

2431



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

METODOS NUMERICOS APLICADOS A LA HIDRAULICA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
JAVIER BOLAÑOS NAVA



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.

INDICE GENERAL.

	Pag.
I.0.0. Introducción.....	1
II.0.0. Discusión de Métodos.....	4
2.1. Solución de Ecuaciones de una sola variable..	4
2.1.1. Bisección.....	5
2.1.2. Regula Falsi o Falsa Posición.....	8
2.1.3. Newton Raphson.....	11
2.1.4. Secante.....	17
2.2. Solución de Sistemas de Ecuaciones Lineales..	19
2.2.1. Método de Gauss Jordan.....	21
2.3. Ecuaciones Diferenciales Ordinarias.....	25
2.3.1. Métodos de un solo paso.....	26
2.4. Transformada de Fourier.....	30
2.5. Regresiones y Ajustes.....	39
2.5.1. Método de Mínimos Cuadrados (polinómi co).....	40
2.5.2. Ajuste Exponencial.....	43
2.5.3. Ajuste Logarítmico.....	46
2.5.4. Ajuste No Lineal.....	48
III.0.0. Planteamiento Hidráulico.....	54
3.1. Flujo en Conductos Cerrados (tuberías a pre- sión).....	56
3.1.1. Diseño del Diámetro de Conducción....	56
3.1.2. Golpe de Ariete.....	66
3.1.3. Cámaras de Oscilación.....	77
3.1.4. Redes Cerradas.....	84
3.2. Flujo a Superficie Libre.....	89
3.2.1. Flujo Uniforme.....	89
3.2.2. Flujo Crítico.....	100
3.2.3. Tirantes Alternos.....	104
3.2.4. Salto Hidráulico.....	110
3.2.5. Flujo Gradualmente Variado.....	115
3.2.6. Perfiles en Flujo Espacialmente Varia do.....	122

	Pag.
3.3. Aplicaciones Afines.....	133
3.3.1. Tránsito de Avenidas.....	133
3.3.2. Avenida de Diseño.....	138
3.3.3. Optimización de Recursos Hidráulicos - en Riego.....	144
3.3.4. Simulación del Funcionamiento de un <u>Va</u> so de Almacenamiento.....	148
IV.0.0. Programación de Algoritmos.....	156
4.1. Formación del Paquete.....	156
4.2. Documentación.....	162
4.2.1. Programa de Control.....	162
4.2.2. Solución de Ecuaciones con una sola <u>va</u> riable de orden n.....	162
4.2.3. Regresiones No Lineales, Ajustes y <u>Sis</u> temas de Ecuaciones.....	163
4.2.4. Flujo en Conductos Cerrados.....	164
4.2.5. Flujo a Superficie Libre.....	167
4.2.6. Temas Afines a la Hidráulica.....	172
4.3. Manual del Usuario.....	175
4.3.1. Características de la Máquina.....	176
4.3.2. Instructivo de Uso.....	176
V.0.0. Ejemplos Resueltos.....	184
5.1. Ajuste de Curvas.....	184
5.2. Flujo en Conductos Cerrados.....	187
5.2.1. Diseño del Diámetro de Conducción.....	187
5.2.2. Golpe de Ariete.....	189
5.2.3. Cámaras de Oscilación.....	194
5.2.4. Redes.....	203
5.3. Flujo a Superficie Libre.....	206
5.3.1. Cálculo del Tirante Normal.....	206
5.3.2. Diseño de un Canal No Revestido por el Método de la Velocidad Permisible.....	208
5.3.3. Diseño de un Canal No Revestido por el Método de la Fuerza Tractiva,.....	210

	Pag.
5.3.4. Cálculo del Tirante Crítico.....	212
5.3.5. Tirantes Alternos.....	216
5.3.6. Obtención de los Tirantes en un Canal -- con un Escalón.....	220
5.3.7. Obtención de los Tirantes en un Canal -- con Ampliación o Reducción.....	223
5.3.8. Salto Hidráulico.....	226
5.3.9. Flujo Gradualmente Variado.....	228
5.3.10. Flujo Espacialmente Variado.....	231
5.4. Temas Afines.....	233
5.4.1. Tránsito de Avenidas.....	233
5.4.2. Análisis Espectral.....	238
5.4.3. Optimización en Riego.....	242
5.4.4. Funcionamiento de Vaso.....	245
VI.0.0. Conclusiones.....	249
VII.0.0. Apéndices. Listados de los Programas.....	252

I N D I C E D E D I A G R A M A S D E F L U J O

Núm.	Nombre.	Pag.
2.1	Método de Bisección.....	7
2.2	Método de Regula Falsi.....	10
2.3	Método de Newton Raphson.....	15
2.4	Método de la Secante.....	18
2.5	Método de Gauss Jordan.....	23
2.6	Método de Transformada de Fourier.....	38
2.7	Método de Regresiones y Ajustes.....	42
2.8	Método de Ajuste Exponencial.....	45
2.9	Método de Ajuste Logarítmico.....	47
2.10	Método de Ajuste No Lineal.....	52
3.1	Diseño del Diámetro de Conducción.....	65
3.2	Cálculo de Golpe de Ariete.....	76
3.3	Cámaras de Oscilación.....	83
3.4	Redes de Agua Potable.....	87
3.5	Tirante Normal.....	91
3.6	Método de la Velocidad Permisible.....	96
3.7	Método de la Fuerza Tractiva.....	99
3.8	Tirante Crítico.....	102
3.9	Energía Específica.....	109
3.10	Salto Hidráulico.....	114
3.11	Flujo Gradualmente Variado.....	121
3.12	Flujo Espacialmente Variado.....	132
3.13	Tránsito de Avenidas.....	137
3.14	Avenida de Diseño.....	143
3.15	Método Simplex.....	147
3.16	Funcionamiento de Vaso.....	152

I N D I C E D E F I G U R A S .

