) CONSIDERANDO SEIS CANALES, 3 IMPARES Y 3 PARES HACIENDO LA DIVISIÓN EN 61 TRAMOS ENTRE PARES E IMPARES.

PARA LOS CANALES PEQUEÑOS SE CONSIDERÓ EL GASTO QUE CONDUCE COMO -- UNA EXTRACCIÓN DE CAUDAL QUE SE SUPONE CONSTANTE Y QUE DEPENDE DE LA DEMANDA

DA DE LA PARCELA, Y ASÍ CALCULAR EL FLUJO NO ESTABLECIDO OBTENIENDO LOS VALORES DE CAJAL TIRANTE VELOCIDAD EN CADA SECCIÓN CUANDO SE REALIZAN LAS MANIOBRAS, EN LOS CANALES DE MAYOR IMPORTANCIA COMO LO ES EL UNO, PARA LA SOLUCIÓN DE LA RED SE PROPONEN LAS SIGUIENTES DOS CONDICIONES DE SIMPLIFICACIÓN Y FRONTERA, QUE PUDIERAN OBEDECER A VARIOS TIPOS DE MANIOBRAS.

4.3.1 CONDICIÓN DE SIMULACIÓN UNO.

EN ESTA REPRESENTACIÓN SE CONSIDERA LAS SIGUIENTES SITUACIONES:

A) COMPUERTA INICIAL CON TIRANTE AGUAS ARRIBA CONSTANTE QUE CONSIDERA LA ALIMENTACIÓN A LOS CANALES POR LA PRESA DERIVADORA GUADALUPE, EN LA SECCIÓN I.

B) COMUNICACIÓN DIRECTA SIN OBSTRUCCIÓN EN LAS CONEXIONES DE CANALES.

C) LOS GASTOS DE EXTRACCIÓN POR LOS SUBLATERALES SON NULOS.

D) TIRANTES CONSTANTES EN LAS SECCIONES FINALES.

LA MANIOBRA DE LA COMPUERTA SE HACE DE LA SIGUIENTE FORMA, SE SUPONE QUE A PARTIR DE UNA APERTURA DE 0.45 SE CIERRA A 0.15 METROS EN UN TIEMPO DE 10 MINUTOS PARA DESPUÉS MANTENERSE CONSTANTE POR 10 MÁS Y LUEGO VOLVER SE A ABRIR EN 10 MINUTOS PARA DESPUÉS MANTENERSE CONSTANTE, VER FIGURA 4.4.

ES OBVIÓ QUE NO SE PUEDEN HACER MANIOBRAS INDISTINTAMENTE EN LA REALIDAD, DEBIDO A QUE LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA ES ESCASA Y NO SE PERMITIRÍA UN DERROCHE DE AGUA, Y SOLO SE PODRÍA REALIZAR EN UN MODELO.

PARA LA REALIZACIÓN DEL CÁLCULO SE DEBE DE SATISFACER LAS CONDICIONES FRONTERA PLAITEADAS EN EL CAPÍTULO 3 QUE PARA ESTE CASO Y CON LOS VALORES

QUE SE TIENEN, QUEDARÍA DE LA FORMA:

SECCIONES ORDINARIAS ECUACIONES DEL TIPO 2.31 CON $Q_E=0$, PARA LAS SECCIONES IMPARES, 3-9, 13-23, 27-31, 35-43, 49-51, 57-59 Y PARA LAS PARES - 4, 10-12, 18-20, 24-26.

PARA LAS SECCIONES FINALES 6, 14, 32, 45, 53, 61 TIRANTE FINAL CONSTANTE PARA TODO TIEMPO PERO LAS ECUACIONES PENÚLTIMAS SE MODIFICARÍAN A LA FORMA (3.2) Y LA VELOCIDAD FINAL CON LA ECUACIÓN (3.1).

PARA LA SECCIÓN INICIAL LA ÚNICA ECUACIÓN QUE SE MODIFICA ES LA PRIMERA (3.15) OBTENIENDO LOS VALORES DE C_d DE LA FORMA PROPUESTA EN EL CAPÍTULO ANTERIOR.

PARA EL CASO DE LOS CRUCES TENEMOS SECCIONES TIPO "T" DE LAS CUALES EN TODAS SALE GASTO A LA SECCIÓN INICIAL DEL OTRO CANAL, POR LO TANTO Y PARA EJEMPLIFICAR TRABAJAREMOS CON LA SECCIÓN 1 Y 2, Y DE LA MISMA FORMA SE TENDRÁN QUE MODIFICARSE LAS SECCIONES (25,3), (35,15), (22,47), (30,55).

DE ACUERDO A LO EXPUERTO EL TIRANTE DE LA SECCIÓN INICIAL DEL CANAL 2 ES EL TIRANTE DEL INSTANTE ANTERIOR DE CÁLCULO DE LA SECCIÓN 11 FORMANDO LA ECUACIÓN UNO DEL CANAL PAR Y PARA EL CANAL IMPAR EN LA SECCIÓN 11 SE DEBE SATISFACER LA ECUACIÓN DE CONTINUIDAD EN SU FORMA (4.2), POR LO TANTO LA ECUACIÓN PARA EL CANAL PAR SERÍA:

$$V_9^{j+2} T_9^j + V_{11}^{j+2} (Q_{11}^j - S_9^j) + V_{13}^{j+2} P_{11}^j = Q_9^j - R_{11}^j - \frac{1}{A_{11}^j} [A_2^{j-2} u_2^{j-1}] \quad 4.5$$

DEL MISMO MODO SE HACE PARA LAS SIGUIENTES CRUCES MENCIONADOS.

EN EL DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROGRAMA TRES SE PRESENTA LA FORMA DE SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.

EN LA TABLA 4.2 SE MUESTRAN LOS RESULTADOS PARA TIEMPO=270 Y 300 SEG. Y EN LA FIGURA 4.5 EL PERFIL DEL CANAL PRINCIPAL PARA 270 Y 600 SEG.

4.3.2 CONDICIÓN DE SIMULACIÓN DOS.

ESTA SIMULACIÓN SE HACE CUANDO SE ESTE REGANDO EN LAS PARCELAS DE LA PARTE SUR CORRESPONDIENTES AL SUBLATERAL 2+920 (PLANO 02), -- CON UN CAUDAL CONSTANTE EN RÉGIMEN ESTABLECIDO DE $0,600 \text{ m}^3/\text{s}$., Y SE DESEA INCREMENTAR EL RIEGO A LAS PARCELAS MOSTRADAS EN LA FIGURA 4.7 QUE DÁN - EL ORDEN DE 40 HECTÁREAS Y QUE PARA EFECTO DE LA SIMULACIÓN SE CONSIDERA UNA LAMINA PROMEDIO DE RIEGO DE 20 CM.; SE PRESENTA A CONTINUACIÓN LA FORMA COMÚN DE CALCULAR LA MANIOBRA.

$$\text{VOLUMEN NECESARIO} = \text{ÁREA} \times \text{LAMINA DE RIEGO} = 400,000 \text{ m}^2 \times 20 \text{ m} = 80000 \text{ m}^3.$$

ESTE VOLUMEN SERÁ EL NECESARIO Y DEBERÁ DE SACARSE DEL ALMACENAMIENTO HACIENDO MANIOBRAS SEMANALES, POR LO TANTO, EL CAUDAL DE AGUA QUE SE REQUIERE OBTENER NO CONSIDERANDO NINGUNA PÉRDIDA SERÁ $Q = V/t = 80000 \text{ m}^3 / 604800 \text{ seg. / semana} = 0.132 \text{ m}^3/\text{s}$ SEMANAL.

PERO COMO EN LA REALIDAD SE TIENEN PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN, INFILTRACIÓN Y MANEJO (COLEDS) SE INCREMENTA EL CAUDAL EN UN 20%, OBTENIENDO - EL CAUDAL REAL ENTONCES:

$$Q_n = Q/0.8 = 0.165 \text{ m}^3/\text{s}.$$

GASTO QUE SE DEBE OBTENER EN LA COMPUERTA INICIAL DEL CANAL PRINCIPAL CON SU RESPECTIVA ABERTURA LA CUAL SE HACE EN UNA MANIOBRA DE APROXIMADAMENTE 10 MINUTOS PARA LUEGO DISTRIBUIR MÁS O MENOS LA MITAD EN EL LATERAL 1+990 Y EL RESTO CONTINUAR EN EL CANAL PRINCIPAL EN MANIOBRAS SIMILARES - A LA COMPUERTA INICIAL VER FIGURA 4.6, TODAS LAS COMPUERTAS SE CONSIDERAN DESLIZANTES Y CON LEY DE COEFICIENTE DE DESCARGA TIPO "HENRY" REF. (4), - (5).

PARA ELLO LA RED SE SIMPLIFICA DE LA MANERA QUE SE MUESTRA EN LA FIGURA 4.7 LA CUAL ESTÁ BASADA EN LA DISCRETIZACIÓN ORIGINAL DE LA SIMULACIÓN UNO PERO CON LAS SIGUIENTES CARACTERÍSTICAS:

- H) DOS CANALES PRINCIPAL 53 SECCIONES Y UN LATERAL 3 SECCIONES -- FIG. (4.7).
- I) SECCIÓN INICIAL CON COMPUERTA Y TIRANTE AGUAS ARRIBA CONSTANTE - DE 1.55 METROS.
- J) SECCIÓN DE CRUCE CON COMPUERTA INTERMEDIA ENTRE SECCIONES 11 Y - 13.
- K) SECCIÓN 2, INICIAL DEL CANAL LATERAL 1+990 CON COMPUERTA Y PARA-LA SECCIÓN 6 DESCARGA LIBRE O AHOGADA PARA DERIVAR $0.080 \text{ m}^3/\text{s}$.
- L) SECCIÓN 21,25 SIN CAUDAL DERIVADO A LOS LATERALES 4+010 Y 4+540 RESPECTIVAMENTE.
- M) SECCIÓN 39 SIN CONSIDERAR DERIVACIÓN AL SUBLATERAL 0+850.
- N) SECCIÓN 41 Y 43 CON GASTO DERIVADO CONSTANTE EN EL TIEMPO DE -- 0.060 Y $0.025 \text{ m}^3/\text{s}$ RESPECTIVAMENTE QUE ES LA PROPORCIÓN TOTAL - INCREMENTADA.
- O) SECCIÓN FINAL CANAL PRINCIPAL CONSIDERADO (53) DESCARGA LIBRE O AHOGADA.

DE ACUERDO A LAS CARACTERÍSTICAS ANTERIORES PARA EL CASO DE LA COM-- PUERTA INICIAL SE HARÁ CON EL MISMO PROCEDIMIENTO DE LA SIMULACIÓN UNO Y PARA LA DEL SUBLATERAL 1+990 EL TIRANTE AGUAS ARRIBA (YO) SERÁ EL MISMO - DE LA COMPUERTA INTERMEDIA EN EL INSTANTE ANTERIOR (Y (11)), .

PARA LAS ESQUINAS SE CONSIDERO CONTINUO EL CANAL.

PARA LA SECCIÓN 30 SERÁ UN PROCEDIMIENTO SIMILAR.

EN EL CASO DE LA COMPUERTA INTERMEDIA LAS ECUACIONES 3.23 Y 3.24 -- APLICADAS EN LA SECCIÓN 11 SERÁN:

$$v_9^{j+1} T_9^{j-1} + v_{11}^{j+1} \left(\frac{q^{j-1}}{4A_{11}^{j-1} v_{11}^{j-1}} - S_9^{j-1} \right) + v_{13}^{j+1} \left(\frac{q^{j-1} PE^{j+1}}{2A_{11}^{j-1} Cd^{j-1} v_{11}^{j-1}} \right) \\ = W_9^{j-1} - \frac{q^{j-1}}{a^{j-1}} \left(\frac{a^{j+1}}{a^{j-1}} + \frac{RO^{j+1}}{Cd^{j-1}} - \frac{1}{2} \right) - \frac{QD}{A_9} \dots\dots\dots 4.6$$

$$v_{11}^{j+1} \left(\frac{q^{j-1}}{4A_{11}^{j-1} v_{11}^{j-1}} \right) + v_{13}^{j+1} \left(\frac{a^{j-1} PE^{j+1}}{2A_{11}^{j-1} Cd^{j-1} v_{11}^{j-1}} - Q_{13}^{j-1} \right) - v_{15}^{j+1} P_{13}^{j-1} \\ = R_{13}^{j-1} - \frac{q^{j-1}}{2A_{11}^{j-1}} \left(\frac{a^{j+1}}{a^{j-1}} + \frac{RO^{j+1}}{Cd^{j-1}} - \frac{1}{2} \right) \dots\dots\dots 4.7$$

PARA LA DESCARGA LIBRE O AHOGADA DE LAS CONDICIONES DEL CAPÍTULO ANTERIOR, LA ÚLTIMA ECUACIÓN PARA LA SECCIÓN 6 SERÁ, SEGÚN 3.37:

$$(W_2) (T_4^{j-1} v_4^{j+1}) + (1 - (W_2) S_4^{j-1}) v_6^{j+1} = \left[\frac{B_6^{2j-1}}{-B_6^{2j-1} - 2m_6 A_6^{j-1}} \right] \left[S = \frac{A_6^j}{S_6^j} \right] \\ + (W_2) \left[W_4^{j-1} + \frac{1 - B}{B} v_6^{j-1} \right] + v_6^{j-1} \dots\dots\dots 4.8$$

PARA LAS SECCIONES 41 Y 43 SE CONSIDERA EL GASTO DERIVADO CONSTANTE- DE 60 Y 25 LPS RESPECTIVAMENTE.

CON ESTAS CONDICIONES SE SIMULA EL TRANSITORIO PARTIENDO DE RÉGIMEN- ESTABLECIDO ORIGINAL Y VOLVER A ÉL CON LA MANIOBRA DE LA COMPUERTA.

EN LA TABLA 4.2 SE MUESTRAN LOS RESULTADOS PARA UN T= 1920 Y 1950 - SEGUNDOS Y EN LA FIGURA 4.8 LA FORMA DEL PERFIL PARA T= 50 Y 120 MIN.

CABE MENCIONAR QUE DEPENDIENDO DE LA LONGITUD Y EL TAMAÑO DE LOS CA- NALES SE MANEJARÁN CANTIDADES DE AGUA CONSIDERABLES EN LOS COLEOS PERO -- AUNQUE SEAN PEQUEÑOS COMO SUCEDIÓ EN EL PRESENTE CASO, TODA MODIFICACIÓN- PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA EN EL MANEJO DEL AGUA ES IMPORTANTE.

EL VOLUMEN CALCULADO DURANTE LA MANIOBRA ES DE APROXIMADAMENTE -- 2095 M³ OBTENIDO PARA EL TIEMPO DE 3 HORAS QUE FUÉ LO QUE DURÓ EL FLUJO - NO PERMANENTE EN SU PARTE MÁS IMPORTANTE AL PARTIR DE RÉGIMEN ESTABLECIDO Y VOLVER A ESTABLECERSE, QUEDANDO POR REALIZAR UNA CALIBRACIÓN PRECISA EN LAS ESTRUCTURAS DE CONTROL Y PODER DETERMINAR EN FORMA REAL LA CANTIDAD - DE AGUA APROVECHADA AL INCREMENTAR EL RIEGO A PARCELAS CON LA MISMA CANTI DAD DE AGUA; AUNQUE PARA LA MEJORA DE EFICIENCIA TAMBIÉN ES DE SUMA IMPOR TANCIA UN BUEN TRAZO Y APLICACIÓN DE RIEGO EN LA PARCELA.

DESARROLLO PARECIDO SE PUEDE REALIZAR EN UN PROYECTO COMPLETO EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE RIEGO, TRABAJANDO CON UN EQUIPO COMPLETO UTILIZAN DO TODA LA INFORMACIÓN DISPONIBLE Y EN SU CASO OBTENER LA INFORMACIÓN FAL TANTE Y TIEMPO PARA QUE SE PUEDA VER POSTERIORMENTE CON RESULTADOS PRÁCTI COS LA CANTIDAD DE AGUA QUE SE USE EFECTIVAMENTE Y EL VOLUMEN QUE SE APRO VECHÉ CON LA REDUCCIÓN DE LA PÉRDIDA POR MANEJO.

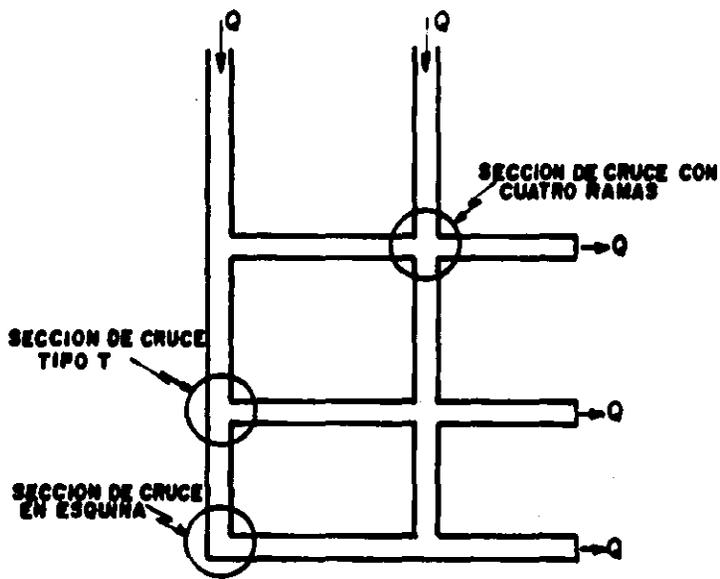


Figura 4.1 Red de canales cerrada

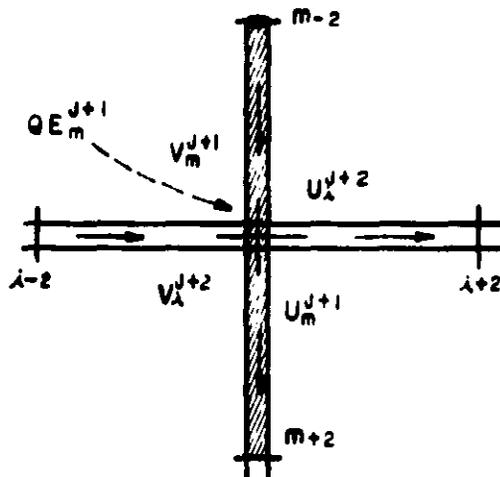
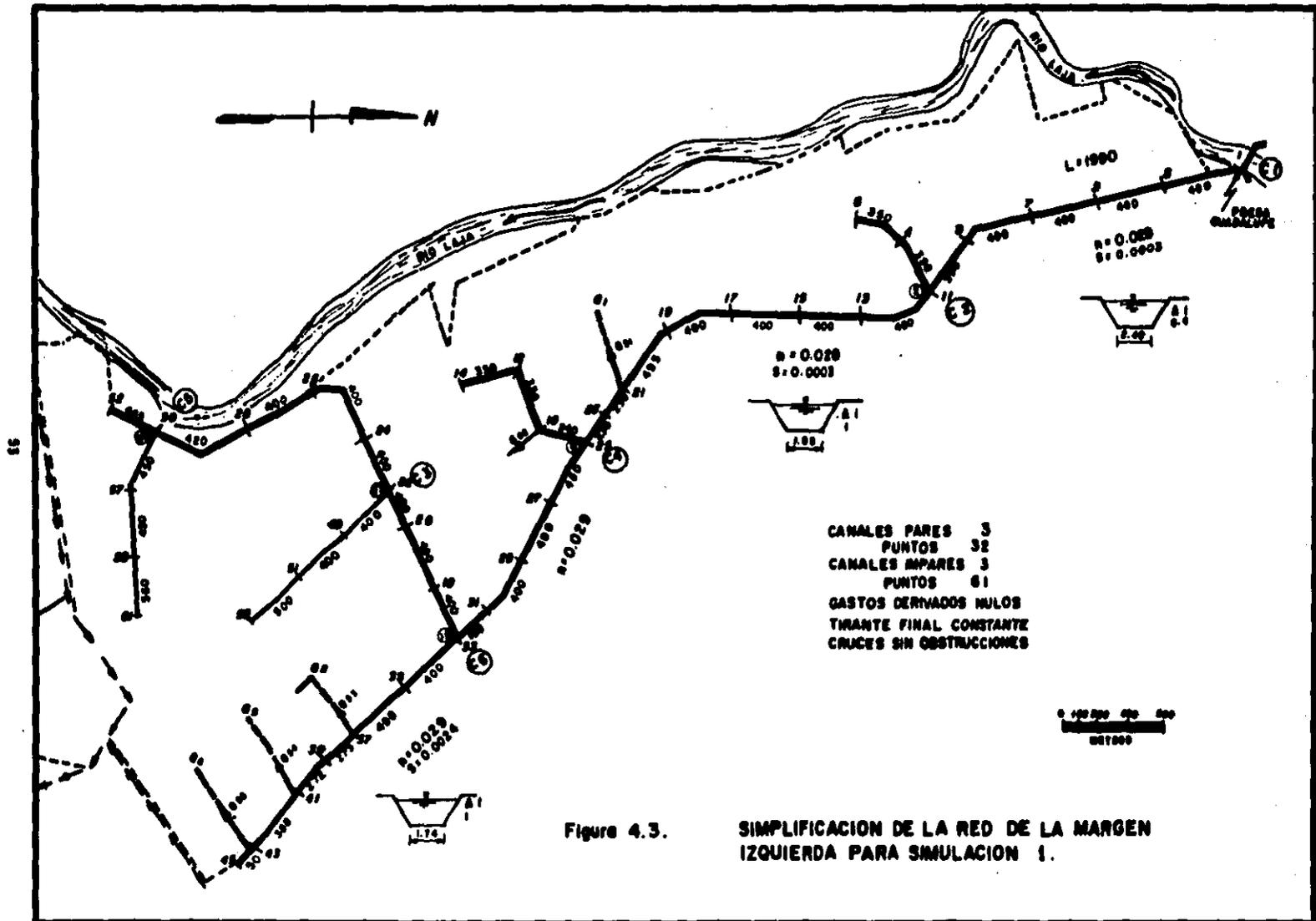
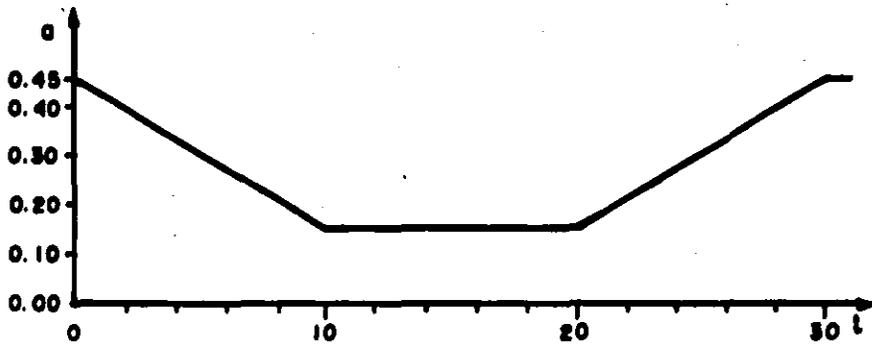


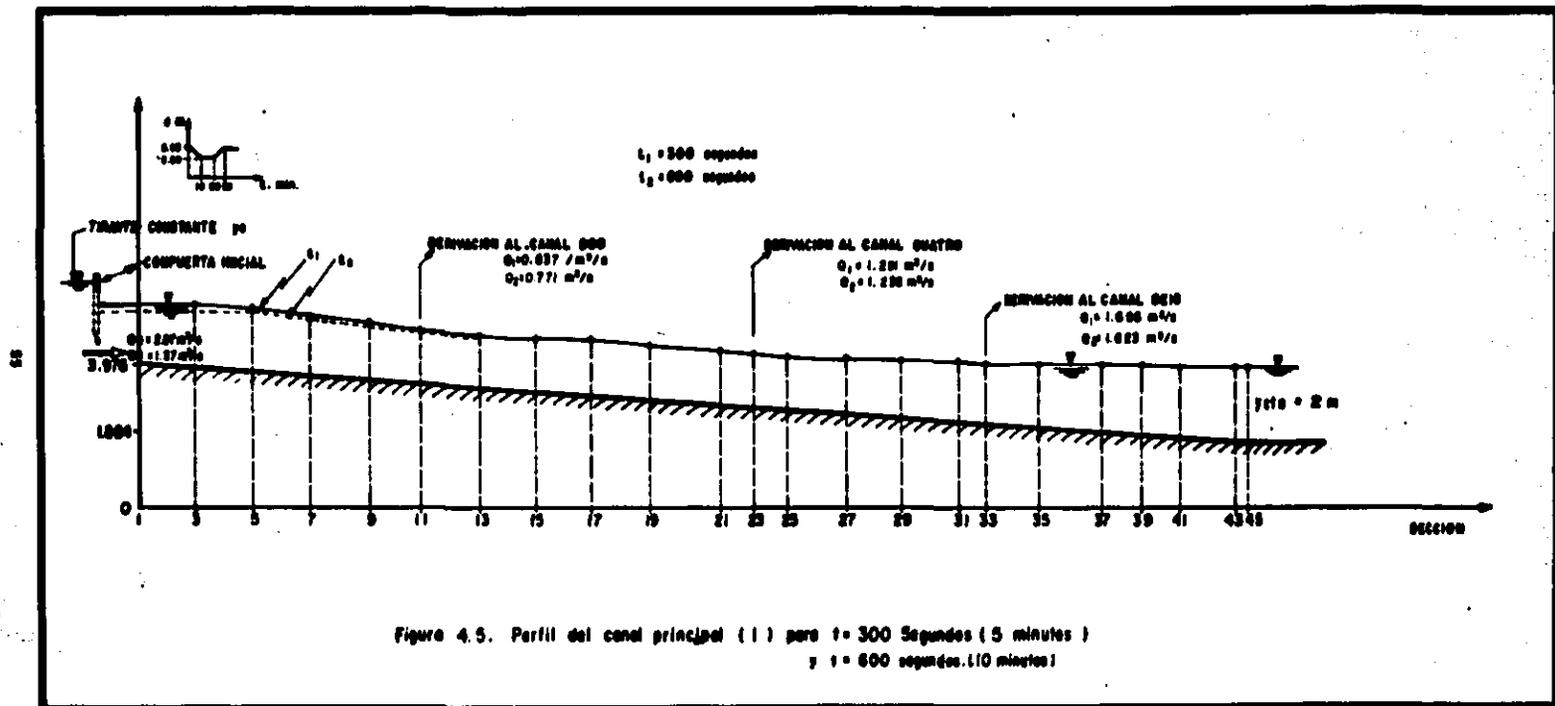
Figura 4.2. Sección de cruce en canales.





g = ABERTURA EN METROS
t = TIEMPO EN MINUTOS

Figura 4.4. Ley de cierre de la compuerta inicial para la simulación uno.



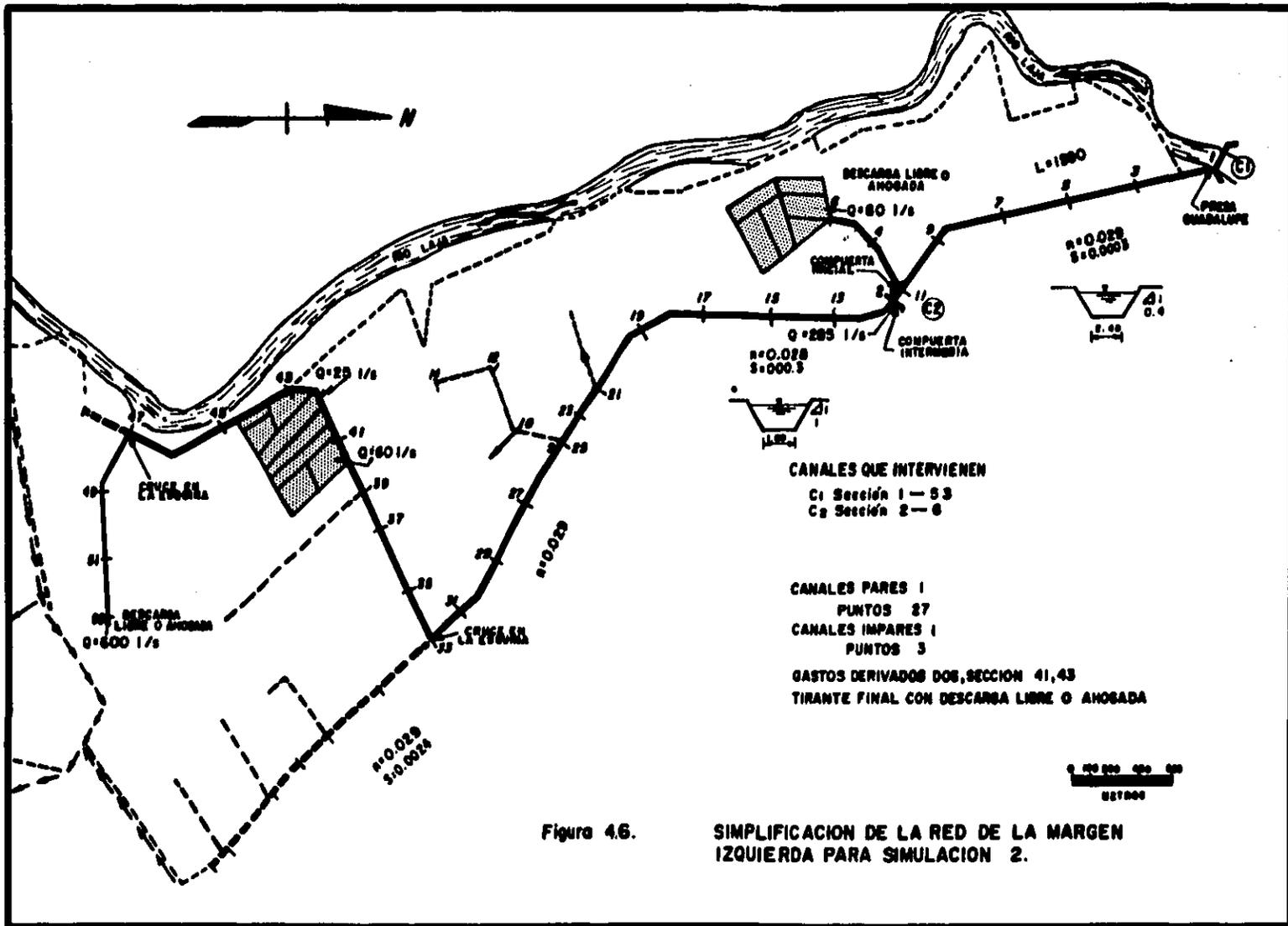


Figura 4.6.

SIMPLIFICACION DE LA RED DE LA MARGEN IZQUIERDA PARA SIMULACION 2.

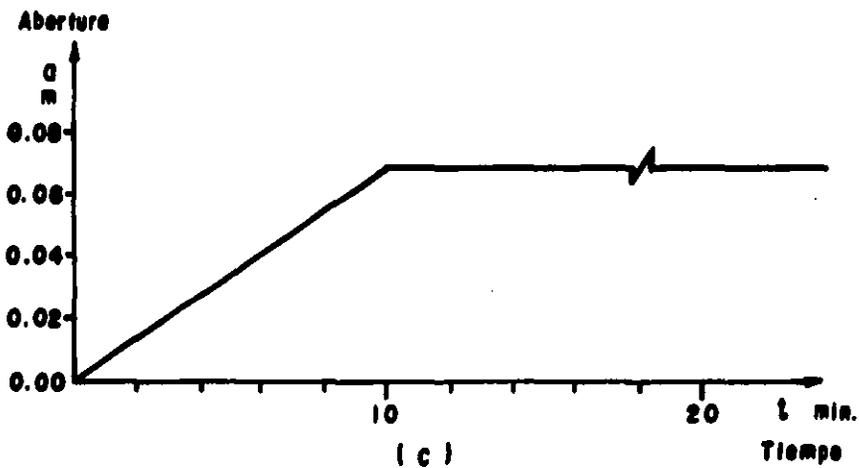
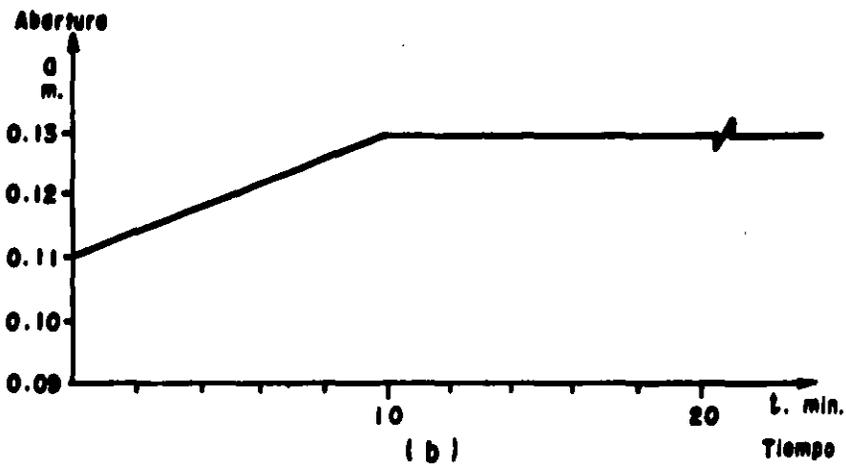
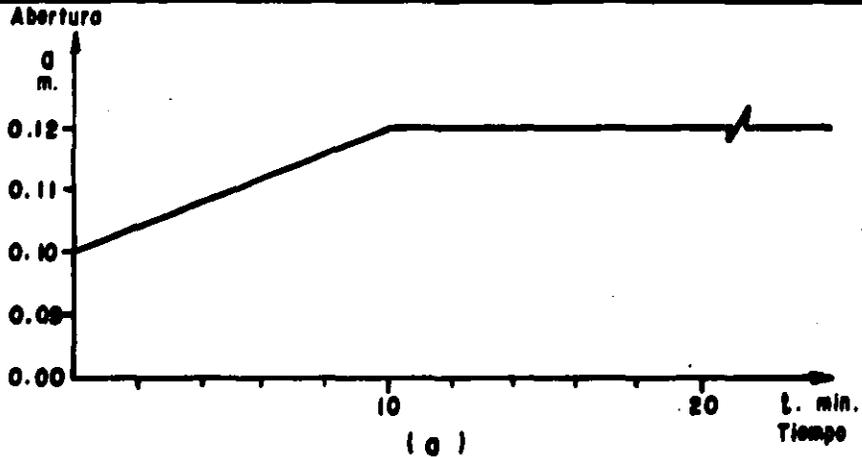


Figura 4.7. Ley de apertura en las compuertas de la simulación dos
 a) inicial principal b) intermedia c) inicial del canal lateral dos.

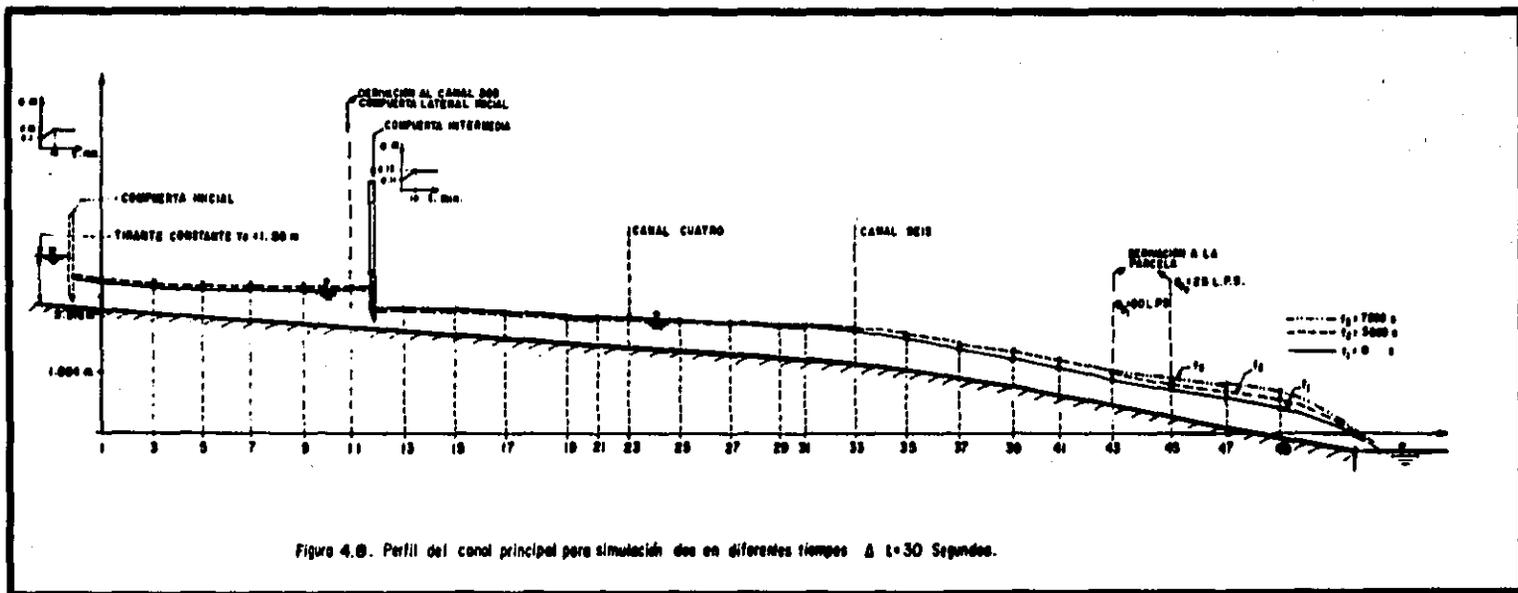


Figura 4.8. Perfil del canal principal para simulación dos en diferentes tiempos a $t=30$ Segundos.

TABLA 4.1
CARACTERÍSTICAS DE LAS OBRAS DEL DISTRITO
DE RIEGO 005 "LA OROPA GUANAJATO"
IRAPEN IZQUIERDA.

AREA DE RIEGO Y DESARROLLO Y NOMBRE DE LA OBRA	CADENAMIENTOS		GASTO o m ³ /seg	PENDIENTE (a)	ANCHO DE PLANTILLA (b) m	TIRANTE NORMAL (c) m	LIBRE BORDO (L 8) m	TALUDES (m)	ANCHO D CORONA (m)
	INICIAL	FINAL							
Canal Principal Margen Izq.	0+000	1+985	3.000	0.0003	2.40	1.68	0.15	0.4:1	0.25
	1+985	4+080	3.000	0.0003	1.80	1.65	0.15	1:1	"
	4+080	5+935	2.400	0.00023	1.40	1.74	0.15	1:1	"
	5+935	7+753	1.320	0.00024	0.85	2.05	0.15	0.4:1	"
Lat. 1+996 - C.P.M.I.	0+000	0+700	0.260	0.0007	0.50	0.90	0.15	0.3:1	"
Lat. 4+080 - C.P.M.I.	0+000	0+400	0.170	0.0003	0.50	0.90	0.15	0.3:1	"
Lat. 4+540 - C.P.M.I.	0+000	0+900	0.230	0.0006	0.55	0.76	0.15	0.4:1	"
Sub. Lat. 0+240 - Lat. 4+540	0+000	1+820	0.200	0.0006	0.50	0.73	0.15	0.4:1	"
Lat. 5+935 - C.P.M.I.	0+000	1+230	0.880	0.0005	0.90	1.32	0.15	0.4:1	"
	1+230	2+500	0.800	0.0007	0.80	1.20	0.15	0.4:1	"
	2+500	2+920	0.800	0.001	0.50	1.02	0.15	1:1	"
	2+920	3+365	0.450	0.001	0.50	0.95	0.15	0.4:1	"
Sub. Lat. 0+880 - Lat. 5+935	0+000	1+300	0.200	0.0008	0.51	0.67	0.15	0.4:1	"
Sub. Lat. 2+920 - Lat. 5+935	0+000	1+460	0.310	0.0007	0.45	0.94	0.15	0.4:1	"
	1+460	4+260	0.300	0.0006	0.30	1.13	0.15	1.5:1	"
Lat. 6+770 - C.P.M.I.	0+000	0+560	0.150	0.0005	0.40	0.73	0.15	0.4:1	"
Lat. 7+315 - C.P.M.I.	0+000	0+725	0.130	0.0004	0.40	0.72	0.15	0.4:1	"
Lat. 7+705 - C.P.M.I.	0+000	0+550	0.160	0.0007	0.40	0.70	0.15	0.4:1	"

TABLA 4.2

RESULTADOS DE SIMULACIÓN UNO EN LA RED DE CANALES
DE LA MARGEN IZQUIERDA PARA T= 270 Y 300 SEG.