Num.	Nombre.	Pag.
2.1	Método de Bisección.....	6
2.2	Método de Falsa Posición.....	9
2.3	Método de Newton Raphson.....	12
2.4	Comportamiento Geométrico del Método de Newton Raphson.....	14
2.5	Método de la Secante.....	17
2.6	Gráfica de la función $y = f(t)$ Vs. tiempo para solución de Ecuaciones Diferenciales por Métodos de un Solo Paso.....	26
2.7	Gráfica Ecuaciones Diferencial: $\frac{dy}{dt} = f(y,t)$...	27
2.8	Representación Gráfica del Periodo T de una -- onda.....	31
2.9	Gráfica de los Valores de un Registro de Anemó grafo por ejem. contra el tiempo.....	35
2.10	Espectro de la Fig. (2.9).....	35
2.11	Gráfica de pares ordenados de valores para ob- tener un ajuste.....	40
2.12	Gráfica del Método de Mínimos Cuadrados.....	40
2.13	Método de Ajuste Exponencial.....	44
2.14	Método de Ajuste Logarítmico.....	46
2.15	Método de Ajuste No Lineal.....	49
3.1	Sistema de una Línea de Conducción.....	61
	Proceso del Fenómeno de Golpe de Ariete.	
3.2	Condiciones Normales.....	66
3.3	Cierre.....	67
3.4	Inicio de la Expansión.....	67
3.5	Expansión Total.....	68
3.6	Inicio de la Recuperación.....	68

Num.	Nombre.	Pag.
3.7	Fenómeno de Succión.....	69
3.8	Nueva Recuperación.....	69
3.9	Ciclo Completo Golpe de Ariete.....	70
3.10	Volumen de Control para Análisis de Golpe de Ariete.....	70
3.11	Representación de la Onda en la Tubería en un tiempo $(t-t_0)$	72
3.12	Grados de Apertura para Cierre Lineal.....	73
3.13	Grados de Apertura para Abertura Lineal.....	73
	Fin Figuras del Proceso del Golpe de Ariete.	
3.14	Cámara de Oscilación.....	78
3.15	Curvas de Energía Específica.....	104
3.16	Salto Hidráulico.....	110
3.17	Curva de Función Momentum.....	112
3.18	Derivación de la Ecuación Dinámica del Flujo Gradualmente Variado.....	115
3.19	Perfiles de Flujo Gradualmente Variado.....	118
3.20	Método de Incrementos Finitos.....	119
3.21	Vertedor de Canal Lateral.....	122
3.22	Vertedor de Canal Lateral.....	124
3.23	Vertedor de Canal Lateral.....	125
3.24	Vertedor de Canal Lateral.....	128
3.25	Hidrograma Unitario Adimensional del S.C.S....	140
4.1	Microcomputadora TRS II 80. Radio Shack.....	177
4.2	Disco de Trabajo.....	178
4.3	Tablero de Control.....	182
5.1	Curva Elev-Gastos del Ejem. (5.1).....	186
5.2	Diseño Diámetro de Conducción.....	187
5.3	Red de Distribución del Ejem. (5.2.4).....	203

Num.	Nombre.	Pag.
5.4.a	Cierre Brusco.....	189
5.4.b	Cierre Gradual.....	190
5.4.c	Cierre Parcial.....	191
5.4.d	Apertura Gradual.....	192
5.4.e	Apertura Parcial.....	193
5.5.a	Oscilación para Cierre Brusco.....	199
5.5.b	Oscilaciones para Cierre Parcial.....	202
5.6	Canal No Revestido por el Método de la Velocidad Permisible.....	208
5.7	Canal No Revestido por el Método de la Fuerza Tractiva.....	210
5.8.a	Características Hidráulicas para Sección Triangular Ejems. (5.3.1 y 5.3.4).....	212
5.8.b	Características Hidráulicas para Sección Rectangular Ejems. (5.3.1 y 5.3.4).....	213
5.8.c	Características Hidráulicas para Sección Trapecial Ejems. (5.3.1 y 5.3.4).....	214
5.8.d	Características Hidráulicas para Sección Circular Ejems. (5.3.1 y 5.3.4).....	215
5.9.a	Tirantes Alternos para una Sección Rectangular Ejem. (5.3.5).....	217
5.9.b	Tirantes Alternos para una Sección Trapecial - Ejem. (5.3.5).....	218
5.9.c	Tirantes Alternos para una Sección Triangular Ejem. (5.3.5).....	219
5.10.a	Tirantes Alternos en un Canal con Escalón Ascendente Ejem. (5.3.6).....	221
5.10.b	Tirantes Alternos en un Canal con Escalón Descendente Ejem. (5.3.6).....	222
5.11.a	Tirantes Alternos en un Canal con Ampliación - Ejem. (5.3.7).....	224

Núm.	Nombre.	Pag.
5.11.b	Tirantes Alternos en un Canal con Reducción -- Ejem. (5.3.7).....	225
5.12	Función Momentum para el Ejem. (5.3.8).....	226
5.13	Perfil del Ejem. (5.3.9) para Flujo Gradualmen <u>te</u> Variado.....	230
5.14	Perfil del Canal Colector del Ejem. (5.3.10)..	232
5.15	Hidrogramas de Entrada y Salida del Ejem. ---- (5.4.1).....	237
5.16.a	Gráfica de Datos del Registro del Ejem. ----- (5.4.2).....	240
5.16.b	Espectro del Registro del Ejem. (5.4.2).....	241

I.O.O. INTRODUCCION.

Los métodos numéricos son procedimientos ordenados - que describen una secuencia para la solución de distintos - tipos de Ecuaciones o Modelos Matemáticos.

La selección del Método depende directamente de las características del problema, además, de que involucre la - menor cantidad de cálculos y tenga la mejor aproximación po - sible.

Por otro lado, la Hidráulica es una disciplina que - estudia las leyes del equilibrio y del movimiento del agua en estructuras que interesan directamente al Ingeniero Ci- - vil. Dentro de ella existe una gran variedad de problemas con ciertas características; problemas que pueden ser repre- - sentados matematicamente.

Actualmente los Métodos Numéricos tienen un campo de aplicación muy amplio gracias a la aparición de las computa- - doras, máquinas que como herramienta han venido a simplifi- - car el trabajo.

Existen diferentes formas para resolver problemas hi- - dráulicos, pueden utilizarse diferentes métodos, por ejem- - plo: gráficos, métodos numéricos y en muchos casos métodos empíricos.