ITERACION 33 TIEMPO 270

CANAL 2

SEC.	VEL. V	TIRAN.Y	GASTO	VELO.U
2	0.5789	1.5383	0.8562	0.5789
4	0.5480	1.4691	0.7573	0.5480
6	1.0901	0.8000	0.6453	

CANAL 4

SEC.	VEL. V	TIRAN.Y	GASTO	VELO.U
8	0.6775	1.6115	1.3043	0.6775
10	0.7511	1.4674	1.2531	0.7511
12	0.6476	1.2562	0.8561	0.6476
14	0.9328	0.7000	0.5420	

CANAL 6

SEC.	VEL. V	TIRAN.Y	GASTO	VELO.U
16	0.6228	1.7330	1.7197	0.6228
18	0.6854	1.6448	1.7564	0.6854
20	0.6896	1.5081	1.5633	0.6896
22	0.9883	1.0329	0.6090	0.4490
24	0.4372	1.1008	0.5970	0.4372
26	0.4995	1.1524	0.7258	0.4995
28	0.6638	1.0810	0.8844	0.6638
30	0.7925	0.9008	0.7153	0.5669
32	0.7239	0.8000	0.7529	

ITERACION 34 TIEMPO 300

CANAL 1

SEC.	VEL. V	TIRAN.Y	GASTO	VELO.U
1	0.4310	1.6291	2.1426	0.4310
3	0.5385	1.6734	2.7657	0.5385
5	0.5772	1.6704	2.9580	0.5772
7	0.5908	1.6425	2.9665	0.5908
9	0.6248	1.6016	3.0426	0.6248
11	0.6749	1.5375	2.2731	0.4904
13	0.4467	1.5622	2.3462	0.4467
15	0.4607	1.5957	2.4960	0.4607
17	0.4792	1.6257	2.6685	0.4792
19	0.4953	1.6518	2.8239	0.4953
21	0.5114	1.6793	2.9882	0.5114
23	0.6037	1.6552	3.0527	0.6037
25	0.6375	1.6110	1.7887	0.3688
27	0.3575	1.6464	1.7930	0.3575
29	0.3486	1.6791	1.8024	0.3486
31	0.3626	1.7098	1.9278	0.3626
33	0.3783	1.7288	0.3333	0.0616
35	0.1957	1.8052	0.5553	0.1957
37	0.2474	1.8649	0.7364	0.2474
39	0.2755	1.8981	0.8415	0.2755
41	0.2855	1.9318	0.8951	0.2855
43	0.2757	1.9913	0.9040	0.2757
45	0.2737	2.0000	0.9032	

COMPUERTA AHOGADA GASTO= 2.06576225

CANAL 3 ABERTURA .275

SEC.	VEL. V	TIRAN.Y	GASTO	VELO.U
47	0.5451	1.0329	0.5142	0.5451
49	0.5618	0.9012	0.4357	0.5618
51	0.5156	0.7313	0.2988	0.5156
53	0.2566	0.8000	0.1683	

CANAL 5

SEC.	VEL. V	TIRAN.Y	GASTO	VELO.U
55	0.3886	0.9008	0.2836	0.3886
57	0.4001	0.9351	0.3083	0.4001
59	0.3647	0.9990	0.3095	0.3647
61	0.7348	0.6000	0.3042	

TABLA 4.3

RESULTADOS DE SIMULACIÓN DOS EN LA RED DE CANALES
MARGEN IZQUIERDA PARA T= 1920 SEGUNDOS

ITERACION 114 TIEMPO 1920				
CANAL 1				
SEC.	VEL. V	TIRAN.Y	GASTO	VELO.U
1	0.3158	0.8576	0.7429	0.3158
3	0.2908	0.9115	0.7329	0.2908
5	0.2738	0.9755	0.7453	0.2738
7	0.2635	1.0474	0.7779	0.2635
9	0.2550	1.1262	0.8185	0.2550
11	0.2477	1.2082	2.0568	0.5904
13	1.2930	0.6864	0.4111	0.2409
15	0.2441	0.7522	0.4687	0.2441
17	0.2502	0.8206	0.5381	0.2502
19	0.2572	0.8907	0.6163	0.2572
21	0.2641	0.9611	0.7204	0.2641
23	0.3195	0.9993	0.7660	0.3195
25	0.3304	1.0098	0.8041	0.3304
27	0.3402	1.0266	0.8474	0.3402
29	0.3385	1.0386	0.8573	0.3385
31	0.3232	1.0557	0.8379	0.3232
33	0.3086	1.0734	0.8195	0.3086
35	0.5070	1.1349	0.7790	0.5070
37	0.5110	1.0844	0.7390	0.5110
39	0.5153	1.0125	0.6808	0.5153
41	0.5040	1.0139	0.6763	0.5533
43	0.5325	0.9609	0.6312	0.5546
45	0.6303	0.7987	0.5636	0.6303
47	0.3664	0.9200	0.4788	0.3664
49	0.4713	0.9840	0.3912	0.4713
51	0.3678	1.0048	0.3149	0.3678
53	0.7603	0.5277	0.2653	

COMPUERTA INTERMEDIA AHOGADA ABERTURA .13 GASTO .730111374
COMPUERTA PRINCIPAL INICIAL AHOGADA ABERTURA .12 GASTO .742406152
DESCARGA AL ALMACENAMIENTO AHOGADA

ITERACION 115 TIEMPO 1950				
CANAL 2				
SEC.	VEL. V	TIRAN.Y	GASTO	VELO.U
2	0.3786	0.4069	0.0958	0.3786
4	0.2825	0.3282	0.0555	0.2825
6	0.3321	0.1060	0.0187	

COMPUERTA INICIAL CANAL DOS LIBRE ABERTURA .065 GASTO .0959314817
DESCARGA AL ALMACENAMIENTO AHOGADA

CAPITULO 5

CONSIDERACIONES GENERALES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONSIDERACIONES GENERALES:

SE UTILIZÓ ES ESQUEMA IMPLÍCITO DE SÁNCHEZ-FUENTES PARA LA SOLUCIÓN - DE EFECTOS TRANSITORIOS EN UNA RED DE CANALES Y TIENE MENOS RESTRICCIÓN - EN LOS INTERVALOS DE TIEMPO GRANDE QUE LOS EXPLÍCITOS OBTENIENDO VALORES-SATISFACTORIOS PARA RÉGIMEN SUBCRÍTICO SEGÚN RESULTADOS OBTENIDOS.

SE AJUSTÓ EL COEFICIENTE DE DESCARGA EN LAS COMPUERTAS A PARTIR DE -- LOS RESULTADOS DE HENRY, PARA UTILIZARLOS EN FORMA ANALÍTICA EN LA COMPU-TADORA CON RESULTADOS DE BUENA APROXIMACIÓN.

LA RED DEL DISTRITO DE RIEGO 085 ES ABIERTA, DE TIPO "PEINE" CON CA-NALES DE DIFERENTE TAMAÑO LO CUAL GENERÓ SISTEMAS DE ECUACIONES TRIDIAGO-NALES DE DISTINTO TAMAÑO EN CADA CANAL, RESUELTOS POR EL MÉTODO DE DOBLE-BARRIDO.

LA SIMULACIÓN FUÉ REALIZADA SÓLO EN FORMA NUMÉRICA YA QUE NO SE TIENE LA DISPONIBILIDAD DEL MANEJO DE LA RED EN FORMA ARBITRARIA, PORQUE SE EN-CUENTRA SUJETA A LA PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN LOS CULTIVOS.

SE PUEDE SIMULAR LA CONDICIÓN DOS PARA DIVERSAS MANIOBRAS QUE SEAN -- MÁS CONGRUENTES CON LAS REALES, EMPEZANDO CON EL LLENADO DE LA RED PRINCI-PAL MODIFICANDO LIGERAMENTE EL PROGRAMA UTILIZANDO Y ABRIENDO LAS COMPUER-TAS CUANDO EL TIRANTE LLEGUE UN POCO MÁS ABAJO DEL BORDO LIBRE Y ASÍ EVI-TAR LOS DESBORDAMIENTOS EN LOS CANALES, ESTA SIMULACIÓN DEL LLENADO NO SE HIZO DEBIDO A QUE EL MÉTODO QUEDA EJEMPLIFICADO Y SE TENDRÍA QUE TENER LA CALIBRACIÓN EXACTA DE CADA COMPUERTA EN CAMPO PARA TENER RESULTADOS MÁS - PRECISOS.

EL CÁLCULO DE LA SIMULACIÓN SE HIZO EN UNA COMPUTADORA PERSONAL C-128.

DE 8 BITS, ESCRITO EN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN BASIC. CON LA DESVENTAJA DE CAPACIDAD Y VELOCIDAD SOBRE OTRAS MAQUINAS.

LA RED SE DISCRETIZÓ EN POCOS TRAMOS POR EL TAMAÑO DE LA COMPUTADORA Y LA RED, PERO CONSIDERANDO MÁS PUNTOS SE TENDRÁN VALORES MÁS CONFIABLES EN OTRO TIPO DE REDES.

CONCLUSIONES:

EL ESQUEMA PREISSMANN ES UN ESQUEMA MUY CONSISTENTE Y ES MÁS APROPIADO USARLO CUANDO LOS CANALES SON DE SECCIÓN TRANSVERSAL NO SENCILLA.

LOS EFECTOS DE ONDAS PRODUCIDAS POR EL MANEJO DE COMPUERTAS SE CONSIDERAN DE MANIOBRA LENTA Y PARA MANIOBRAS RÁPIDAS SE OBSERVA OSCILACIÓN DE TIRANTES COMO SE VIÓ EN LOS RESULTADOS EN CAPÍTULO IV.

CUANDO LOS GASTOS DE DERIVACIÓN EN LAS COMPUERTAS SEAN VARIABLES EN EL TIEMPO, A LAS EXPRESIONES ENCONTRADAS EN ELLAS SOLO HAY QUE AFECTARLAS POR EL FACTOR DE PESO EN EL INTERVALO DE TIEMPO.

PARA LA CONDICIÓN FRONTERA DE DESCARGA LIBRE O AHOGADA DA RESULTADOS BUENOS YA QUE EL TIRANTE FINAL, SI DESCARGA LIBRE TIENDE AL CRÍTICO EN FORMA POR DEMÁS APROXIMADA PARA DIFERENTES VALORES DEL CAUDAL QUE SE OBSERVARON CON DIFERENTES CORRIDAS DE CÓMPUTO A FLUJO ESTABLECIDO.

EL TRANSITORIO ES PRÁCTICAMENTE PEQUEÑO PARA LAS CONDICIONES DE SIMULACIÓN DEBIDO A LA POCA CANTIDAD DE AGUA UTILIZADA Y SIMULADA POR LA DEMANDA.

RECOMENDACIONES:

PARA EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE RIEGO SE RECOMIENDA UTILIZAR LOS CRITERIOS DE SIMULACIÓN CON AYUDA DE TÉCNICAS HIDRÁULICAS FLEXIBLES.

ES NECESARIO DARLE UN PERÍODO DE CALENTAMIENTO DEBIDO A QUE LA DISCRETIZACIÓN INCURRE EN PEQUEÑOS ERRORES QUE SE COMPENSAN, TENIENDO LA VENTAJA DE DAR VALORES INICIALES NO TAN PRECISOS LOS CUALES SE AJUSTAN EN ESTE PROCESO EN FORMA ADECUADA.

TENER LOS DATOS DEL SISTEMA DE RIEGO ASÍ COMO LA PROGRAMACIÓN DE CULTIVO CUANDO SE PRESENTE LA SIMULACIÓN.

CALIBRAR TODAS LAS COMPUERTAS EXISTENTES Y QUE SE UTILICEN, TENIENDO SUS RELACIONES DE CARGA-GASTO.

LLEVAR A CABO EL PROGRAMA DE RIEGO A CULTIVOS PARA TENER ÉXITO.

HACER LAS MANIOBRAS DEL SISTEMA DE RIEGO EN EL AÑO EN UNA SIMULACIÓN ANTES DE LLEVARLAS A CABO EN LA REALIDAD PARA OPTIMIZAR EL USO DEL AGUA.

CAPITULO 6

BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- SÁNCHEZ BRIBIESCA J.L. Y FUENTES MARILES O.A., METODO ALTERNATIVO PARA LA EVALUACION DE EFECTOS TRANSITORIOS EN CAVALES, C.F.E. 1986.
- 2.- YEVJEVICH, V. AND MAHMOOD, K., UNSTEADY FLOW IN OPEN CHANNELS, - VOL. I, II, WATER RESOURCES PUBLICATIONS FORT, COLLINS. COLORADO, U.S.A.
- 3.- CHAUDHRY HANIF, M., APPLIED HYDRAULIC TRANSIENTS, VAN NOSTRAND - REINHOLD COMPANY 1979.
- 4.- HENDERSON, F.M., OPEN CHANNEL FLOW, Mc. MILLIAN PUBLISHING INC. 1966.
- 5.- SOTELO AVILA, GILBERTO. HIDRAULICA GENERAL, VOL. I, LIMUSA 1974.
- 6.- CHOW, VEN T., OPEN CHANNEL HYDRAULICS, Mc. GRAW HILL KOGAKUSHA - 1959.
- 7.- ABBOTT M.B., COMPUTATIONAL HYDRAULICS ELEMENTS. OF THE THEORY OF FREE SURFACE FLOWS, PITMAN PUBLISHING LIMITED 1979.
- 8.- CUNGE J.A. HOLLY JR. AND VERWEY A., PRACTICAL ASPECTS OF COMPUTATIONAL RIVER HYDRAULICS, PITMAN ADVANCED PUBLISHING PROGRAM, 1980.
- 9.- FRENCH, OPEN CHANNEL HYDRAULICS, Mc. GRAW-HILL, 1985.
- 10.- MIJARES APARICIO, J., SIMULACION NUMERICA DE FLUJO SUPERCRITICO-TRANSITORIO, TESIS DOCTORAL, FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M., 1985.
- 11.- CRUICKSHANKY, C. Y ZUMAYA, E., PROPAGACION DE AVENIDAS. DOCUMENTACIÓN DEL PLAN NACIONAL HIDRÁULICO, 1977.

12.- SMITH G.D., NUMERICAL SOLUTION OF PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS FINITE DIFFERENCE METHODS. OXFORD UNITED KINGDOM, 1978.

13.- BEREZOWSKY V. M. Y GRACIA S.J., UN ALGORITMO PARA EL CALCULO DE-TRANSITORIOS EN CANALES DE RIEGO PROVOCADOS POR EL MANEJO DE COMPUERTAS.- IX CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA, MÉRIDA, VENEZUELA, 1980.

14.- PADILLA, J., ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO EN REGIMEN TRANSITORIO-DE UNA RED DE CANALES PARA RIEGO. TESIS, DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO, FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M., 1985.

15.- LOAIZA GARCÍA R. ESPINOSA NUÑEZ JIMÉNEZ R.A. AUTOMATIZACION DE SISTEMAS DE RIEGO. INGENIERÍA HIDRÁULICA EN MÉXICO, ENERO/ABRIL, 1986.

16.- MEMORIA DEL SEMINARIO DE LA IRRIGACION Y EL DESARROLLO RURAL E - INTEGRAL. CHAPINGO, MÉXICO 7 DE FEBRERO DE 1986.

17.- GARCÍA JACOBO J.A., ANALISIS COMPARATIVO DE VARIAS ESTRUCTURAS - AFORADORAS. TESIS PROFESIONAL, DEPARTAMENTO DE IRRIGACIÓN U.A.CH. EN - PROCESO.

18.- PALACIOS VÉLEZ E., INTRODUCCION A LA TEORIA DE OPERACION DE DIST-TRITOS DE RIEGO Y SISTEMAS DE RIEGO. COLEGIO DE POSTGRADUADOS, CHAPINGO, 1977.

19.- ESPINOSA VICENTE E., LOS DISTRITOS DE RIEGO. C.E.C.S.A., 1962.

20.- HERNÁNDEZ SAUCEDO RAÚL., SIMULACION DEL FLUJO NO PERMANENTE EN - CANALES PRISMATICOS ABIERTOS. TESIS DE MAESTRÍA EN CIENCIAS, COLEGIO DE - POSTGRADUADOS, CHAPINGO, MÉXICO, 1983.

21.- ARTEAGA TOVAR, R.E., RESOLUCION DE LAS ECUACIONES DE SAINT-VENANT POR LOS METODOS DE DIFERENCIAS FINITAS Y DE LAS CARACTERISTICAS. TESIS - DE MAESTRÍA EN CIENCIAS, COLEGIO DE POSTGRADUADOS, CHAPINGO, MÉXICO, 1985.

23.- MARTÍNEZ AUSTRIA P. Y FUENTES MARILES O.A., APUNTES DE METODOS - NUMERICOS EN LA HIDRAULICA. FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M. DIVISIÓN POSGRADO, 1985.

24.- I.I.E (C.F.E.), MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES A.2.1, ESCURRI MIENTO A SUPERFICIE LIBRE, 1981.

25.- I.I.E (C.F.E.), MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES A.1.11, PREDI CION DE AVENIDAS, 1979.

26.- GARCÍA JACOBO, J.A., EXPERIENCIAS PERSONALES EN EL DISTRITO DE - RIEGO 085.

27.- PEÑA PEÑA, E., EXPERIENCIAS PERSONALES EN EL RIEGO.

28.- CARACTERISTICAS DE LOS DISTRITOS DE RIEGO. SUBSECRETARÍA DE OPE RACIÓN DISTRITOS DE RIEGO, SARH. TOMO II, CUENCA DEL RÍO LERMA, 1976.

29.- BEREZOWSKY, V.M. Y GÓMEZ, M.A., SOLUCION NUMERICA DE LA ECUACION DIFERENCIAL DEL FLUJO GRADÚALMENTE VARIADO. INSTITUTO DE INGENIERÍA 499, - 1986.

ANEXO 1

DEDUCCION DE LAS ECUACIONES DE FLUJO NO PERMANENTE UNIDIMENSIONAL.

EL FLUJO NO PERMANENTE ES UNO DE LOS QUE MÁS SE PRESENTAN EN LA NATURALEZA, PRODUCIDOS POR INUNDACIONES EN RÍOS, MARES, OCÉANOS Y ESTUARIOS, - DESAGÜE DE ESCLUSAS DE BARCOS, ESCURRIMIENTO DE ALCANTARILLAS DEBIDAS A -- TORMENTAS, ECT. SE TIENE PRINCIPALMENTE DOS TIPOS DE FLUJO NO PERMANENTE) GRADUALMENTE Y RAPIDAMENTE VARIADO; EN EL SEGUNDO TIPO LA CURVATURA DEL -- PERFIL DE LA OLA ES MUY GRANDE Y LA SUPERFICIE DEL PERFIL PUEDE HACERSE -- DISCONTINUA SIENDO DESPRECIABLES LOS EFECTOS DE FRICCIÓN EN COMPARACIÓN -- CON EL EFECTO DINÁMICO DEL FLUJO, DESEMPEÑANDO UN PAPEL IMPORTANTE LA COM-- PONENTE VERTICAL DE LA ACELERACIÓN EN EL FENÓMENO, COMO, POR EJEMPLO, MA-- REAS CAUSADAS POR OPERACIÓN RÁPIDA DE ESTRUCTURAS DE CONTROL O POR EL ROM-- PIMIENTO DE UN DIQUE O UNA PRESA. EN CAMBIO EN EL PRIMER CASO LA CURVATU-- RA DEL PERFIL DE LA OLA ES MODERADA Y EL CAMBIO DE PROFUNDIDAD ES GRADUAL-- Y LA COMPONENTE VERTICAL DE ACELERACIÓN DE LAS PARTICULAS DEL AGUA ES DES-- PRECIABLE EN COMPARACIÓN CON LA ACELERACIÓN TOTAL Y LOS EFECTOS DE FRIC-- CIÓN SON APRECIABLES Y SE DEBEN DE TOMAR EN CONSIDERACIÓN, COMO, POR EJEM-- PLO, LAS ONDAS DE AVENIDA Y LAS OCASIONADAS POR LA OPERACIÓN LENTA DE ES-- TRUCTURAS DE CONTROL COMO COMPUERTAS DESAGÜES DE ESCLUSAS O LAS COMPUERTAS DE REPRESAS O TOMAS LATERALES EN CANALES DE RIEGO QUE ES EL CASO ESTUDIADO EN ESTE TRABAJO.

LAS ECUACIONES A CONSIDERAR SON LAS DE SAINT-VENANT, QUE SON VÁLIDAS-- BAJO LAS SIGUIENTES HIPÓTESIS:

A) LA PENDIENTE DEL CANAL ES PEQUEÑA DE TAL FORMA QUE $\text{SEN.}\theta \approx \text{TAN.}\theta$ - Y $\text{COS.}\theta \approx 1$.

B) LA DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES ES HIDROSTÁTICA, SIENDO CIERTO, SI LA ACELERACIÓN VERTICAL ES PEQUEÑA Y LA VARIACIÓN DE LA SUPERFICIE LIBRE ES - GRADUAL.

C) SE APLICAN LAS ECUACIONES DE FRICCIÓN PARA FLUJO PERMANENTE.

D) LA DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CANAL ES UNIFORME.

E) EL CANAL ES RECTO Y PRISMÁTICO CON FLUIDO INCOMPRESIBLE.

I. ECUACION DE CONTINUIDAD.

PARA DEDUCIRLA SE PROPONE UN VOLUMEN DE CONTROL COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA A1.1

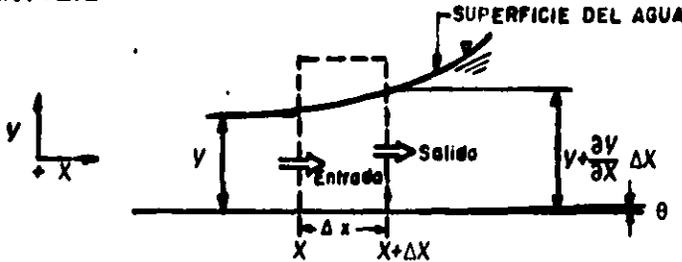
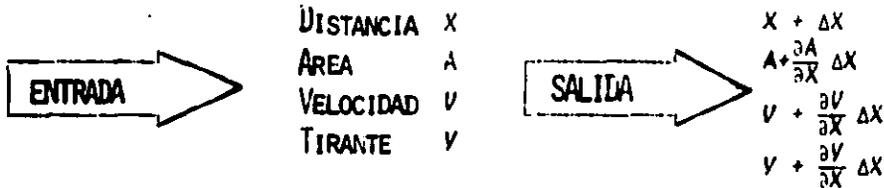


FIGURA A1.1 VOLUMEN DE CONTROL DE LA ECUACIÓN DE CONTINUIDAD.

DE LA FIGURA A1.2, TENEMOS:



POR CONTINUIDAD, EL CAMBIO DE MASA DENTRO DEL VOLUMEN DE CONTROL = ENTRADA DE MASA MENOS SALIDA EN EL TIEMPO, POR LO TANTO:

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho A V - \rho (A + \frac{\partial A}{\partial x} \Delta x) (V + \frac{\partial V}{\partial x} \Delta x) \dots \dots \dots /1.1$$

HACIENDO OPERACIONES Y DESPRECIANDO TÉRMINOS DE DERIVADA DE ORDEN SUPERIOR Y SABIENDO QUE $\rho = \gamma/g$.

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\gamma}{g} A \frac{\partial V}{\partial x} \Delta x - \frac{\gamma}{g} V \frac{\partial A}{\partial x} \Delta x \dots \dots \dots A1.2$$

$$\text{ADEMÁS COMO } \frac{\Delta m}{\Delta x} = \rho \frac{dv}{dx} = \frac{\gamma}{g} \frac{\partial A}{\partial x} \Delta x \dots\dots\dots \text{A1.3}$$

AL IGUALAR Y HACER OPERACIONES RESULTA:

$$\frac{\partial A}{\partial x} + v \frac{\partial A}{\partial x} + A \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots \text{A1.4}$$

DE LA DEFINICIÓN DE DERIVADA TOTAL Y DEL ANCHO DE SUPERFICIE LIBRE - SE PUEDE OBTENER ($da = Bdv$).

$$\frac{\partial A}{\partial x} = \frac{dA}{dv} \cdot \frac{\partial v}{\partial x} = B \frac{\partial v}{\partial x} \dots\dots\dots \text{A1.5}$$

$$\frac{\partial A}{\partial x} = \frac{dA}{dv} \cdot \frac{\partial v}{\partial x} = B \frac{\partial v}{\partial x} \dots\dots\dots \text{A1.6}$$

SUSTITUYENDO A1.5 Y A1.6 EN A1.4 SE LLEGA A:

$$\frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{A}{B} \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots \text{A1.7}$$

DE LA DEFINICIÓN DE CAUDAL ($Q = Av$), HACIENDO SIMPLIFICACIONES SE OBTIENE:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots \text{A1.8}$$

$$\frac{\partial Av}{\partial x} + B \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots \text{A1.9}$$

LAS ECUACIONES A1.8 Y A1.9 SON LAS ECUACIONES DE CONTINUIDAD EN DIFERENTE PRESENTACIÓN QUE SE DISCRETIZAN EN LOS ESQUEMAS ESTUDIADOS.

II. ECUACION DINAMICA.

EN LA FIGURA A1.2 SE MUESTRA LOS EFECTOS DINÁMICOS QUE PRODUCEN MOVIMIENTOS:

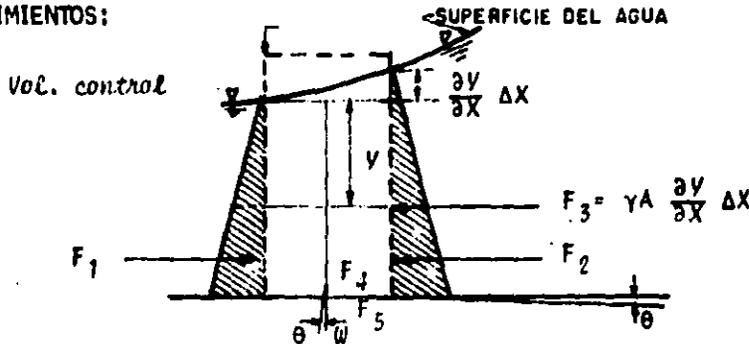


FIGURA A1.2 EFECTOS DINÁMICOS EN EL VOLUMEN DE CONTROL.

EN ESTA DEDUCCIÓN SE EMPLEA EL PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO (2ª LEY DE NEWTON), QUE CONSIDERA LOS EFECTOS EXTERNOS QUE PRODUCEN EL MOVIMIENTO; POR LO TANTO LAS FUERZAS ACTUANTES SERÁN:

$$F_1 = F_2 = \gamma \nabla A \quad \text{FUERZA DEL TRIÁNGULO SOMBREADO} \quad \dots\dots\dots A1.10$$

$$F_3 = \gamma A \frac{\partial y}{\partial x} \Delta x \quad \text{FUERZA DE LA CUÑA DE PRESIONES} \quad \dots\dots\dots A1.11$$

(RECTÁNGULAR Y PEDAZO DE TRIÁNGULO PEQUEÑO).

$$F_4 = \text{COMPONENTE POR EFECTO DE FRICCIÓN. } P = \text{PERÍMETRO MOJADO.}$$

$$F_4 = \tau_0 P \Delta x \quad \dots\dots\dots A1.12$$

$$\tau_0 = \gamma R S_f \quad \dots\dots\dots A1.13$$

$$F_4 = \gamma A S_f \Delta x \quad \dots\dots\dots A1.14$$

$$F_5 = \text{COMPONENTE DE PESO EN X.}$$

$$F_5 = \gamma A \Delta x S_0 \quad \dots\dots\dots A1.15$$

DE ACUERDO A LA 2ª LEY DE NEWTON Y POR CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO.

$$\Sigma F = \Sigma pQV = \Sigma \frac{\gamma}{g} AVV = \Sigma \frac{\gamma}{g} AV^2 \dots\dots\dots A1.16$$

Y DE LA FIGURA:

$$\Sigma F = F_1 - F_2 - F_3 - F_4 + F_5 \dots\dots\dots A1.17$$

Y EN TERMINOS DE LAS ECUACIONES A1.12 A A1.15.

$$-\gamma A \frac{\partial V}{\partial X} \Delta X + \gamma A S_0 \Delta X - \gamma S_f \Delta X \dots\dots\dots A1.18$$

$$\boxed{\text{ENTRADA}} \rightarrow \frac{\gamma}{g} AV^2 \quad \boxed{\text{SALIDA}} \rightarrow \frac{\gamma}{g} \left[AV^2 + \frac{\partial}{\partial X} (AV^2) \Delta X \right] \dots\dots\dots A1.19$$

Y LA RELACIÓN DE INCREMENTO O DECREMENTO DE MOMENTUM EN EL TIEMPO.

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\gamma}{g} AV \Delta X \right) = \frac{dmV}{dt} = \frac{dpV}{dt} \dots\dots\dots A1.20$$

DE LAS ECUACIONES A1.18, A1.19, A1.20, EN EL PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN A1.16 SE LLEGA A:

$$\frac{\partial (AV)}{\partial t} + \frac{\partial (AV^2)}{\partial X} - gA \frac{\partial V}{\partial X} = gA(S_0 - S_f) \dots\dots\dots A1.21$$

PERO ADEMÁS:

$$\frac{\partial AV}{\partial t} = A \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial A}{\partial t} \dots\dots\dots A1.22$$

$$\frac{\partial (AV^2)}{\partial X} = AV \frac{\partial V}{\partial X} + AV \frac{\partial V}{\partial X} + VV \frac{\partial A}{\partial X} \dots\dots\dots A1.23$$

SUSTITUIDAS EN LA ECUACIÓN A1.19, Y DESPUÉS DE HACER SIMPLIFICACIONES SE OBTIENE:

$$g \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{A} \left[\frac{\partial A}{\partial t} + V \frac{\partial A}{\partial X} + A \frac{\partial V}{\partial X} \right] = g(S_0 - S_f) \dots\dots\dots A1.24$$

DE LA ECUACIÓN A1.3 EL TÉRMINO ENTRE PARÉNTESIS ES NULO, ENTONCES RESULTA:

$$g \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial z} = g(S_0 - S_f) \quad \dots\dots\dots A1.25$$

QUE SE PUEDE REPRESENTAR COMO:

$$\frac{\partial v}{\partial x} - S_0 = - \left[\frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial z} + S_f \right] \quad \dots\dots\dots A1.26$$

SI $S_0 = \frac{\partial z}{\partial x}$, z = ELEVACIÓN DE LA PLANTILLA CON RESPECTO A UN NIVEL DE REFERENCIA Y SUSTITUYENDO SE DA:

$$\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial x} = - \left[\frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial z} + S_f \right] \quad \dots\dots\dots A1.27$$

FORMA DE ECUACIÓN QUE UTILIZA EL ESQUEMA SÁNCHEZ-FUENTES.

PARA LA PRESENTACIÓN UTILIZADA EN LOS ESQUEMAS COMO EL DE PREISSMANN, VASILIEV, ETC., SE MODIFICA LIGERAMENTE AL CONSIDERAR:

$$\frac{Q_n}{\sqrt{S_f}} = K = \frac{1}{n} AR^{2/3} \quad \text{FACTOR DE CONDUCCIÓN MANNING, DE DONDE DESPEJANDO } S_f.$$

$$S_f = \frac{Q_n^2}{K^2} \quad S_f = \frac{Q/Q_n}{K_n^2} \quad \dots\dots\dots A1.28$$

$$\text{ADEMÁS } S_0 = - \frac{\partial z}{\partial x} \quad \dots\dots\dots A1.29$$

SUSTITUYENDO A1.23, A1.29 Y CONSIDERANDO QUE:

$$\frac{\partial (v^2)}{\partial x} = v \frac{\partial v}{\partial x} \quad \dots\dots\dots A1.30$$

SE LLEGA A:

$$g \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial (v^2)}{\partial x} + g \frac{\partial z}{\partial x} + g \frac{Q/Q_n}{K^2} = 0 \quad \dots\dots\dots A1.31$$

$$\text{SI SE TIENE QUE } z' = v + z \quad \dots\dots\dots A1.32$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha \frac{V^2}{Z})}{\partial X} + g \frac{\partial Z'}{\partial X} + g \frac{Q'Q'}{K^2} = 0 \dots\dots\dots A1.33$$

COND: $Q' = AV$, $V = Q'/A$ A1.34

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial \frac{Q'}{A}}{\partial t} = \frac{1}{A} \frac{\partial Q'}{\partial t} - \frac{Q'}{A^2} \frac{\partial A}{\partial t} \dots\dots\dots A1.35$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} = B \frac{\partial Z'}{\partial t} \dots\dots\dots A1.36$$

RESULTA:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{1}{A} \frac{\partial Q'}{\partial t} - \frac{Q'B}{A^2} \frac{\partial Z'}{\partial t} \dots\dots\dots A1.37$$

Y ADEMÁS:

$$\frac{\partial \alpha \frac{V^2}{Z}}{\partial X} = \alpha V \frac{\partial V}{\partial X} + \frac{V^2}{Z} \frac{\partial \alpha}{\partial X} \dots\dots\dots A1.38$$

$$\frac{\partial V}{\partial X} = \frac{1}{A} \frac{\partial Q'}{\partial X} - \frac{Q'}{A^2} \frac{\partial A}{\partial X} \dots\dots\dots A1.39$$

SUSTITUYENDO A1.37, A1.38, A1.39 Y $\frac{Q'^2}{A^2} = V^2$ EN LA ECUACIÓN A1.32- Y HACIENDO SIMPLIFICACIONES SE LLEGA A:

$$\frac{\partial Q'}{\partial t} - \frac{Q'B}{A} \frac{\partial Z'}{\partial t} + \frac{\alpha Q'}{A} \frac{\partial Q'}{\partial X} - \frac{\alpha Q'^2}{A^2} \frac{\partial A}{\partial X} + gA \frac{\partial Z'}{\partial X} + \frac{Q'^2}{\partial A} \frac{\partial \alpha}{\partial X} + Ag \frac{Q'Q'}{K^2} = 0 \dots\dots A1.40$$

ECUACIÓN DINÁMICA UTILIZADA EN EL ESQUEMA PREISSMANN (SOGREAH) -- REF. (2) Y EJEMPLIFICADA EN EL CAPÍTULO III.

ANEXO 2

DIFERENCIAS FINITAS.

DENTRO DE LOS PROBLEMAS INGENIERILES TODOS LOS CASOS EN LOS QUE MANIFIESTA VARIACIÓN DE ALGÚN FENÓMENO SE DESCRIBEN MEDIANTE UNA ECUACIÓN DIFERENCIAL, DE LA CUAL LA FORMA COMÚN Y QUE REPRESENTA SATISFACTORIAMENTE A DICHS FENÓMENOS ES:

$$A \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + B \frac{\partial^2 \theta}{\partial X \partial Y} + C \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} + D \frac{\partial \theta}{\partial Y} + E \frac{\partial \theta}{\partial Y} + f\theta + g = 0 \dots\dots\dots A2.1$$

ECUACIÓN BIDIMENSIONAL DE SEGUNDO ORDEN DONDE A, B, C, D, E, F Y G SON -- CONSTANTES O FUNCIONES Y SE DEFINE DE ACUERDO A SU DISCRIMINANTE EN:

ECUACIÓN ELÍPTICA $B^2 - 4AC < 0 \dots\dots\dots A2.2$

ECUACIÓN PARABÓLICA $B^2 - 4AC = 0 \dots\dots\dots A2.3$

ECUACIÓN HIPERBÓLICA $B^2 - 4AC > 0 \dots\dots\dots A2.4$

POR EJEMPLO UNA REPRESENTACIÓN DE LA ECUACIÓN ELÍPTICA ES LA ECUACIÓN DE LAPLACE QUE DESCRIBE FLUJOS DE AGUA CON POTENCIAL EN CONDICIONES INCOMPRESIBLES E INVISCOSAS, PARA EL TIPO PARABÓLICO LOS PROBLEMAS DE DIFUSIÓN Y LAS HIPERBÓLICAS PARA LAS ECUACIONES DE ONDAS COMO LAS DE SAINT-VENANT.

DENTRO DE LOS MÉTODOS DE SOLUCIÓN, CUANDO SE UTILIZAN LOS NUMÉRICOS - SE CUENTA CON EL DE LAS CARACTERÍSTICAS, DIFERENCIAS FINITAS Y DEL ELEMENTO FINITO, TODOS ELLOS SE BASAN EN LA DISCRETIZACIÓN DE LAS ECUACIONES DIFERENCIALES Y EL QUE AQUÍ VAMOS A CITAR ES EL DE LAS DIFERENCIAS FINITAS.

LA DISCRETIZACIÓN SE BASA EN EL DESARROLLO DE LA SERIE DE TAYLOR EXPRESADA PARA UNA FUNCIÓN DE LA SIGUIENTE MANERA:

$$f(z+\Delta z) = f(z) + f'(z)\Delta z + f''(z)\frac{\Delta z^2}{2} + f'''(z)\frac{\Delta z^3}{6} + o(\Delta z^4) \dots\dots\dots A2.5$$

CAMBIANDO LA VARIABLE A, $\Delta z = \Delta x$ y $z = x$ SE OBTIENE:

$$f(x+\Delta x) = f(x) + f'(x)\Delta x + \frac{f''(x)}{2}\Delta x^2 + \frac{f'''(x)}{6}\Delta x^3 + o_1(\Delta x^4) \quad A2.6$$

Y:

$$f(x-\Delta x) = f(x) - f'(x)\Delta x + \frac{f''(x)}{2}\Delta x^2 - \frac{f'''(x)}{6}\Delta x^3 + o_2(\Delta x^4) \dots A2.7$$

LEMINANDO $o_1(\Delta x^4)$ ERROR DE TRUNCAMIENTO DE LA SERIE; AHORA AL CONSIDERAR SOLO LOS PRIMEROS TÉRMINOS Y DESPRECIANDO LAS DERIVADAS DE ORDEN SUPERIOR NOS QUEDA:

$$f'(x) = \frac{f(x+\Delta x) - f(x)}{\Delta x} - \frac{o_1(\Delta x^2)}{\Delta x} \dots A2.8$$

$$f'(x) = \frac{f(x) - f(x-\Delta x)}{\Delta x} + \frac{o_2(\Delta x^2)}{\Delta x} \dots A2.9$$

$$f'(x) = \frac{f(x+\Delta x) - f(x-\Delta x)}{2\Delta x} + \frac{o_2(\Delta x^2) - o_1(\Delta x^2)}{2\Delta x} \dots A2.10$$

SIENDO LAS DIFERENCIAS COMUNMENTE LLAMADAS DERECHA (D), IZQUIERDA (I), Y CENTRADA (C) RESPECTIVAMENTE, REF. (2,7,12,23,29).

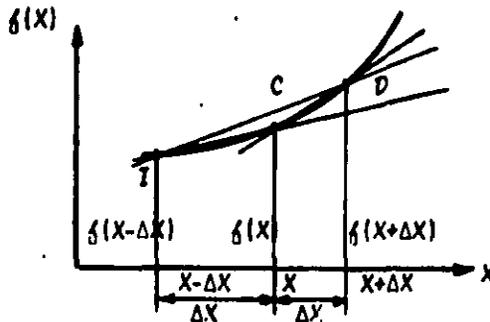


FIG. A2.1 DIFERENCIAS FINITAS EN UNA VARIABLE.

DESPRECIANDO LOS ERRORES DE TRUNCAMIENTO RESULTA:

$$\frac{\Delta f(x)}{\Delta x} = \frac{f(x+\Delta x) - f(x)}{\Delta x} \dots A2.11$$

$$\frac{\Delta f(x)}{\Delta x} = \frac{f(x) - f(x-\Delta x)}{\Delta x} \dots\dots\dots A2.12$$

$$\frac{\Delta f(x)}{\Delta x} = \frac{f(x+\Delta x) - f(x-\Delta x)}{2\Delta x} \dots\dots\dots A2.13$$

PARA DERIVADAS DE SEGUNDO ORDEN AL SUMAR LAS ECUACIONES A2.6 Y A2.7- Y DESPRECIANDO LOS TÉRMINOS DE ORDEN SUPERIOR QUEDA:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f''(x) = \frac{f(x-\Delta x, t) - 2f(x, t) + f(x+\Delta x, t)}{\Delta x^2} \dots\dots\dots A2.14$$

PARA DERIVADAS PARCIALES DE ECUACIONES DE MÁS DE UNA VARIABLE LAS -- APROXIMACIONES TIENEN VIGENCIA SÓLO. QUE SE DEBERÁ SER CUIDADOSO CON LA VA RIACIÓN DE LAS VARIABLES YA QUE PUEDEN PRESENTARSE ESQUEMAS QUE SATISFA-- GAN LA DISCRETIZACIÓN MATEMÁTICA DE LA ECUACIÓN, PERO NO DESCRIBAN EL PRO BLEMA FÍSICO O SEAN INESTABLES.