Considerando que el desarrollo de la Hidráulica está intimamente ligado con el desarrollo de la técnica, este -- trabajo tiene por objeto el aplicar los Métodos Numéricos, haciendo uso de una microcomputadora en algunos problemas - hidrúulicos.

En el segundo Capítulo se presentan los Métodos Numéricos que se proponen para la solución de los problemas hidráulicos que se plantean, considerando su aplicación de acuerdo a las características del problema. Cabe mencionar que los Métodos que en este Capítulo se presentan no son aplicables únicamente al área de la Hidráulica, sino que también a otras ramas de la Ingeniería.

En el tercer Capítulo se hace el planteamiento hidráulico de los problemas que se proponen, a partir de los principios fundamentales que rigen a cada uno de ellos, y resolverlos mediante los métodos propuestos en el Capítulo anterior. Todos los métodos están acompañados de Diagramas de Flujo, los cuales explican el procedimiento y su aplicación.

El cuarto Capítulo explica la elaboración del paquete de programas usando como herramienta una microcomputadora, también se describen las variables que intervienen en cada programa y además, se presenta un instructivo de uso para el paquete de programas. Cabe mencionar que el lenguaje utilizado para programar fué el BASIC, ya que presenta una relativa facilidad de uso y variedad para la descripción de algoritmos.

En el quinto Capítulo se presentan algunos ejemplos resueltos por medio del paquete de programas a manera de guía para quien así lo requiera.

En el sexto Capítulo se presentan las conclusiones obtenidas en este trabajo.

Por último, en el séptimo Capítulo se incluyen los -
listados de los programas elaborados.

C A P I T U L O - I I

- II.0.0. DISCUSION DE METODOS.
- 2.1. SOLUCION DE ECUACIONES DE UNA SOLA VARIABLE.
- 2.2. SOLUCION DE SISTEMAS DE ECUACIONES LINEALES.
- 2.3. ECUACIONES DIFERENCIALES ORDINARIAS.
- 2.4. TRANSFORMADA DE FOURIER.
- 2.5. REGRESIONES Y AJUSTES.

II.0.0 DISCUSION DE METODOS.

El objeto de este capítulo es la presentación de algunos métodos numéricos que se consideran adecuados para la solución de problemas comunes de la hidráulica haciendo uso de la computadora.

De esta manera se da una breve explicación sobre cada método complementándose con diagramas de flujo.

Cabe aclarar que los métodos que en éste capítulo se presentan son los que se utilizan en el capítulo 3.

2.1. Solución de ecuaciones de una sola variable.

Uno de los problemas más antiguos de las matemáticas y de gran importancia hasta nuestros días es la determinación de las raíces de una ecuación; para ello existen una gran cantidad de métodos que se han desarrollado diferenciándose entre sí por la necesidad de cada uno de ellos, es decir, ya sea obtener todas las raíces de una ecuación o algunas de ellas, o por la determinación de las raíces reales o complejas, simples o múltiples, o porque se tenga disponible una primera aproximación para una de ellas o no, etc.

Al tener la posibilidad de resolver ecuaciones complejas o sistemas de gran número de ecuaciones rápidamente por medio de la computadora se debe considerar que muchos problemas de variadas aplicaciones se han resuelto a partir de su planteamiento inicial sin necesidad de usar los métodos creados para resolver esos problemas específicos. Así, tratándose de ecuaciones algebraicas, o sea con una función entera racional igualada a cero de la forma:

$$P_n(X) = a_0 X^n + a_1 X^{n-1} + \dots + a_{n-1} X + a_n = 0, \quad a_0 \neq 0 \quad (2.1)$$

en donde n es un número entero positivo y a_0, a_1, \dots, a_{n-1} son constantes, existen métodos para resolverlas directamente en términos de sus coeficientes siempre que el grado n de la ecuación sea cuando más 4.

Para ecuaciones algebraicas de grado superior al cuarto no existen fórmulas que permitan resolverlas en términos de sus coeficientes, lo que también sucede para las ecuaciones trascendentes, por lo tanto conviene establecer métodos generales que permitan resolverlas aunque solo sea en una forma aproximada, incluso aún para las ecuaciones algebraicas de tercero y cuarto grado por lo complicado del método. Así, no obstante que se emplea el término "solución aproximada" en la mayoría de los casos ésta es mejor que la de los "métodos exactos", ya que los métodos aproximados permiten mejorar la solución por simple repetición del mismo método hasta adquirir el grado de aproximación requerido.

Los métodos de solución aproximada existentes constan básicamente de dos pasos fundamentales:

- 1.- Determinación de un valor aproximado a la raíz que se busca, y
- 2.- El mejoramiento de la solución hasta un grado de precisión preestablecido.

A continuación se presentan cuatro métodos de solución aproximada.

2.1.1 Biseción.

Sea $F(X)$ una función continua de valores reales de la que se desea determinar un factor ξ tal que $F(\xi)=0$

Se sabe que dado un intervalo (a_n, b_n) en el que la función $F(X)$ es continua y derivable, por el teorema del valor medio, existe un valor ξ con el cual la función se anula, tal que:

$$F(a_n) < \xi < F(b_n) \quad \text{ó} \quad F(b_n) < \xi < F(a_n)$$

con ello si $F'(x) > 0$ ó $F'(x) < 0$ existirá una raíz única en el intervalo para $a_n < X < b_n$ para hallar aproximadamente la raíz ξ , el método propone utilizar como primera aproximación la media aritmética del intervalo:

$$x = \frac{a_n + b_n}{2} \quad \text{---Ec. (2.2)}$$

Si la valuación $F(X)$ resulta $\neq 0$ implica que el valor no es raíz. La segunda aproximación estará dada por la media de los valores ya sea (a_n, X) ó (X, b_n) , eligiéndose aquél en cuyos extremos la función tenga signos opuestos. De la misma forma se determinan las siguientes aproximaciones con lo que la sucesión X_n para $n=0,1,2,3,\dots$ converge hacia la raíz ξ , o sea:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} X_n = \xi$$

El método debe detenerse cuando las cifras de la aproximación tiendan a igualarse en las cifras decimales de acuerdo con el grado de precisión deseado.