POR EJEMPLO, SI $f(x, t)$ EN DIFERENCIA HACIA ADELANTE RESPECTO A x, t - SERÁN:

$$\left(\frac{\partial f(x, t)}{\partial x}\right)_t = \frac{f(x+\Delta x, t) - f(x, t)}{\Delta x} \dots\dots\dots A2.15$$

$$\left(\frac{\partial f(x, t)}{\partial t}\right)_x = \frac{f(x, t+\Delta t) - f(x, t)}{\Delta t} \dots\dots\dots A2.15$$

PRESENTANDO UN ESQUEMA DE FORMA GRÁFICA, MOSTRANDO EN LA FIG. A2.2.

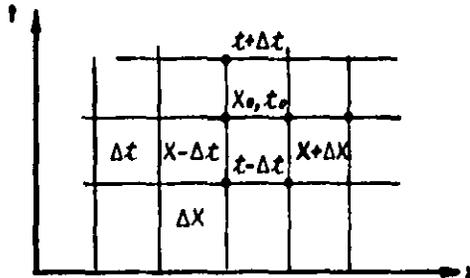


FIGURA A2.2 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS DIFEREN CIAS EN MÁS DE UNA VARIABLE.

PARA LA SOLUCIÓN DE LAS ECUACIONES DIFERENCIALES EN FORMA DE DIFERENCIAS FINITAS, COMO SE REFIRIÓ ANTERIORMENTE SE PUEDEN HACER DIVERSAS COMBINACIONES DE DIFERENCIAS EN LAS VARIABLES, PROPORCIONANDO VARIOS ESQUEMAS PARA LA MISMA ECUACIÓN PERO PARA QUE EL ESQUEMA SEA ACEPTABLE DEBE DE SER CONVERGENTE, ÉSTO QUIERE DECIR QUE CUANDO $\Delta t > 0$, $\Delta x > 0$, SE TIENDE A LA SOLUCIÓN EXACTA; ESTABLE, O SEA QUE POR EFECTO DE REDONDEO NO SE AMPLIFICA EL ERROR CUANDO SE APROXIMA A LA SOLUCIÓN Y CONGRUENTE O CONSISTENTE CUANDO EL ESQUEMA QUE SE RESUELVE REPRESENTA A LA ECUACIÓN FÍSICA DE QUE SE TRATE, NO RESOLVIENDO UN ESQUEMA QUE CORRESPONDA A OTRA ECUACIÓN, VER REFERENCIAS (1,2,7,10,12,23).

DENTRO DE LOS ESQUEMAS EN DIFERENCIAS FINITAS SE TIENEN DOS CLASES: - LOS EXPLICITOS Y LOS IMPLICITOS; LOS PRIMEROS SON LOS QUE TIENEN DESPEJADA LA INCÓGNITA Y SE PUEDE HACER SU CÁLCULO DE MANERA SUBSECUENTE CONOCIDAS LAS CONDICIONES ANTERIORES; SIN EMBARGO, POR LO GENERAL, TIENEN LA RESTRICCIÓN QUE PARA INTERVALOS GRANDES DE TIEMPO, SE VEN AFECTADOS EN SU -- CONVERGENCIA CON PROBLEMAS DE ESTABILIDAD, MIENTRAS QUE EN LOS SEGUNDOS -- SON MÁS EXACTOS Y MEJORÁN EL PROBLEMA ANTERIOR, PERO POR NO TENER DESPEJADA LA VARIABLE A RESOLVER FORMAN SISTEMAS DE ECUACIONES PARA CADA INSTANTE DE TIEMPO COMO FUÉ EL CASO TRATADO EN ESTE TRABAJO.

PARA EL ANÁLISIS DE LA CONVERGENCIA Y ESTABILIDAD Y CONGRUENCIA, SE RECORRE A TÉCNICAS MATEMÁTICAS, QUE SALEN DEL OBJETIVO DE ESTE TRABAJO -- LAS CUALES SE PUEDEN REVISAR EN LA REFERENCIA (1,2,7,10,12 y 23).

ANEXO 3
 PROGRAMA PARA EL TRÁNSITO DE AVENIDAS EN UN CANAL CON TIRANTE
 CONSTANTE, ESQUEMA SÁNCHEZ-FUENTES (EJEMPLO)
 PROGRAMA 1

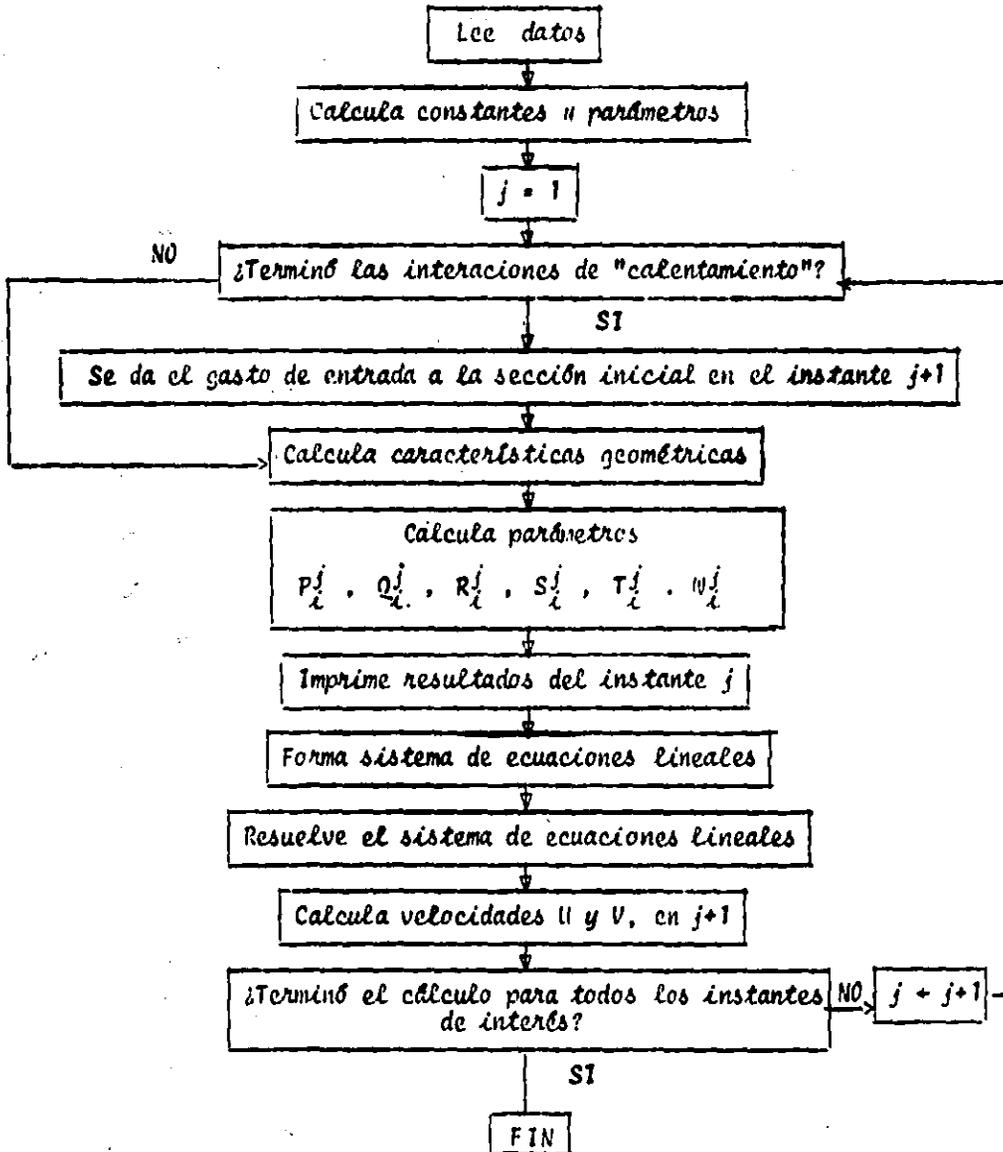


FIG. A3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROGRAMA P.1

```

10 REM *****
20 REM *** ANEXO 3 - PROGRAMA UNO ***
30 REM *****
40 :
50 REM *****
60 REM *** ESQUEMA SANCHEZ-FUENTES ***
70 REM *****
90 :
90 REM SIMULACION DE TRANSITO DE AVENIDAEM REGIMEN SUBCRITICO
100 :
110 REM MAURICIO CARRILLO GARCIA 1986
120 :
130 DIM GE(1,2),A(15),B(15),BB(15),Z(15),K(15),U(15),V(15),Y(15),RM(15)
140 DIM P(14),Q(14),R(14),S(14),T(14),W(14),L(14),F(14,4)
150 :
160 REM *** LEE DATOS ***
170 FAST
180 READ MJ,M,TH,G,N,DT,IC
190 DATA 100,10,.9,9.81,.015,30,21
200 FOR I=1 TO M
210 READ BB(I),K(I),Z(I),L(I)
220 NEXT I
230 DATA 6,1,.81,100,6,1,.72,100,6,1,.63,100,6,1,.54,100,6,1,.45,100,6,1,.36
240 DATA 100,6,1,.27,100,6,1,.18,100,6,1,.09,100,6,1,0,100
250 READ YF,ZF,BF,KF
260 DATA 1.8,-.09,6,1
270 READ GE(1,2)
280 DATA 10
290 FOR I=1 TO M
300 READ Y(I),U(I)
310 V(I)=U(I)
320 NEXT I
330 DATA 1.107,1.273,1.159,1.215,1.216,1.158,1.279,1.101,1.345,1.047,1.416
340 DATA .995,1.489,.946,1.564,.901,1.641,.858,1.72,.819
350 V(1)=0
360 M1=M+1
370 READ V(M1)
380 DATA .783
390 :
400 REM ***** SE CALCULAN LAS CONSTANTES Y DEFINE VARIABLES *****
410 M2=M-1
420 Y(M1)=YF
430 Z(M1)=ZF
440 BB(M1)=BF
450 K(M1)=KF
460 KK=0 : KT=0
470 J=1
480 J1=J+1
490 C1=1/TH
500 C2=(1-TH)/TH
510 C3=1/(4*DT)
520 C4=1/(2*THRG)
530 C5=1/(2*TH*G*DT)
540 C6=N*N/(4*TH)

```

```

550 CO=1/DT
560 D2=1-TH
570 D1=TH
580 :
590 REM      *** IMPRIME DATOS ***
600 PRINT SPC(10)"*** D A T O S ***"
610 PRINT "M3=";M3,"M=";M,"TH=";TH
620 PRINT "G=";G,"N=";N,"DT=";DT,"IC=";IC
630 PRINT " I  BB(I)  K(I)  Z(I) (CR)L(I)  Y(I)  V(I)"
640 FOR I=1 TO M1
650 PRINT USING "###";I;
660 PRINT USING "#####";BB(I),K(I),Z(I),L(I),Y(I),V(I)
670 NEXT I
680 PRINT "*****"
690 REM *** EMPIEZA PROCESO ITERATIVO***
700 REM *** REvisa SI TERMINO EL CALCULO DE CALENTAMIENTO ***
710 IF KK<IC THEN 770
720 REM SE DA EL GASTO EN LA SECCION INICIAL*****
730 IF KK=21 THEN 1010
740 INPUT GE(1,J1)
750 KT=(KK-IC)*DT
760 REM CALCULA CARACTERISTICAS GEOMETRICAS
770 FOR I = 1 TO M1
780 B(I)=BB(I)+2*K(I)*Y(I)
790 A(I)=Y(I)*(BB(I)+K(I)*Y(I))
800 PH=BB(I)+2*SR(K(I)*K(I)+1)*Y(I)
810 RH(I)=A(I)/PH
820 NEXT I
830 FOR I=1 TO M
840 I1=I+1
850 B(I)=(B(I)+B(I1))*L(I)*C3
860 RH(I)=(2/(RH(I)+RH(I1)))^1.33333333
870 NEXT I
880 IF KK<IC THEN 900
890 PRINT
900 PRINT "ITERACION ";KK;"TIEMPO";KT;"GASTO E.";GE(1,1)
910 PRINT"SECC. VEL.V TIRANTE GASTO VEL.U"
920 PRINT
930 REM CALCULA PARAMETROS DE VELOCIDADES U & V
940 FOR I=1 TO M
950 I1=I+1
960 C0=L(I)*C5
970 CA=-C0-C4*(V(I1)-V(I))-C6*L(I)*ABS(U(I)+V(I1))*RH(I)
980 CC=C1*(Z(I1)-Z(I))+C2*(Y(I1)-Y(I))-C0*(U(I)+V(I1))
990 DE=1/(CA*(A(I)+A(I1)))
1000 CD=A(I)*DE
1010 CI=A(I1)*DE
1020 C0=B(I)/(A(I)+A(I1))
1030 CH=Y(I1)+Y(I)
1040 CF=C0*CH
1050 P(I)=CI+C0
1060 B(I)=-CI+C0
1070 R(I)=CC*CI-CF
1080 S(I)=CD-C0

```

```

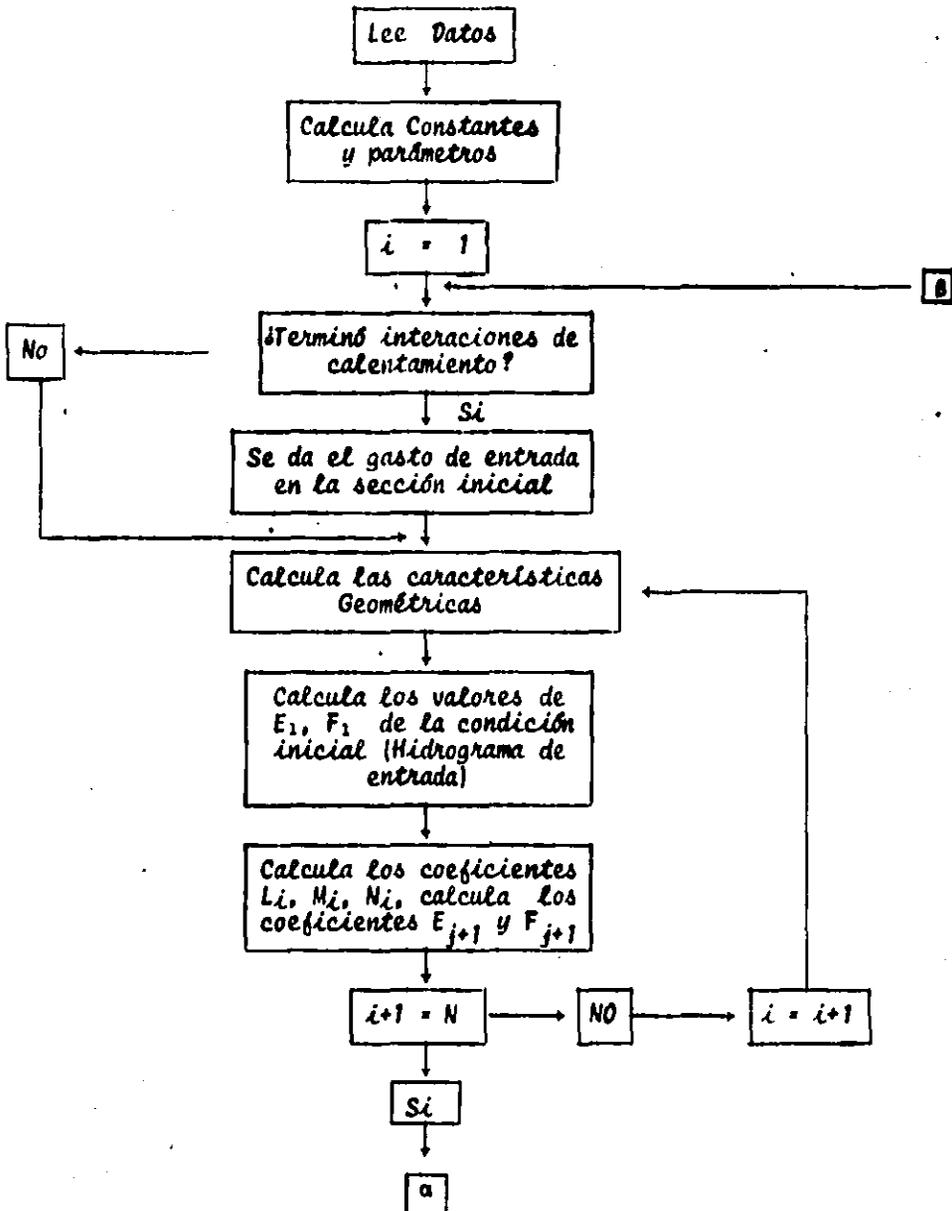
1090 T(I)=CD+CG
1100 W(I)=CC*CD+CF
1110 :
1120 REM IMPRIME RESULTADOS
1130 GA=U(I)*A(I)
1140 PRINT USING"###"II;
1150 PRINT USING"###.###"IV(I),Y(I),GA,U(I)
1160 NEXT I
1170 GA=V(MI)*A(MI)
1180 PRINT USING"###"IM;
1190 PRINT USING"###.###"IV(MI),Y(MI),GA
1200 PRINT
1210 :
1220 REM FORMA EL SISTEMA DE ECUACIONES LINEALES
1230 F(1,2)=B(1)
1240 F(1,3)=P(1)
1250 F(1,4)=(D1*GE(1,J1)+D2*GE(1,J2))/A(1)-R(1)
1260 F(M,1)=T(M2)
1270 F(M,2)=B(M)-S(M2)
1280 F(M,4)=W(M2)-R(M)-P(M)*YF
1290 FOR I=2 TO M2
1300 I2=I-1
1310 F(I,1)=T(I2)
1320 F(I,2)=B(I)-S(I2)
1330 F(I,3)=P(I)
1340 F(I,4)=W(I2)-R(I)
1350 NEXT I
1360 REM RESUELVE EL SISTEMA DE ECUACIONES LINEALES
1370 GOSUB 1530
1380 REM CALCULA VELOCIDADES U & V
1390 FOR I=1 TO M
1400 I1=I+1
1410 U(I)=P(I)*Y(I1)+B(I)*Y(I)+R(I)
1420 V(I1)=S(I)*Y(I1)-T(I)*Y(I)+W(I)
1430 NEXT I
1440 KK=KK+1
1450 GE(1,J)=GE(1,J1)
1460 REM REvisa SI TERMINO EL CALCULO
1470 IF KK<=M2 THEN 710
1480 PRINT#1:CLOSE 1
1490 REM TERMINA
1500 END
1510 REM *** SUBROUTINA PARA RESOLVER EL SISTEMA DE ECUACIONES LINEALES***
1520 REM (METODO DE DOBLE BARRIDO)
1530 N1=M
1540 N2=M2
1550 N3=N2
1560 FOR I=1 TO N3
1570 A9=1/F(N1,2)
1580 FOR K= 1 TO 4
1590 F(N1,K)=F(N1,K)*A9
1600 NEXT K
1610 F(N2,2)=F(N2,2)-F(N1,1)*F(N2,3)
1620 F(N2,4)=F(N2,4)-F(N1,4)*F(N2,3)

```

```
1630 F(N2,3)=0
1640 N1=N2
1650 N2=N1-1
1660 NEXT I
1670 F(N1,4)=F(N1,4)/F(N1,2)
1680 F(N1,2)=1
1690 F(N1,1)=0
1700 N2=N1+1
1710 FOR I=1 TO N3
1720 F(N2,4)=F(N2,4)-F(N1,4)*F(N2,1)
1730 F(N2,1)=0
1740 N1=N2
1750 N2=N1+1
1760 NEXT I
1770 FOR I=1 TO M
1780 Y(I)=F(I,4)
1790 NEXT I
1800 RETURN
1805 REM PROCESO DE INICIO DE IMPRESION Y VISUALIZACION POR LA ALTA VELOCIDAD
1810 OPEN1,4:CMD1
1820 SLOW
1830 GO TO 740
```

PROGRAMA PARA EL TRÁNSITO DE AVENIDAS DE UN CANAL CON TIRANTE
CONSTANTE, ESQUEMA PREISSMANN (SOGREAH)