Para explicar el método en forma gráfica se presenta la figura 2.1 :

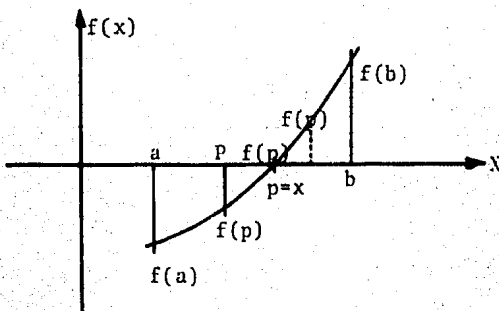
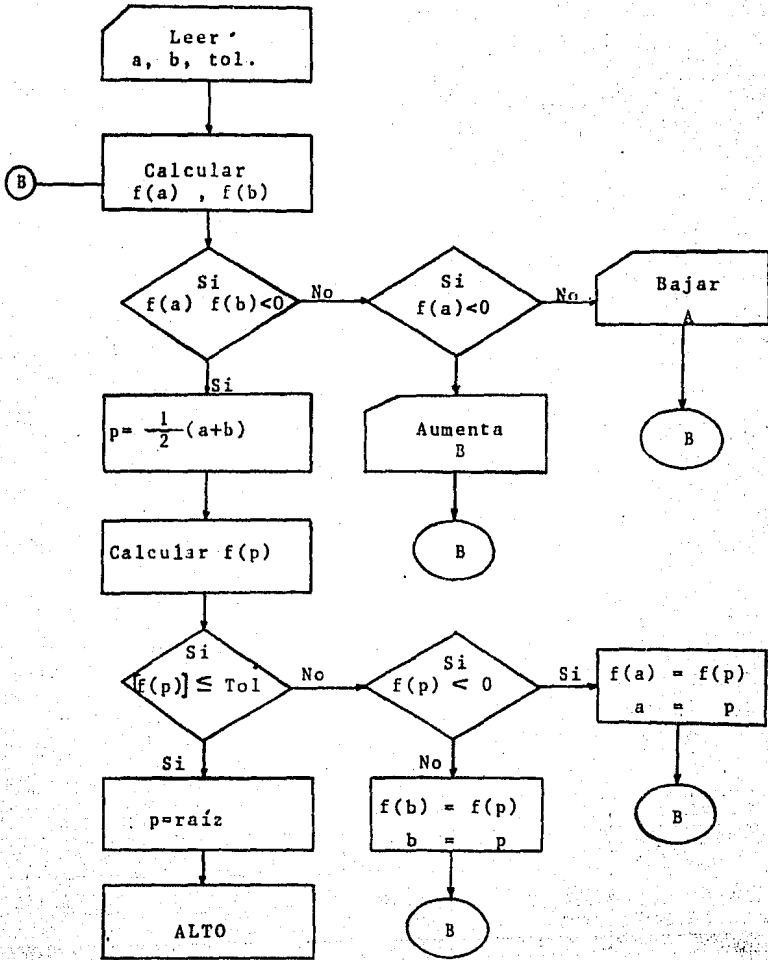


Fig. 2.1 METODO DE BISECCION.



D.F. 2.1 Método de Bisección

en donde a y b representan el intervalo de cálculo en el cual se encuentra la raíz ya que al evaluar $f(a)$ y $f(b)$, es decir la función en ambos extremos del intervalo, existe un cambio de signo, siendo para este caso $f(a)$ la negativa y $f(b)$ la positiva. La siguiente parte del método, como se mencionó anteriormente, consiste en evaluar el punto P como: -----
$$P = \frac{a + b}{2}$$
; una vez que se tiene este punto se evalúa la función en él, de esta manera si $f(P) < 0$, el punto a del intervalo tomará ahora el valor de P ; por el contrario si $f(P) > 0$, entonces el punto b del intervalo tomará el valor del punto P y en ambos casos se vuelve a encontrar el punto P con el nuevo intervalo de la misma forma que se hizo anteriormente, y así sucesivamente. Cuando $f(P)=0$ quiere decir que $P=X$ y que por lo tanto se ha llegado a encontrar la raíz. (Ver Diagrama de Flujo 2.1)

El Algoritmo que se obtiene del Diagrama de Flujo 2.1 es el siguiente:

- 1 Elegir a, b / $f(a) f(b) < 0$
- 2 Calcular $P = \frac{a + b}{2}$ y obtener $f(P)$
- 3 Comparar si $f(P) < 0$ $a=P$ (asumiendo que $f(a)$ es la negativa.
 $f(P) > 0$ $b = P$
- $|f(P)| \leq \text{Tol}$ Ir a 5
- 4 Ir a 2
- 5 $P = \text{raíz}$ "FIN"

2.1.2 Regula Falsi o Falsa Posición.

El método de Regula Falsi propone utilizar como primera aproximación, a diferencia del Método de Bisección, el valor que se obtiene por medio de los triángulos $f(a)$, $f(b)$, b y c , $f(b)$, b respectivamente y que además son semejantes, siendo c el punto a evaluar y que corresponde a la raíz que se busca una vez que la función en dicho punto sea igual con cero ($f(c) = 0$), así de la Figura 2.2 se tiene que:

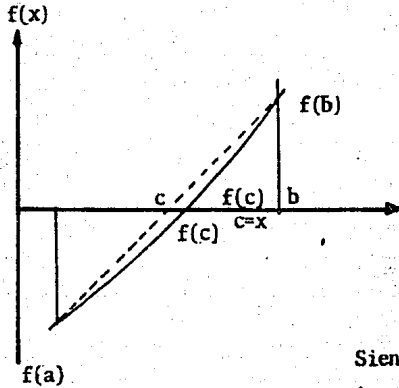


Fig. 2.2 Método de Falsa Posición.