PROGRAMA 2



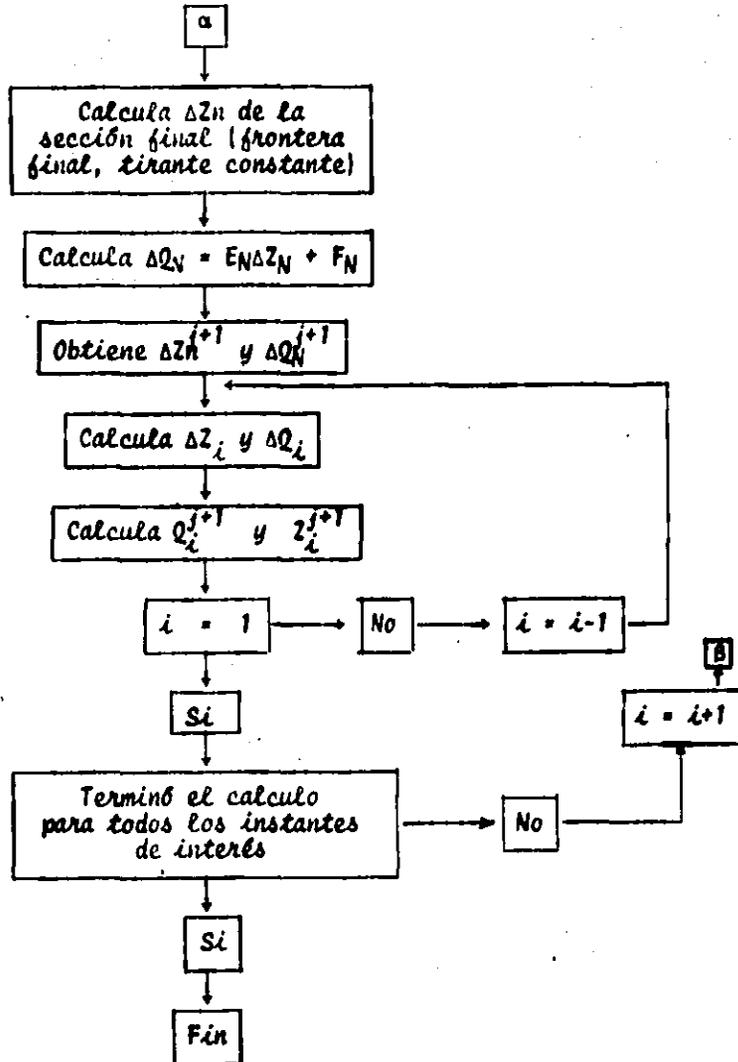


FIG. A3.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DE SOLUCIÓN DEL PROGRAMA 2

```

10 REM *****
20 REM *** ANEXO 3 PROGRAMA DOS ***
30 REM *****
40 :
50 REM *****
60 REM **** ESQUEMA PREISSMAN *****
70 REM *****
80 :
90 REM MAURICIO CARRILLO GARCIA JULIO 1986
100 :
110 REM TRANSITO SUBCRITICO EN UN CANAL TRAPEZIAL
120 :
130 DIM H(15),B(15),C(15),GS(15),H1(15),B1(15),C1(15),D1(15),G1(15),DX(15)
140 DIM H(15),N(15),E(15),F(15),DG(15),DZ(15),Q(15),Z(15),B2(15),K1(15),K(15)
150 DIM A(15),P(15),R(15),Y(15),EL(15),V(15),B(15),L(15),DK(15)
160 :
170 FAST
180 REM **** LEE DATOS ****
190 READ MJ,MF,TH,G,NR,DT,IC
200 DATA 100,10,.9,9.81,.015,30,21
210 FOR I=1 TO MF
220 READ B2(I),K(I),EL(I),DX(I)
230 NEXT I
240 DATA 6,1,.81,100,6,1,.72,100,6,1,.63,100,6,1,.54,100,6,1,.45,100,6,1,.36
250 DATA 100,6,1,.27,100,6,1,.18,100,6,1,.09,100,6,1,0,100
260 READ YF,ZF,BF,KF
270 DATA 1.8,-0.09,6,1
280 M1=MF+1
290 FOR I=1 TO M1
300 Q(I)=10
310 NEXT I
320 FOR I=1 TO M1
330 READ Y(I)
340 NEXT I
350 DATA 1.107,1.159,1.216,1.279,1.345,1.416,1.489,1.564,1.641,1.72,1.8
360 B2(M1)=BF
370 K(M1)=KF
380 FOR I=1 TO M1
390 A(I)=(B2(I)+K(I)*Y(I))*Y(I)
400 V(I)=Q(I)/A(I)
410 NEXT I
420 BX=100
430 SE=10
440 EL(M1)=ZF
450 KH=FR-1
460 KK=0
470 KT=0
480 J=1
490 T1=1/TH
500 P1=TH*DT/DX
510 P2=Q*TH*DT
520 :
530 PRINT
540 REM * * * * IMPRIME DATOS * * * *
550 PRINT " * * * * D A T O S * * * * "
560 PRINT "DX=";DX;"MF=";MF;"TH=";TH

```

```

570 PRINT "G=";G;"NR(MANNING)=";NR;"DT=";DT;"IC=";IC
580 PRINT "I B3(I) K(I) EL(I) DX(I) Y(I) Q(I) "
590 FOR I=1 TO M1
600 PRINT USING"###"II;
610 PRINT USING"###.###"B3(I),K(I),EL(I),DX(I),Y(I),Q(I)
620 NEXT I
630 :
640 PRINT "***** EMPIEZA PROCESO ITERATIVO *****"
650 REM REvisa SI TERMINO EL PROCESO DE CALENTAMIENTO
660 IF KK<IC THEN 740
670 IF KK=IC THEN 1540
680 REM SE DA EL GASTO DE ENTRADA
690 INPUT GE
700 DB=GE-Q(1)
710 KT=(KK-IC)*DT
720 KM=KM+1
730 REM CALCULA LAS CARACTERISTICAS GEOMETRICAS
740 FOR I=1 TO M1
750 B(I)=B3(I)+2*K(I)*Y(I)
760 A(I)=Y(I)*(B3(I)+K(I)*Y(I))
770 P(I)=B3(I)+2*SR(K(I)*K(I)+1)*Y(I)
780 R(I)=A(I)/P(I)
790 K1(I)=(A(I)*R(I)^0.66667)/NR
800 Z(I)=EL(I)+Y(I)
810 NEXT I
820 E(1)=0
830 F(1)=DB
840 PRINT "ITERACION";KK;"TIEMPO";KT;"GASTO E.";GE
850 PRINT "SECC. VEL.V. TIRANTE GASTO"
860 REM CALCULA LOS PARAMETROS
870 FOR J=1 TO MF
880 J1=J+1
890 P5=Q(J1)-Q(J)
900 P6=Z(J1)-Z(J)
910 P8=(Q(J1)/A(J1))^2
920 P9=(Q(J)/A(J))^2
930 S1=Q(J1)/A(J1)
940 S2=Q(J)/A(J)
950 H(J)=1-S1*P1*K(J)*((Q(J1)-Q(J))/(B(J1)+B(J))^2)
960 BB(J)=4*P1*(1/(B(J1)+B(J)))
970 C(J)=-1+S1*P1*K(J)*((Q(J1)-Q(J))/(B(J1)+B(J))^2)
980 D(J)=BB(J)
990 GG(J)=T1*BB(J)*(Q(J)-Q(J1))
1000 U=Q(J)*B(J)
1010 W1=Q(J1)*B(J1)
1020 W2=A(J1)-A(J)
1030 W3=A(J1)+A(J)
1040 DB=2*NR(J1)^(2/3)/(3*NR)
1050 DK(J1)=DB*(5*B(J1)/2-2*NR(J1)*SR(1+K(J1)^2))
1060 DW=DK(J1)*2*A(J1)/K1(J1)
1070 H1=-0.5*(W1/A(J1)+W/A(J))+ (B(J1)-DW)*P2*Q(J1)*ABS(Q(J1))/K1(J1)^2
1080 W4=Q*B(J1)*P6+G*W3

```

```

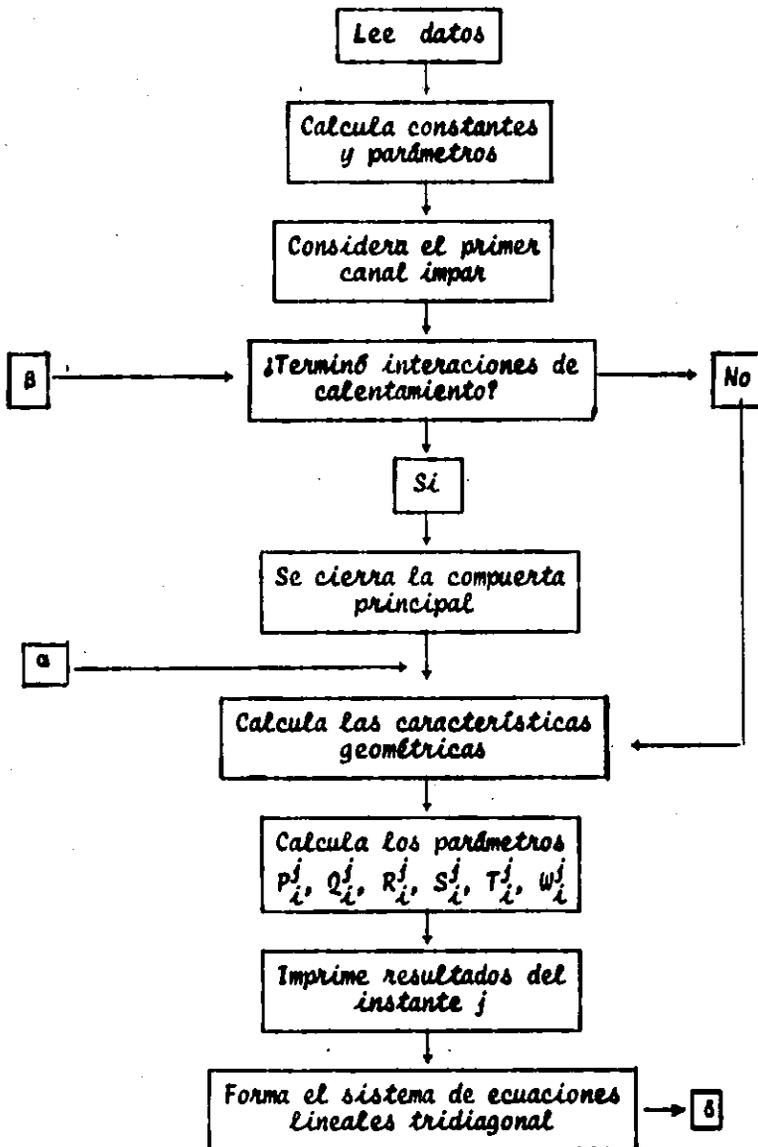
1090 H1(J)=H1+P1*(-P5*W1/A(J1)^2-B(J1))*(P8+P9)+P8*W2*2*B(J1)/A(J1)+W4)
1100 W5=+1+2*P2*A(J1)*ABS(G(J1))/K1(J1)^2
1110 B1(J)=W5+P1*(S1+S2+P5*(1/A(J1)))-W2*2*S1/A(J1)
1120 D4=2*R(J)^(2/3)/(3*NR)
1130 DK(J)=D4*(5*B(J)/2-2*R(J)*SQRT(1+K(J)^2))
1140 WD=DK(J)*2*A(J)/K1(J)
1150 W6=.5*(S1*B(J1)+S2*B(J1))-P2*G(J)*ABS(G(J))*(B(J)-WD)/K1(J)^2
1160 W7=0*B(J)*P4-0*W3
1170 C1(J)=W6-P1*(-S2*B(J)*P5/A(J)+B(J)*(P8+P9)+P9*W2*2*B(J)/A(J)+W7)
1180 D1(J)=-1-P1*(-S1-S2+P5/A(J)-W2*2*S2/A(J))-2*P2*A(J)*ABS(G(J))/K1(J)^2
1190 O1=-0*DT*(G(J)*ABS(G(J))*A(J)/K1(J1)^2+G(J)*ABS(G(J))*A(J)/K1(J)^2)
1200 O1(J)=-P1*71*(P5*(S1+S2)-W2*(P8+P9)+0*P4*W3)+O1
1210 L(J)=H(J)/(C(J)+D(J)*E(J))
1220 M(J)=DB(J)/(C(J)+D(J)*E(J))
1230 N(J)=-((GB(J)+D(J)*F(J))/(C(J)+D(J)*E(J)))
1240 X1=B1(J)*(C(J)+D(J)*E(J))-DB(J)*(C1(J)+D1(J)*E(J))
1250 E(J1)=(H(J)*(C1(J)+D1(J)*E(J))-H1(J)*(C(J)+D(J)*E(J)))/X1
1260 X2=(GB(J)+D(J)*F(J))*(C1(J)+D1(J)*E(J))
1270 F(J1)=((O1(J)+D1(J)*F(J))*(C(J)+D(J)*E(J))-X2)/X1
1280 NEXT J
1290 DZ(M1)=0
1300 DG(M1)=E(M1)*DZ(M1)+F(M1)
1310 Z(M1)=Z(M1)+DZ(M1)
1320 G(M1)=G(M1)+DG(M1)
1330 REM BARRIDO HACIA ARRIBA
1340 FOR J=MF TO 1 STEP -1
1350 J1=J+1
1360 DZ(J)=L(J)*DZ(J1)+M(J)*DG(J1)+N(J)
1370 DG(J)=E(J)*DZ(J)+F(J)
1380 G(J)=G(J)+DG(J)
1390 Z(J)=Z(J)+DZ(J)
1400 Y(J)=Z(J)-EL(J)
1410 NEXT J
1420 Y(M1)=Z(M1)-EL(M1)
1430 REM CALCULA VELOCIDADES E IMPRIME RESULTADOS
1440 PRINT
1450 FOR I=1 TO M1
1460 V(I)=G(I)/A(I)
1470 PRINT USING"###";I;
1480 PRINT USING"###.###" (V(I),Y(I),G(I))
1490 NEXT I
1500 PRINT
1510 KK=KK+1
1520 REM REVISAR SI TERMINO EL CALCULO
1530 IF KK<=M3 THEN 640
1540 REM TERMINA
1550 END
1560 REM SE INICIA LA IMPRESION Y VISUALIZACION POR EL EFECTO DE FAST
1570 OPEN1,4:CMD1
1580 SLOW
1590 GO TO 680

```

PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DEL FLUJO NO ESTABLECIDO EN LA RED DE CANALES DEL
DISTRITO DE RIEGO 085 CELAYA, GUANAJUATO PARA LA CONDICIÓN DE SIMULACIÓN

UNO.

PROGRAMA 3



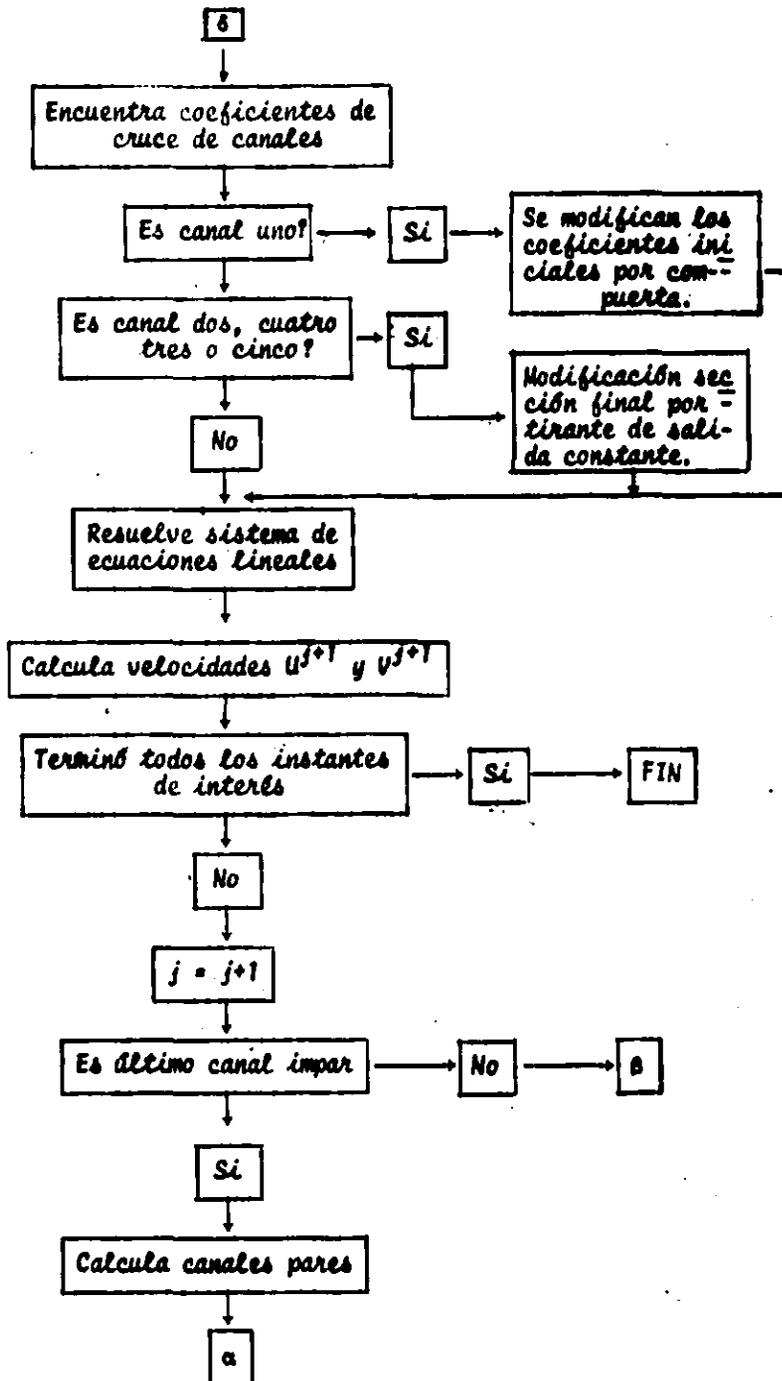


FIG. A3.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DE SOLUCIÓN DEL PROGRAMA TRES.

```

10 REM *****
20 REM *** ANEXO 3 PROGRAMA TRES ***
30 REM *****
40 :
50 REM *****
60 REM ** SIMULACION DE UNA RED DE CANALES **
70 REM *****
80 :
90 REM *****
100 REM *** RED DEL DISTRITO DE RIEGO 085 CON CRUCES SIN COMPUERTAS ***
110 REM *****
120 :
130 REM MAURICIO CARRILLO GARCIA
140 :
150 REM NOVIEMBRE 1984
160 :
170 DIM A(70),B(70),BB(70),Z(70),K(70),U(70),V(70),Y(70),RM(70)
180 DIM P(70),Q(70),R(70),S(70),T(70),W(70),L(70),F(35,4)
190 REM SE LEEN LOS DATOS
200 READ NJ,TH,G,N,RO,DT,IC
210 DATA 100,.9,9.81,0.029,6,30,24
220 FOR J2=1 TO RO
230 READ I1(J2),M(J2)
240 I1 = I1(J2)
250 M = M(J2)
260 FOR I=I1 TO M STEP 2
270 READ Z(I),BB(I),L(I),U(I),Y(I)
280 V(I)=U(I)
290 NEXT I
300 NEXT J2
310 DATA 1,45
320 DATA 3.976,2.40,400,.54,1.68,3.856,2.4,400,.54,1.68,3.736,2.40,400,.54,1.68
330 DATA 3.614,2.4,400,.54,1.68,3.494,2.40,390,.54,1.68,3.379,2.4,400,.54,1.68
340 DATA 3.259,1.8,400,.53,1.65,3.139,1.8,400,.53,1.65,3.019,1.8,400,.53,1.65
350 DATA 2.899,1.8,495,.53,1.65,2.75,1.8,230,.53,1.65,2.697,1.4,230,.46,1.74
360 DATA 2.644,1.4,400,.46,1.74,2.55,1.4,400,.46,1.74,2.46,1.4,400,.46,1.74
370 DATA 2.37,1.4,198,.46,1.74,2.32,1.4,400,.46,1.74,2.224,.85,432,.39,2.05
380 DATA 2.120,.85,273,.39,2.05,2.054,.85,272,.39,2.05,1.989,.85,388,.39,2.05
390 DATA 1.894,.85,50,.39,2.05,1.884,.85,0,.39,2.05
400 DATA 2,6
410 DATA 3.379,.8,350,.39,.9,3.134,.5,350,.39,.9,2.889,.5,0,.39,.9
420 DATA 47,53
430 DATA 1.705,.5,400,.38,.67,1.385,.5,400,.38,.67,1.045,.5,500,.38,.67
440 DATA .445,.5,0,.38,.67
450 DATA 9,14
460 DATA 2.644,.55,240,.36,.76,2.5,.55,330,.36,.76,2.302,.55,330,.36,.76
470 DATA 2.104,.55,0,.36,.76
480 DATA 55,61
490 DATA .445,.45,450,.41,.9,.130,.45,450,.41,.9,-.185,.45,560,.41,.9
500 DATA -.577,.45,0,.41,.9
510 DATA 14,32
520 DATA 2.32,.9,400,.53,1.32,2.120,.9,400,.53,1.32,1.920,.9,430,.53,1.32
530 DATA 1.705,.9,400,.53,1.32,1.425,.8,400,.52,1.20,1.145,.8,400,.52,1.2
540 DATA .865,.8,420,.52,1.2,.445,.5,445,.5,.9,0,.5,0,.5,.9

```



```

1100 REM SE DA LEY DE APERTURA DE LA COMPUERTA PRINCIPAL
1110 GOSUB 3030
1120 PRINT
1130 PRINT"ITERACION "IKK;"TIEMPO"IKT
1140 REM *** CALCULA CANALES IMPARES
1150 FOR J2=1 TO 5 STEP 2
1160 GOSUB 1340
1170 NEXT J2
1180 KK=KK+1
1190 IF KK<IC THEN 1210
1200 KT=(KK-IC)*DT
1210 PRINT
1220 PRINT "ITERACION"IKK;"TIEMPO"IKT
1230 REM *** CALCULA CANALES PARES
1240 FOR J2=2 TO 6 STEP 2
1250 GOSUB 1340
1260 NEXT J2
1270 KK=KK+1
1280 REM *** REvisa SI TERMINO EL CALCULO
1290 IF KK<=MJ THEN 1070
1300 REM ** TERMINA **
1310 PRINT#1:CLOSE1
1320 END
1330 REM +++ SUBROUTINA DONDE SE CALCULAN LOS CANALES+++
1340 I1 = I1(J2)
1350 M = M (J2)
1360 M1 = M - 2
1370 M2 = M - 4
1380 V(I1)=U(I1)
1390 REM ***CALCULA CARACTERISTICAS GEOMETRICAS***
1400 FOR I =I1 TO M STEP 2
1410 B(I) = BB(I) +2*K(I)*Y(I)
1420 A(I) = Y(I) *(BB(I) + K(I)* Y(I))
1430 PM = BB(I) + 2* SQR (K(I) * K(I)+1)*Y(I)
1440 RM(I) = A(I) / PM
1450 NEXT I
1460 FOR I = I1 TO M1 STEP 2
1470 I2 = I+2
1480 B(I) =(B(I) + B(I2))* L(I) * C3
1490 RM(I) =(2/(RM(I)+RM(I2)))^1.33333
1500 NEXT I
1510 REM ***CALCULA PARAMETROS DE LAS VELOCIDADES U & V ***
1520 FOR I = I1 TO M1 STEP 2
1530 I2 =I + 2
1540 C3 = L(I) * C5
1550 CA = - C3 - C4 * (V(I2)-U(I))- C6 * L(I)*ABS (U(I)+ V(I2))* RM(I)
1560 CC =C1 * (Z(I2) - Z(I)) + C2* (Y(I2)-Y(I))-C3 * (U(I) + V(I2))
1570 CE = 1/(CA * (A(I) + A(I2)))
1580 CD = A(I) * DE
1590 CI = A(I2) * DE
1600 CO = B(I) / (A(I) + A(I2))
1610 CH = Y(I2) + Y(I)
1620 CF = CO * CH

```

```

1430 P(I) = CI + CG
1440 Q(I) = -CI + CG
1450 R(I) = CC * CI - CF
1460 S(I) = CD - CG
1470 T(I) = CD + CG
1480 W(I) = CC * CD + CF
1490 NEXT I
1700 REM *** IMPRIME RESULTADOS ***
1710 PRINT "CANAL " ; J2
1720 PRINT "SEC. VEL. V TIRAN.Y GASTO VELO.U " : PRINT
1730 FOR I = I1 TO M1 STEP 2
1740 GA = U(I) * A(I)
1750 PRINT USING "###" ; I ; I
1760 PRINT USING "###.###" ; V(I), Y(I), GA, U(I)
1770 NEXT I
1780 GA = V(M) * A(M)
1790 PRINT USING "###" ; M ; I
1800 PRINT USING "###.###" ; V(M), Y(M), GA : PRINT
1810 IF J2 <> 1 THEN 1860
1820 IF IP = 2 THEN 1850
1830 PRINT "COMPUERTA LIBRE GASTO " ; ZU ; " ABERTURA " ; IA1
1840 GO TO 1860
1850 PRINT "COMPUERTA AHOGADA GASTO=" ; ZU ; " ABERTURA" ; IA1
1860 REM *** FORMA SISTEMA DE ECUACIONES LINEALES ***
1870 IF J2 = 1 THEN MN = 23
1880 IF J2 = 2 THEN MN = 3
1890 IF J2 = 3 OR J2 = 4 THEN MN = 4
1900 IF J2 = 5 THEN MN = 4
1910 IF J2 = 6 THEN MN = 9
1920 J = 1
1930 F(1,2) = Q(I1)
1940 F(1,3) = P(I1)
1950 F(MN,1) = T(M1)
1960 F(MN,2) = -S(M1)
1970 FOR I = I1 + 2 TO M1 STEP 2
1980 J = J + 1
1990 I2 = I - 2
2000 F(J,1) = T(I2)
2010 F(J,2) = Q(I) - S(I2)
2020 F(J,3) = P(I)
2030 F(J,4) = W(I2) - R(I)
2040 NEXT I
2050 IF J2 <> 1 THEN 2130
2060 REM RUTINA PARA ENCONTRAR LOS COEFICIENTES DE LA COMPUERTA INICIAL
2070 GOSUB 2740
2080 REM *** ENCUENTRA LOS COEFICIENTES DEL SISTEMA DE ECUACIONES
2090 REM LINEALES CORRESPONDIENTES A CRUCES DE CANALES Y SECCION FINAL
2100 REM CANAL UNO
2110 GOSUB 2890
2120 GO TO 2310
2130 IF J2 = 2 THEN 2200
2140 IF J2 = 3 THEN 2230
2150 IF J2 = 4 THEN 2260
2160 IF J2 = 5 THEN 2290
2170 REM DEFINE LOS COEFICIENTES DEL CANAL 6 Y CON TIRANTE FINAL CONSTANTE

```

```

2180 GOSUB 3180
2190 GO TO 2310
2200 REM DEFINE LOS COEFICIENTES DEL CANAL DOS CON TIRANTE FINAL CONSTANTE
2210 GOSUB 3310
2220 GO TO 2310
2230 REM CALCULA LOS COEFICIENTES DEL CANAL TRES CON TIRANTE FINAL CONSTANTE
2240 GOSUB 3400
2250 GO TO 2310
2260 REM CALCULA LOS COEFICIENTES DEL CANAL CUATRO CON TIRANTE FINAL CONSTANTE
2270 GOSUB 3480
2280 GO TO 2310
2290 REM CALCULA LOS COEFICIENTES DEL CANAL CINCO CON TIRANTE FINAL CONSTANTE
2300 GOSUB 3570
2310 GOSUB 2410
2320 REM *** CALCULA VELOCIDADES U Y V
2330 FOR I = I1 TO M1 STEP 2
2340 I1 = I + 2
2350 U(I) = P(I) * Y(I1) + Q(I) * Y(I) + R(I)
2360 V(I1) = S(I) * Y(I1) - T(I) * Y(I) + W(I)
2370 NEXT I
2380 RETURN
2390 REM *** SUBROUTINA PARA RESOLVER EL SISTEMA DE ECUACIONES LINEALES
2400 REM (METODO DE DOBLE BARRIDO)
2410 N1 = MN
2420 N2 = N1 - 1
2430 N3 = N2
2440 FOR I = 1 TO N3
2450 A9 = 1 / F(N1,2)
2460 FOR K = 1 TO 4
2470 F(N1,K) = F(N1,K) * A9
2480 NEXT K
2490 F(N2,2) = F(N2,2) - F(N1,1) * F(N2,3)
2500 F(N2,4) = F(N2,4) - F(N1,4) * F(N2,3)
2510 F(N2,3) = 0
2520 N1 = N2
2530 N2 = N1 - 1
2540 NEXT I
2550 F(N1,4) = F(N1,4) / F(N1,2)
2560 F(N1,2) = 1
2570 F(N1,1) = 0
2580 N2 = N1 + 1
2590 FOR I = 1 TO N3
2600 F(N2,4) = F(N2,4) - F(N1,4) * F(N2,1)
2610 F(N2,1) = 0
2620 N1 = N2
2630 N2 = N1 + 1
2640 NEXT I
2650 J = 0
2660 FOR I = I1 TO M1 STEP 2
2670 J = J + 1
2680 Y(I) = F(J,4)
2690 NEXT I
2700 RETURN

```

```

2710 REM *** SUBROUTINA DONDE SE DEFINEN LOS COEFICIENTES DEL SISTEMA
2720 REM DE ECUACIONES CORRESPONDIENTE A LA COMPUERTA INICIAL
2730 REM TIRANTE CONSTANTE AGUAS ARRIBA
2740 YH=1.019*(YO/A1)^-.369
2750 CW=.53*(YO/A1)^.046
2760 YY=Y(1)/YO
2770 IF YY<=YM THEN 2820
2780 PE=(CW-.1)/(YM-1)
2790 RO=-PE+.1
2800 CD(1)=PE*YY+RO :IP=2
2810 GO TO 2850
2820 PE=-.1259
2830 RO=.6452
2840 CD(1)=CW :IP=1
2850 F(1,2)=F(1,2)-(CB*A1*PE)/(A(1)*2*YO)
2860 F(1,4)=-R(1)+(CB*A1*RO)/(A(1)*2)+ZU/(2*A(1))
2870 ZU=CD(1)*A1*CB
2880 RETURN
2890 A(2)=(BB(2)+K(2)*Y(2))*Y(2)
2900 A(8)=(BB(8)+K(8)*Y(8))*Y(8)
2910 A(16)=(BB(16)+K(16)*Y(16))*Y(16)
2920 F(6,4)=W(9)-R(11)-(A(2)*U(2))/A(11)
2930 F(6,4)=W(9)-R(11)-(A(2)*U(2))/A(11)
2940 F(13,4)=W(23)-R(25)-A(8)*U(8)/A(25)
2950 F(17,4)=W(31)-R(33)-A(16)*U(16)/A(33)
2960 REM COEFICIENTE POR LA DESCARGA CONSTANTE
2970 F(23,1)=0
2980 F(23,2)=1
2990 F(23,4)=Y4
3000 RETURN
3010 REM ** SUBROUTINA DONDE SE DEFINEN LA LEY DE APERTURA DE COMPUERTA INICIAL
3020 REM CANAL UNO
3030 IF KK>IC THEN 3060
3040 A1=.40
3050 GO TO 3140
3060 IF KK>IC+20 THEN 3090
3070 A1=0.40-(KK-IC)*0.0125
3080 GO TO 3140
3090 IF KK>IC+30 THEN 3120
3100 A1=0.150
3110 GO TO 3140
3120 IF KK>IC+50 THEN 3150
3130 A2=0.15+(KK-IC-30)*0.0125
3140 GO TO 3140
3150 A1=.40
3160 RETURN
3170 REM SUBROUTINA DONDE DEFINE LOS COEFICIENTES DEL CRUCE EN CANALES DEL CANAL
3180
3190 A(22)=(BB(47)+K(47)*Y(47))*Y(47)
3190 A(55)=(BB(55)+K(55)*Y(55))*Y(55)
3200 F(4,4)=W(20)-R(22)-A(47)*U(47)/A(22)
3210 F(8,4)=W(28)-R(30)-A(55)*U(55)/A(30)
3220 F(1,2)=1
3230 F(1,3)=0
3240 F(1,4)=Y(33)
3250 REM SECCION FINAL

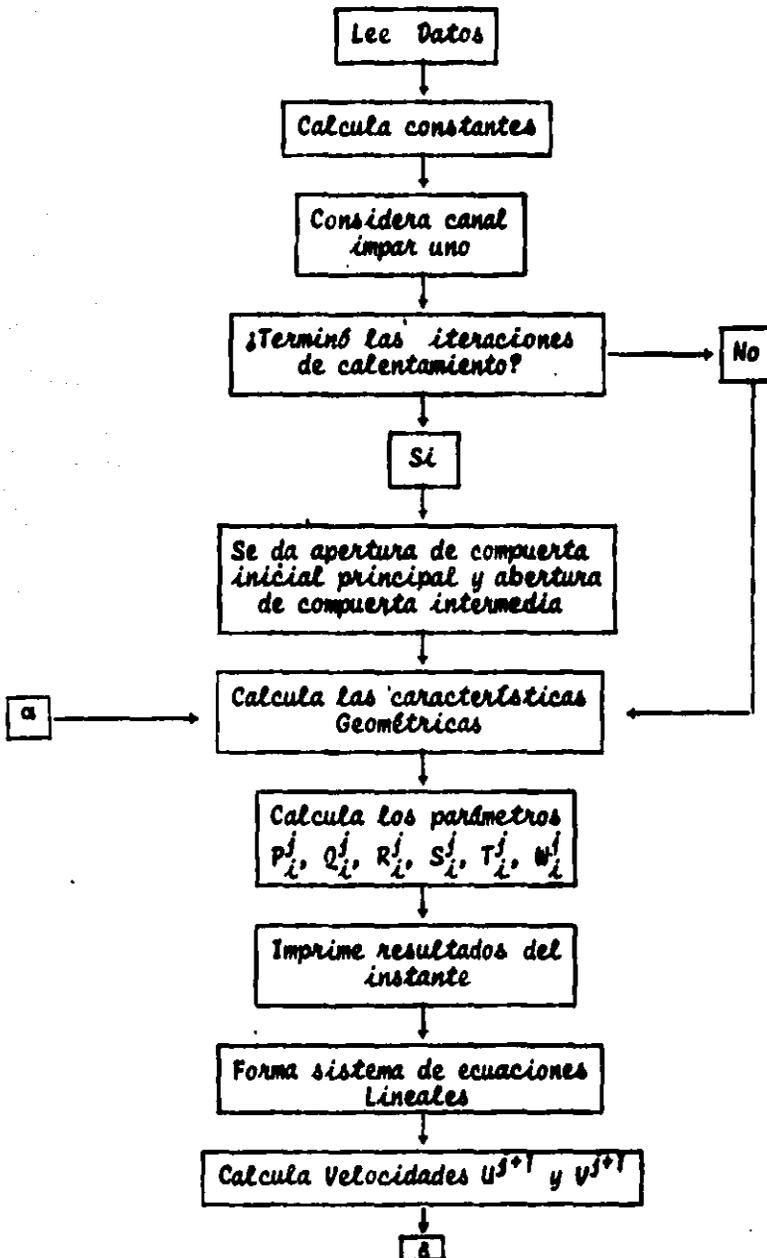
```

```

3260 F(9,1)=0
3270 F(9,2)=1
3280 F(9,4)= Y3
3290 RETURN
3300 REM SUBROUTINA DONDE SE DEFINEN LOS COEFICIENTES DEL CANAL DOS
3310 F(1,2)=1
3320 F(1,3)=0
3330 F(1,4)=Y(11)
3340 REM SECCION FINAL
3350 F(3,1)=0
3360 F(3,2)=1
3370 F(3,4)=Y1
3380 RETURN
3390 REM SUBROUTINA PARA OBTENER COEFICIENTES DEL CANAL TRES
3400 F(1,2)=1
3410 F(1,3)=0
3420 F(1,4)=Y(22)
3430 F(4,1)=0
3440 F(4,2)=1
3450 F(4,4)=Y5
3460 RETURN
3470 REM SUBROUTINA DONDE SE DEFINEN LOS COEFICIENTES DEL CANAL CUATRO
3480 F(1,2)=1
3490 F(1,3)=0
3500 F(1,4)=Y(25)
3510 REM TIRANTE FINAL CONSTANTE
3520 F(4,1)=0
3530 F(4,2)=1
3540 F(4,4)=Y2
3550 RETURN
3560 REM SUBROUTINA DONDE SE DEFINEN LOS COEFICIENTES DEL CANAL CINCO
3570 F(1,2)=1
3580 F(1,3)=0
3590 F(1,4)=Y(30)
3600 REM TIRANTE FINAL
3610 F(4,1)=0
3620 F(4,2)=1
3630 F(4,4)=Y4
3640 RETURN
3650 REM SE INICIA LA IMPRESION Y VISUALIZACION POR EL EFECTO DE FAST
3660 OPEN1,4:CMD1
3670 SLOW
3680 GO TO 1090

```

PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DEL FLUJO NO ESTABLECIDO EN LA RED DE CANALES DEL
DISTRITO DE RIEGO 085 CELAYA, GUANAJUATO PARA CONDICIÓN DE SIMULACIÓN DOS.
PROGRAMA 4



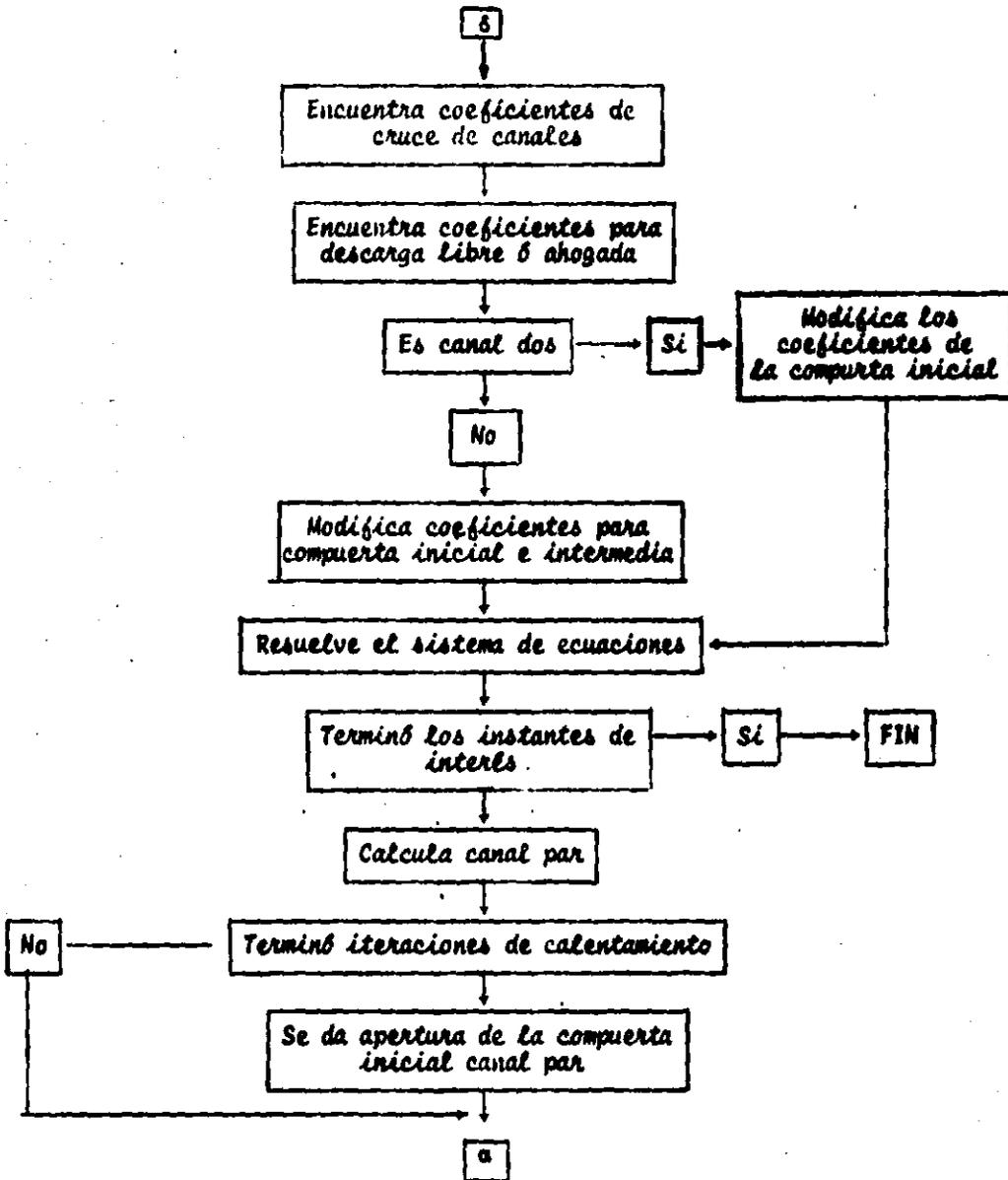


FIG. A3.4 DIAGRAMA DE BLOQUES DE SOLUCIÓN DEL PROGRAMA CUATRO


```

550 DATA .4,.4,.4,.4,.4,.4,1
560 DATA .4,.4,.4
570 DATA .3,.3,.3
580 :
590 REM *** CALCULA CONSTANTES Y DEFINE PARAMENTROS***
600 C1=1/TH
610 C2=(1-TH)/TH
620 C3=1/(4*DT)
630 C4=1/(2*TH*Q)
640 C5=1/(2*TH*Q*DT)
650 C6=NNN/(4*TH)
660 D1=TH
670 D2=(1-TH)
680 KK=0
690 KT=0
700 REM ***** IMPRIME DATOS**
710 PRINT " *** DATOS***"
720 PRINT "MJ= " ; MJ, "TH= " ; TH, "Q= " ; Q, "N= " ; N, "IC= " ; IC
730 PRINT "RB= " ; RB, "DT= " ; DT, "
740 PRINT
750 PRINT
760 FOR J2=1 TO RB
770 I1=I1(J2)
780 M=M(J2)
790 IF J2(>3) THEN G10
800 EE=5 :GO TO 840
810 IF J2(>4) THEN G30
820 EE=6 :GO TO 840
830 EE=J2
840 PRINT "CANAL " ; EE ; "SECCION INICIAL " ; I1 ; "SECCION FINAL " ; M
850 PRINT
860 PRINT " I      BB(I)  K(I)    Z(I)    V(I)    Y(I)    U(I) "
870 FOR I=I1 TO M STEP 2
880 PRINT USING "###" ; I ;
890 PRINT USING "###.###" ; BB(I), K(I), Z(I), V(I), Y(I), U(I)
900 NEXT I
910 PRINT ; PRINT
920 NEXT J2
930 PRINT
940 PRINT "*****"
950 :
960 REM *** EMPIEZA PROCESO ITERATIVO***
970 REM ** REvisa SI TERMINO EL CALCULO DE CALENTAMIENTO
980 IF KK<IC THEN 1050
990 IF :KK=IC OR KK=IC+1 THEN 3890
1000 KT= (KK-IC)*DT
1010 REM SE DA LEY DE APERTURA DE LA COMPUERTA PRINCIPAL
1020 GOSUB 3050
1030 REM SE DA LA ABERTURA DELA COMPUERTA INTERMEDIA
1040 GOSUB 3420
1050 PRINT
1060 PRINT "ITERACION " ; KK ; "TIEMPO " ; KT
1070 REM *** CALCULA CANALES IMPARES
1080 FOR J2=1 TO 1 STEP 2
1090 GOSUB 1290