Por triángulos semejantes:

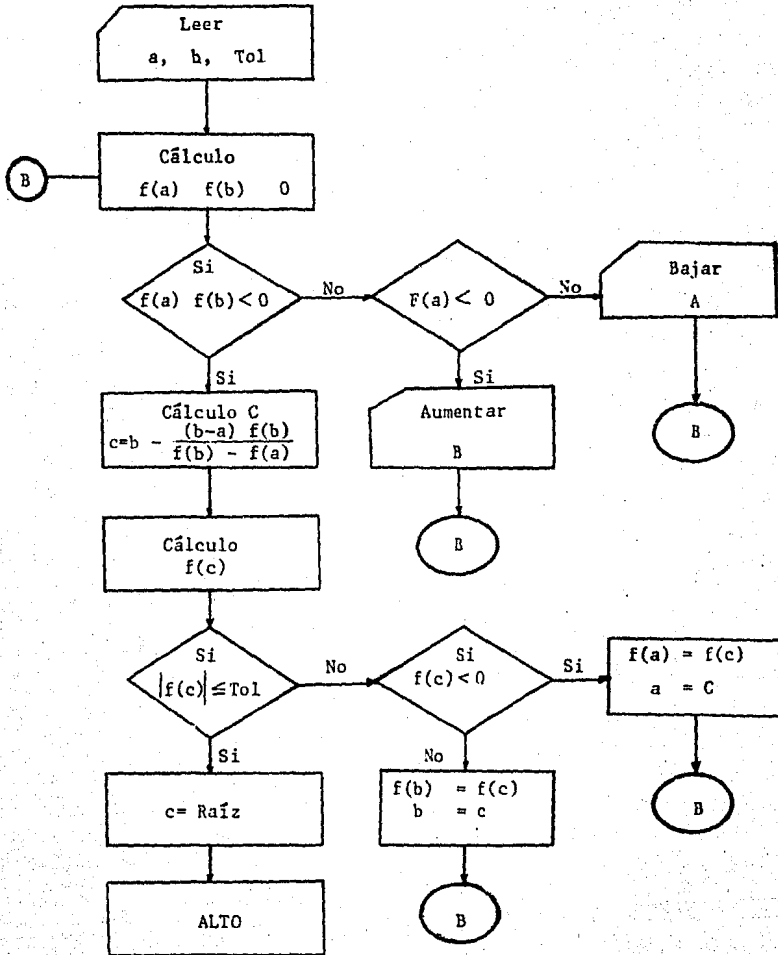
$$\frac{f(b) - f(a)}{b - a} = \frac{f(b)}{b - c}$$

Despejando c:

$$c = b - \frac{(b - a) f(b)}{f(b) - f(a)}$$

esto es asegurando que $f(a)$ es la negativa o, caso contrario, para $f(a) > 0$:

$$c = a - \frac{f(a) (b - a)}{f(a) - f(b)} \quad \text{-----Ec. (2.3)}$$



D.F. 2.2 Método de Regula-Falsi

Si la valuación $F(c)$ resulta diferente de cero, implica que el valor no es raíz. La segunda aproximación estará dada por el valor que corresponde de elegir el nuevo intervalo, lo que depende de comparar $f(c)$ con --cero, esto es si $f(c) < 0$ a toma el valor de c y el nuevo intervalo que que como (c, b_n) , por el contrario si $f(c) > 0$ b toma el valor de c y el nuevo intervalo será: (a_n, c) ; hay que recordar que esto es siempre y cuando $f(a)$ es negativa. Una vez que se tiene el nuevo intervalo se calcula el nuevo punto c de igual manera que se hizo con el primero. Las siguientes aproximaciones se determinan de la misma forma. (Ver Diagrama de Flujo 2.2).

El Algoritmo que se obtiene del Diagrama de Flujo 2.2 es el siguiente:

- 1 Elegir $a, b / f(a) f(b) < 0$
- 2 Calcular $c = b - \frac{(b-a)f(a)}{f(b)-f(a)}$ y obtener $f(c)$
- 3 Comparar: $f(c) < 0$ $a = c$ (asumiendo que $f(a)$ es la negativa)
 $f(c) > 0$ $b = c$
| $f(c) | \leq \text{Tol}$ Ir a 5
- 4 Ir a 2
- 5 $c = \text{raíz}$ "FIN"

2.1.3 Newton Raphson.

Sea $F(X)=0$ una ecuación algebraica o trascendente cualquiera y ----
 $X = a$ una raíz de ella tal que $F(a) = 0$. Si sumamos un valor X a ambos miembros de la primer ecuación: $F(X) + X = X$ y haciendo -----
 $f(X) = X + F(X)$ se tiene que: $X = f(X)$.

Como $X = a$ debe cumplirse que $a = f(a)$ por lo tanto al sustituir X_0 , un valor aproximado de la raíz en la ecuación $X = f(x)$, se tiene:

$$X_1 = f(X_0)$$

Por lo que $X_{n+1} = f(X_n)$ lo que se puede escribir como -----
 $X_{n+1} = X_n + \Delta X_n$ siempre y cuando $\Delta X_n = f(X_n) - X_n$, afectando al incremento ΔX_n de un coeficiente α que permita pasar directamente de la aproximación X_n a la raíz a , es decir:

$$X_{n+1} = X_n + \alpha \cdot \Delta X_n \quad \text{-----(1)}$$

en donde α se determina de manera que, en lugar de ir horizontalmente de la curva a la recta, se va por la secante dibujada en la Fig. 2.3

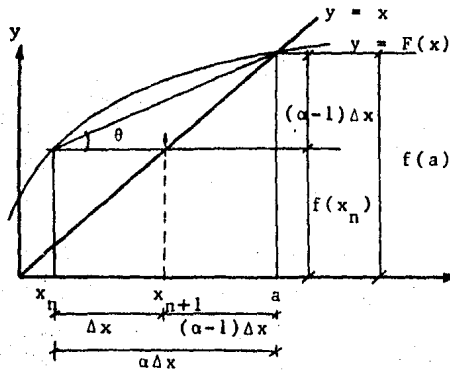


Fig. 2.3 Método de Newton Raphson.