```

```

1100 NEXT J2
1110 KK=KK+1
1120 IF KK<IC THEN 1160
1130 KT=(KK-IC)*DT
1140 REM SE DA LA ABERTURA DE LA COMPUERTA INICIAL DOS
1150 GOSUB 3510
1160 PRINT
1170 PRINT "ITERACION" ; KK "TIEMPO" ; KT
1180 REM *** CALCULA CANALES PARES
1190 FOR J2=2 TO 2 STEP 2
1200 GOSUB 1290
1210 NEXT J2
1220 KK=KK+1
1230 REM *** REvisa SI TERMINO EL CALCULO
1240 IF KK=>MJ THEN 900
1250 REM ** TERMINA **
1260 PRINT#1:CLOSE1
1270 END
1280 REM *** SUBROUTINA DONDE SE CALCULAN LOS CANALES***
1290 I1 = I1(J2)
1300 M = M(J2)
1310 M1 = M - 2
1320 M2 = M - 4
1330 V(I1)=U(I1)
1340 REM ***CALCULA CARACTERISTICAS GEOMETRICAS***
1350 FOR I = I1 TO M, STEP 2
1360 B(I) = DB(I) + 2*K(I)*Y(I)
1370 A(I) = Y(I) * (DB(I) + K(I)*Y(I))
1380 PH = DB(I) + 2* SQR (K(I) * K(I)+1)*Y(I)
1390 RH(I) = A(I) / PH
1400 NEXT I
1410 FOR I = I1 TO M1 STEP 2
1420 I2 = I+2
1430 B(I) = (B(I) + B(I2))* L(I) * C3
1440 RH(I) = (2/(RH(I)+RH(I2)))^1.33333
1450 NEXT I
1460 REM ***CALCULA PARAMETROS DE LAS VELOCIDADES U & V ***
1470 FOR I = I1 TO M1 STEP 2
1480 I2 = I + 2
1490 C3 = L(I) * C5
1500 CA = - C3 - C4 * (V(I2)-U(I)) - C6 * L(I)*ABS (U(I)+ V(I2))* RH(I)
1510 CC = C1 * (Z(I2) - Z(I)) + C2* (Y(I2)-Y(I))-C3 * (U(I) + V(I2))
1520 CE = 1/(CA * (A(I) + A(I2)))
1530 CD = A(I) * CE
1540 CI = A(I2) * CE
1550 CG = B(I) / (A(I) + A(I2))
1560 CH = Y(I2) + Y(I)
1570 CF = CG * CH
1580 P(I) = CI + CG
1590 B(I) = -CI + CG
1600 R(I) = CC * CI - CF
1610 S(I) = CD - CG
1620 T(I) = CD + CG
1630 U(I) = CC * CG + CF

```

```

1440 NEXT I
1450 REM *** IMPRIME RESULTADOS ***
1460 IF J2<>3 THEN 1680
1470 EE=5: GO TO 1710
1480 IF J2<>4 THEN 1700
1490 EE=6 : GO TO 1710
1700 EE=J2
1710 PRINT "CANAL "IEE
1720 PRINT "SEC. VEL. V TIRAN.Y GASTO VELO.U " :PRINT
1730 FOR I = I1 TO M1 STEP 2
1740 GA = U(I) * A(I)
1750 PRINT USING "###"II;
1760 PRINT USING "###.####"V(I),Y(I),GA,U(I)
1770 NEXT I
1780 GA = V(M) * A(M)
1790 PRINT USING "###"MI;
1800 PRINT USING "###.####"V(M),Y(M),GA:PRINT
1810 IF J2<>1 THEN 1840
1820 IF IP(3)=1 THEN 1900
1830 IF IP(3)=2 THEN 1920
1840 IF IP(1)=3 THEN 1940
1850 IF IP(1)=4 THEN 1980
1860 REM CANAL DOS
1870 IF IP(2)=4 THEN 1960
1880 IF IP(2)=7 THEN 2000
1890 GO TO 2010
1900 PRINT "COMPUERTA INTERMEDIA LIBRE"ABERTURA"IA2;"GASTO"IZU(3)
1910 GO TO 1840
1920 PRINT"COMPUERTA INTERMEDIA AHOGADA"ABERTURA"IA2;"GASTO"IZU(3)
1930 GO TO 1840
1940 PRINT"COMPUERTA PRINCIPAL INICIAL AHOGADA"ABERTURA"IAA;"GASTO"IZU(1)
1950 GO TO 2010
1960 PRINT"COMPUERTA INICIAL CANAL DOS AHOGADA"ABERTURA"IA0;"GASTO"IZU(2)
1970 GO TO 2010
1980 PRINT"COMPUERTA PRINCIPAL INICIAL LIBRE"ABERTURA"IAA;"GASTO"IZU(1)
1990 GO TO 2010
2000 PRINT"COMPUERTA INICIAL CANAL DOS LIBRE"ABERTURA"IA0;"GASTO"IZU(2)
2010 IF IA=2 THEN 2040
2020 PRINT "DESACARGA AL ALMACENAMIENTO LIBRE"
2030 GO TO 2080
2040 PRINT"DESCARGA AL ALMACENAMIENTO AHOGADA"
2050 REM *** FORMA SISTEMA DE ECUACIONES LINEALES ***
2060 IF J2=1 THEN MN=27
2070 IF J2=2 THEN MN=3
2080 J = 1
2090 F(1,2) = Q(I1)
2100 F(1,3) = P(I1)
2110 F(MN,1) = T(M1)
2120 F(MN,2) = - S(M1)
2130 FOR I = I1 +2 TO M1 STEP 2
2140 J = J + 1
2150 I2 = I - 2
2160 F(J,1) = T (I2)
2170 F(J,2) = Q(I) - S(I2)

```

```

2180 F(J,3) = P(I)
2190 F(J,4) = W(I2) - R(I)
2200 NEXT I
2210 IF J2(>) THEN 2350
2220 REM MODIFICACION DE COEFICIENTES CANAL UNO
2230 REM SE DEFINEN LOS COEFICIENTES DE LA COMPUERTA INICIAL
2240 A1=AA:YO=1.55:L=1
2250 GOSUB 2840
2260 REM ENCUENTRA COEFICIENTES COMPUERTA INTERMEDIA
2270 L=3
2280 GOSUB 3140
2290 REM DEFINE LOS GASTOS DE DERIVACION EN LA SECCION 45 Y 49
2300 GOSUB 3000
2310 REM CALCULA COEFICIENTES SECCION FINAL
2320 SM=27:NN=53:YF=0.4
2330 GOSUB 3600
2340 GO TO 2420
2350 REM CALCULA LOS COEFICIENTES DEL CANAL DOS COMPUERTA INICIAL DOS
2360 L=2 : A1=AG :YO=Y(I1)
2370 GOSUB 2840
2380 REM SE DEFINEN LOS COEFICIENTES PARA DESCARGA LIBRE O AHOGADA
2390 SM=3:NN=6: YF=.1
2400 GOSUB 3600
2410 GO TO 2420
2420 GOSUB 2520
2430 REM *** CALCULA VELOCIDADES U Y V
2440 FOR I = I1 TO M1 STEP 2
2450 I1 = I + 2
2460 U(I) = P(I) * Y(I1) + Q(I) * Y(I) + R(I)
2470 V(I1) = S(I) * Y(I1) - T(I) * Y(I) + W(I)
2480 NEXT I
2490 RETURN
2500 REM *** SUBROUTINA PARA RESOLVER EL SISTEMA DE ECUACIONES LINEALES
2510 REM (METODO DE DOBLE BARRIDO)
2520 N1 = MN
2530 N2 = N1 - 1
2540 N3 = N2
2550 FOR I = 1 TO N3
2560 A9 = 1 / F(N1,2)
2570 FOR K = 1 TO 4
2580 F(N1,K) = F(N1,K) * A9
2590 NEXT K
2600 F(N2,2) = F(N2,2) - F(N1,1) * F(N2,3)
2610 F(N2,4) = F(N2,4) - F(N1,4) * F(N2,3)
2620 F(N2,3)=0
2630 N1 = N2
2640 N2 = N1 - 1
2650 NEXT I
2660 F(N1,4) = F(N1,4) / F(N1,2)
2670 F(N1,2) = 1
2680 F(N1,1) = 0
2690 N2 = N1 + 1
2700 FOR I = 1 TO N3
2710 F(N2,4) = F(N2,4) - F(N1,4) * F(N2,1)

```

```

2720 F(N2,1) = 0
2730 N1 = N2
2740 N2 = N1 + 1
2750 NEXT I
2760 J = 0
2770 FOR I = I1 TO M STEP 2
2780 J = J + 1
2790 Y(I) = F(J,4)
2800 NEXT I
2810 RETURN
2820 REM *** SUBROUTINA DONDE SE DEFINEN LOS COEFICIENTES DEL SISTEMA
2830 REM DE ECUACIONES CORRESPONDIENTE A COMPUERTA INICIAL
2840 YM=1.019*(YO/A1)^-.369
2850 CW=.53*(YO/A1)^.046
2860 YY=Y(L)/YO
2870 IF YY<=YM THEN 2920
2880 PE=(CW-.1)/(YM-1)
2890 RO=-PE+.1
2900 CD(L)=PE*YY+RO : IP(L)=2+L
2910 GO TO 2950
2920 PE=-.1259
2930 RO=.6452
2940 CD(L)=CW : IP(L)=5+L
2950 CG=BB(L)*SSR(2*YO)
2960 F(1,2)=F(1,2)-(CG*A1*PE)/(A(L)*2*YO)
2970 F(1,4)=-R(L)+(CG*A1*RO)/(A(L)*2)+ZU(L)/(2*A(L))
2980 ZU(L)=CD(L)*A1*CG
2990 RETURN
3000 REM SUBROUTINA DONDE SE MODIFICAN LOS COEFICIENTES POR EL GASTO DERIVADO
3010 IF KK<IC+10 THEN 3040
3020 F(21,4)=F(21,4)+0.06/A(41)
3030 F(22,4)=F(22,4)+0.025/A(43)
3040 RETURN
3050 REM RUTINA DONDE SE DA LA APERTURA DE LA COMPUERTA PRINCIPAL
3060 IF KK>IC THEN 3090
3070 AA=.10
3080 GO TO 3130
3090 IF KK>IC+20 THEN 3120
3100 AA=.10+(KK-IC)*.0012
3110 GO TO 3130
3120 AA=.12
3130 RETURN
3140 REM SUBROUTINA DONDE SE MODIFICAN LOS COEFICIENTES POR EL CRUCE CON EL CANAL
DOS
3150 IF Y(11)/A2>=1.2 THEN 3180
3160 IF Y(11)/A2 >1 THEN CD(L)=.45: GO TO 3290
3170 ZU(L)=U(11)*A(11):JC=CD(L):GO TO 3380
3180 YM=1.019*(Y(11)/A2)^-.369
3190 CW=.53*(Y(11)/A2)^.046
3200 YY=Y(13)/Y(11)
3210 IF YY<YM THEN 3260
3220 PE=(CW-.1)/(YM-1)
3230 RO=-PE+.1
3240 CD(L)=PE*YY+RO : IP(L)=2
3250 GO TO 3290
3260 PE=-.1259

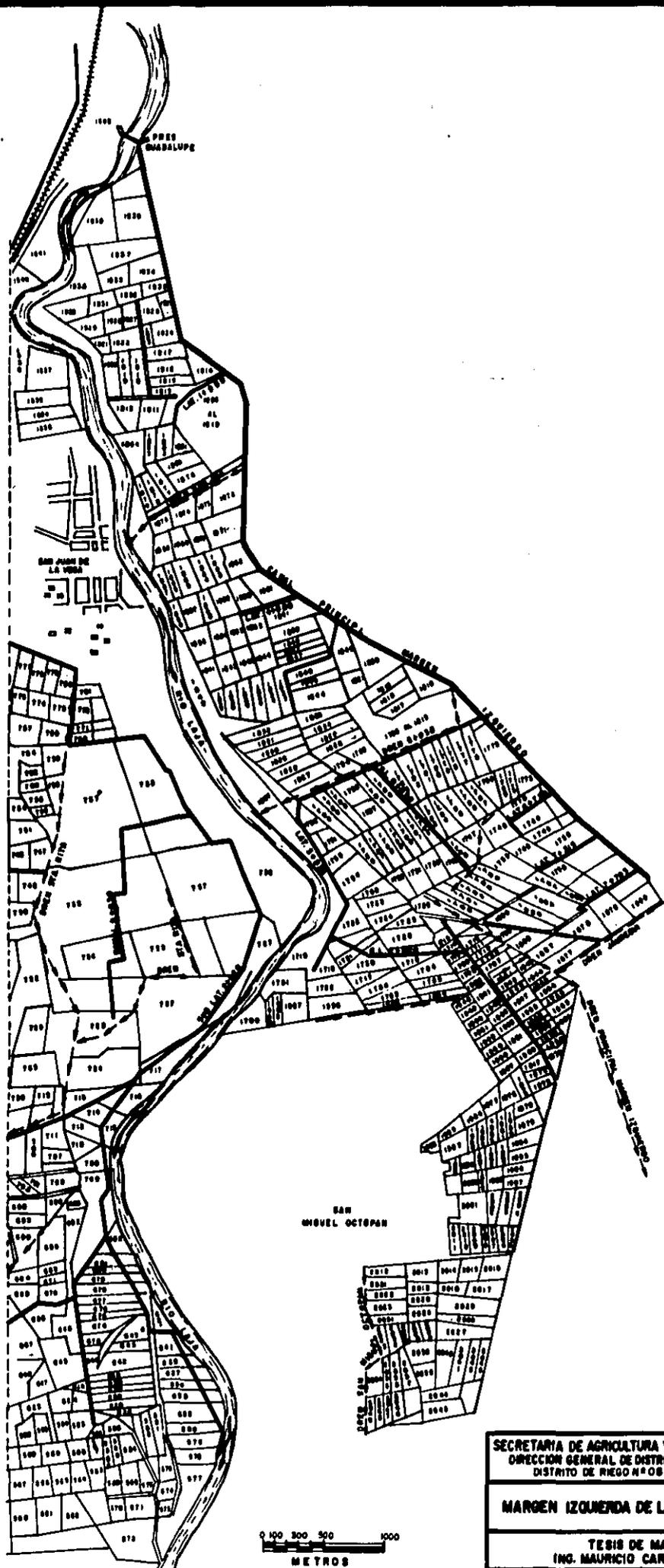
```

```

3270 RO=.6452
3280 CD(L)=CM:IP(L)=1
3290 RE=ZU(L)/2
3300 MM=RE*(A2/AJ+RO/JC-.5)
3310 F(6,2)=RE/(4*A(11))-S(9)
3320 F(6,3)=RE*PE/(A(11)*JC*Y(11))
3330 F(6,4)=W(9)-MM/A(11)-ZU(2)/A(11)
3340 F(7,1)=RE/(2*A(11)*Y(11))
3350 F(7,2)=RE*PE/(A(11)*JC*Y(11))-Q(13)
3360 F(7,3)=-P(13)
3370 F(7,4)=R(13)-MM/A(11)
3380 ZU(L)=CD(L)*BB(11)*A2*SQR(2*Q*Y(11))
3390 IF CD(L)=0 THEN CD(L)=0.1
3400 JC=CD(L)
3410 RETURN
3420 REM RUTINA DONDE SE DA LA APERTURA DE LA COMPUERTA INTERMEDIA
3430 IF KK>IC+20 THEN 3460
3440 A2=.11
3450 GO TO 3500
3460 IF KK>IC+40 THEN 3580
3470 A2=.11+(KK-IC-20)*.001
3480 GO TO 3500
3490 A2=.13
3500 RETURN
3510 REM RUTINA DONDE SE DEFINE LA APERTURA DE LA COMPUERTA INICIAL DEL CANAL DOS
3520 IF KK>IC+20 THEN 3550
3530 AG=.0005
3540 GO TO 3590
3550 IF KK>IC+40 THEN 3580
3560 AG=.0005+(KK-IC-20)*.003225
3570 GO TO 3590
3580 AG=.065
3590 RETURN
3600 REM SUBRUTINA DONDE SE DEFINEN LOS COEFICIENTES DE DESCARGA LIBRE O AHOGA
DA A UN ALMACENAMIENTO
3610 KB=KY*8
3620 VE=88R(YF*KB)
3630 EB=2*KY/(KY-1)
3640 EA=YF*(KY-1)/(VE^EB)
3650 IF KK>=IC THEN 3700
3660 F(SH,1)=0
3670 F(SH,2)=1
3680 F(SH,4)=YF
3690 GO TO 3740
3700 PH=A(NN)/B(NN)
3710 IF V(NN)>VE THEN 3760
3720 DE=YF
3730 BE=EB
3740 AL=EA
3750 GO TO 3790
3760 DE=0
3770 BE=2
3780 AL=1/8
3790 W1=1/(1-2*KB(NN)*PH/B(NN))
3800 W2=W1*AL*BE*V(NN)^(BE-1)

```

```
3810 F(SH,1)=W2*T(NN-2)
3820 F(SH,2)=1-W2*B(NN-2)
3830 F(SH,4)=Y(NN)+W2*(W(NN-2)+V(NN)*(1-BE)/BE)+W1*(DE-PH)
3840 IF DE<0 THEN 3870
3850 IA=1
3860 GO TO 3890
3870 IA=2
3880 RETURN
3890 REM SE INICIA EL PROCESO DE IMPRESION
3900 OPEN 1,4:CMD1
3910 GO TO 1000
```



SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS
 DIRECCION GENERAL DE DISTRITOS Y UNIDADES DE RIEGO
 DISTRITO DE RIEGO N° 085 LA BEGONA, QTO.

MARGEN IZQUIERDA DE LA RED DE CANALES

TESIS DE MAESTRIA
 ING. MAURICIO CARRILLO GARCIA

NOVIEMBRE 1988 | PLANO N° 2