De la figura 2.3 se tiene que:

$$\tan \theta = \frac{(\alpha-1) \cdot \Delta X_n}{\alpha \cdot \Delta X_n} = \frac{\alpha - 1}{\alpha}$$

También de la misma figura:

$$\tan \theta = \frac{f(a) - f(X_n)}{a - X_n}$$

la cual de acuerdo con el teorema del valor medio del cálculo diferencial puede escribirse como:

$$\tan \theta = f'(\xi), \quad \text{donde } X_n < \xi < a$$

De lo anterior se tiene que:

$$\frac{(\alpha - 1)}{\alpha} = f'(\xi), \quad X_n < \xi < a$$

$$\text{Por lo tanto: } \alpha = \frac{1}{1 - f'(\xi)}, \quad X_n < \xi < a$$

Sustituyendo en la Ecuación (1)

$$X_{n+1} = X_n + \frac{\Delta X_n}{1 - f'(\xi)}, \quad X_n < \xi < a$$

$$\text{Pero: } \Delta X_n = f(X_n) - X_n$$

$$\text{Por lo tanto: } X_{n+1} = X_n + \frac{f(X_n) - X_n}{1 - f'(\xi)}, \quad X_n < \xi < a$$

Además $f(X) = X + F(X)$ Por lo tanto: $f'(X) = 1 + F'(X)$ y sustituyendo:

$$X_{n+1} = X_n + \frac{X_n + F(X_n) - X_n}{1 - 1 - F'(\xi)}, \quad X_n < \xi < a$$

$$\text{Por lo tanto: } X_{n+1} = X_n - \frac{F(X_n)}{F'(\xi)}, \quad X_n < \xi < a \quad \text{---Ec. (2.4)}$$

Como de ξ solo se sabe que está en el intervalo $X_n < \xi < a$ y se desconoce el valor de a , se va a sustituir ξ por X_n , lo que significa que no se irá a la recta por la secante, como se propuso al principio, sino por la tangente a la curva en $X = X_n$. Por lo tanto queda:

$$X_{n+1} = X_n - \frac{F(X_n)}{F'(X_n)}$$

El comportamiento geométrico del método se muestra en la figura ----
(2.4).

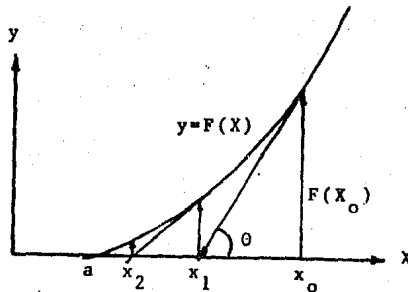


Fig. 2.4 Comportamiento Geométrico
del Método de Newton Raphson.

De la Fig. (2.4) se tiene que: $\tan \theta = F'(X_0) = \frac{F(X_0)}{X_0 - X_1}$

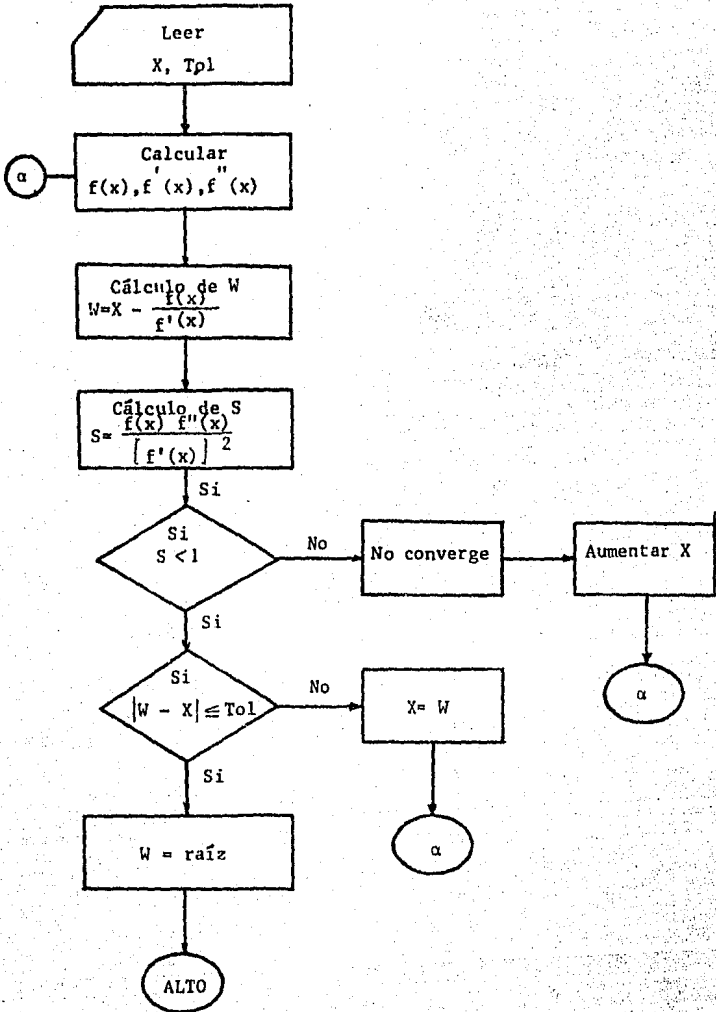
Despejando X_1 , $X_1 = X_0 - \frac{F(X_0)}{F'(X_0)}$ de la misma manera se tie-

ne que: $X_2 = X_1 - \frac{F(X_1)}{F'(X_1)}$ y generalizando $X_{n+1} = X_n - \frac{F(X_n)}{F'(X_n)}$

De lo anterior puede concluirse que el método consiste en trazar una vertical por la primera aproximación hasta cortar la curva de la ecuación $Y = F(X)$; por el punto de corte trazar una tangente a la propia curva - hasta intersectar el eje X ; en este punto se tendrá la nueva aproximación y será necesario repetir el proceso tantas veces como se requiera.

El método será convergente siempre que $G'(X) < 1$ siendo:

$$X_{n+1} = G(X_n) \quad \text{y} \quad G(X) = X - \frac{F(X)}{F'(X)}$$



D.F. 2.3 Método de Newton-Raphson

Derivando G(X):

$$G'(X) = 1 - \frac{(F'(X))^2 - F(X)F''(X)}{(F'(X))^2}$$

$$G'(X) = 1 - 1 + \frac{F(X)F''(X)}{(F'(X))^2}$$

$$G'(X) = \frac{F(X)F''(X)}{(F'(X))^2} \quad \text{----Ec. (2.5)}$$

Por lo tanto el método converge si: $\frac{F(X)F''(X)}{(F'(X))^2} < 1$

Por lo que se debe cumplir que:

- 1) X_0 debe ser suficientemente cercano a la raíz.
- 2) $f''(X)$ no debe ser muy grande.
- 3) $f'(X)$ no debe ser cerca de cero

Ver Diagrama de Flujo Número 2.3.

El Algoritmo que se obtiene del diagrama de flujo 2.3 es el siguiente:

- 1 Elegir X ($X \neq 0$)
- 2 Obtener $f(X)$, $f'(X)$, $f''(X)$
- 3 Calcular $W = X - \frac{f(X)}{f'(X)}$ $S = \frac{f(X) f''(X)}{(f'(X))^2}$
- 4 Comparar $S < 1$ E ir a 5
 $S > 1$ no converge, aumenta X. E ir a 2
- 5 $|W - X| \leq Tol$ Ir a 6
 $X = W$ Ir a 2
6. $W = \text{raíz}$ "FIN"

2.1.4 Secante.

El método de la secante propone utilizar como primera aproximación el valor que se obtienen por medio de los triángulos $b, c, f(b)$ y $f(a), d$ respectivamente y que además son semejantes, siendo c el punto a valuar y que corresponde a la raíz que se busca una vez que la función en dicho punto sea igual con cero ($f(c) = 0$).

Así de la figura (2.5) se tiene que:

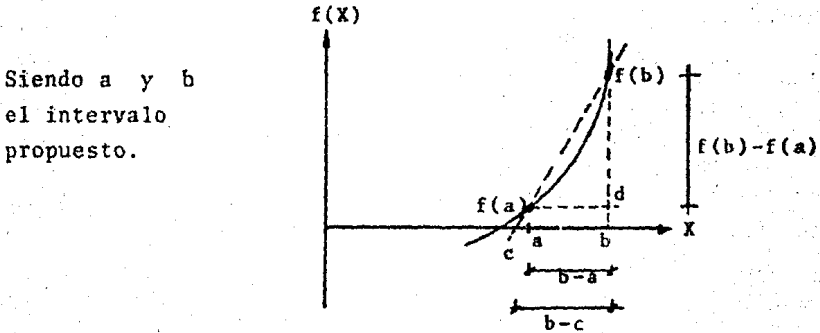


Fig. (2.5) Método de la Secante.

Considerando $b > a > c$

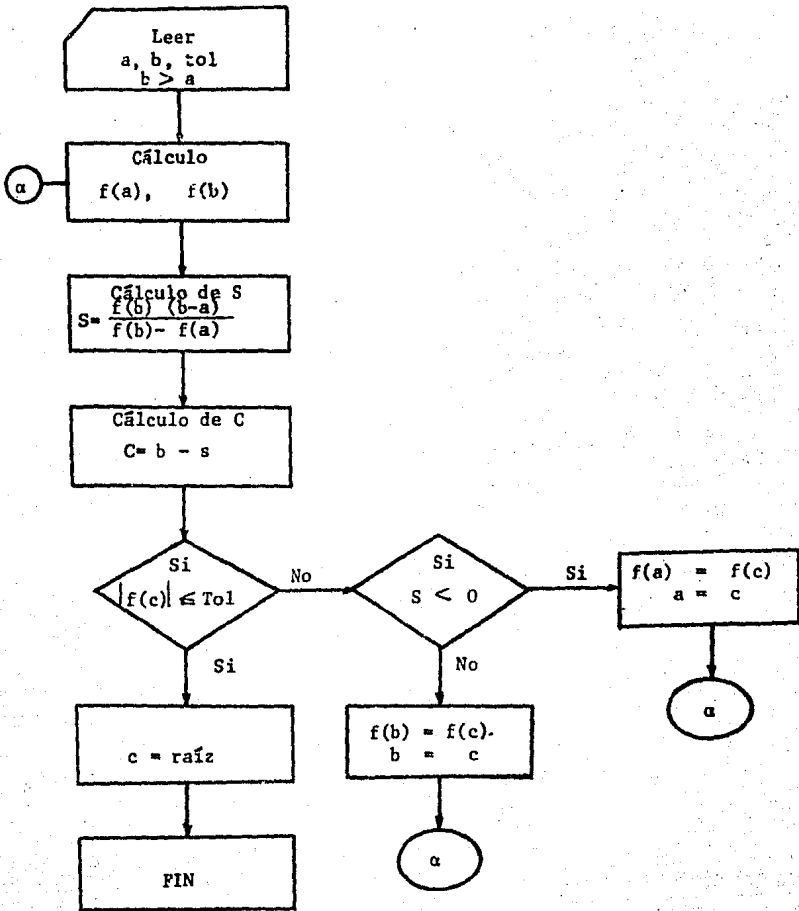
Por triángulos semejantes:

$$\frac{f(b) - f(a)}{b - a} = \frac{f(b)}{b - c}$$

Despejando c :

$$c = b - \frac{f(b) (b - a)}{f(b) - f(a)} \quad \text{----Ec. (2.6)}$$

Donde: $\frac{f(b) (b - a)}{f(b) - f(a)} = S$



D.F. 2.4 Método de la Secante

Si la valuación $F(c)$ resulta diferente de cero implica - que el valor no es raíz. La segunda aproximación estará dada por el valor que corresponda de elegir el nuevo intervalo, lo que depende de comparar S con cero; esto es si $S < 0$ a toma el valor de c y el nuevo intervalo queda como (c, b_n) , - por el contrario si $S > 0$ b toma el valor de c y el nuevo intervalo será (a_n, c) . Una vez que se tiene el nuevo intervalo se calcula el nuevo punto c de igual manera que se hizo con el primero. Las siguientes aproximaciones se determinan de la misma forma. (Ver Diagrama de Flujo 2.4)

·El Algoritmo que resulta del Diagrama de Flujo (2.4) es el siguiente:

- 1 Elegir a, b
- 2 Calcular: $S = \frac{(b - a) f(b)}{f(b) - f(a)}$ y $c = b - S$
- 3 Comparar:
 $| f(c) | \leq \text{Tol}$ Ir a 5
 Si $S < 0$; $a = c$
 Si $S > 0$; $b = c$
- 4 Ir a 2
- 5 $c = \text{Raíz}$ "FIN"

2.2 Solución de Sistemas de Ecuaciones Lineales.

Una ecuación algebraica lineal es aquella en donde en cada término de la ecuación aparece únicamente una variable o incógnita elevada a la primera potencia. Sea la siguiente -- ecuación algebraica lineal:

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + a_{13}X_3 + \dots + a_{1n}X_n = b_1$$

donde $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ son las variables; $a_{11}, a_{12}, a_{13}, \dots, a_{1n}$ son los coeficientes y b_1 el término independiente. Se acepta que los coeficientes y el término independiente son --- constantes reales.

Un sistema de ecuaciones es un conjunto de ecuaciones que deben resolverse simultáneamente. Por ejemplo:

$$\begin{aligned} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + a_{13}X_3 + \dots + a_{1n}X_n &= b_1 \\ a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + a_{23}X_3 + \dots + a_{2n}X_n &= b_2 \\ a_{31}X_1 + a_{32}X_2 + a_{33}X_3 + \dots + a_{3n}X_n &= b_3 \\ \cdot & \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \\ \cdot & \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \\ a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + a_{n3}X_3 + \dots + a_{nn}X_n &= b_n \end{aligned}$$

De acuerdo a la definición de producto matricial este sistema de n ecuaciones con n incógnitas se puede escribir como:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ X_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ b_n \end{bmatrix}$$

El sistema anterior se puede escribir como:

$$AX = b$$

en donde A es la matriz del sistema. A la matriz que se forma de A , agregando el vector de términos independientes como última columna, se le conoce como matriz ampliada.

Para la solución de sistemas de ecuaciones se han desarrollado un gran número de algoritmos los cuales pueden ser métodos exactos o de aproximaciones sucesivas. Para efectos de este trabajo se han estudiado dos métodos: El Método de Gauss Jordan y el Método de Programación Lineal Simplex.

2.2.1 Método de Gauss Jordan.

La solución de un sistema de ecuaciones es un conjunto de valores de las incógnitas que verifican simultáneamente a todas y cada una de las ecuaciones del sistema.

Además de acuerdo con su solución un sistema puede ser compatible si admite solución o incompatible si no admite solución. Un sistema compatible puede ser determinado si la solución es única o indeterminado si la solución no es única -- por lo que, en este caso, se demuestra que existe una infinidad de soluciones.

Se puede decir que el Método de Gauss-Jordan es un método exacto; consiste básicamente en sistematizar el Teorema Fundamental de Equivalencia, el cual dice:

"Si en un sistema de ecuaciones se sustituye una de ellas por una combinación lineal de las ecuaciones del sistema, se obtiene un nuevo sistema que es equivalente al anterior"

Por ejemplo sea el siguiente sistema:

$$3X_1 + 2X_2 = 5$$

$$2X_1 + 4X_2 = 6$$

Si a la primer ecuación la multiplicamos por -2 y la sumamos a la segunda miembro a miembro se tiene:

$$3X_1 + 2X_2 = 5$$

$$-4X_1 \quad \quad = -4$$

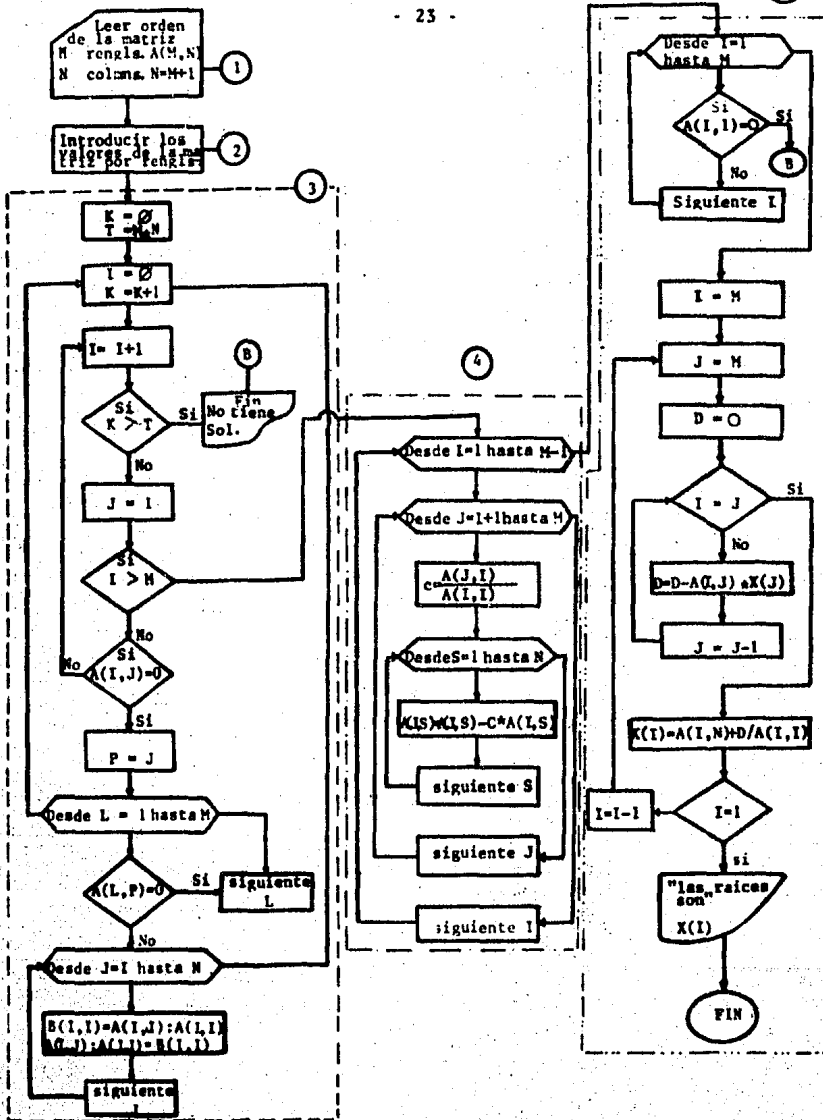
Con este nuevo sistema se verifica que la solución $X_1=1$, $X_2=1$ cumple también con el primer sistema, por lo tanto el segundo sistema es equivalente del primero.

Se puede observar que en el sistema equivalente en la segunda ecuación se ha eliminado el término en X_2 por lo que la solución se ha simplificado.

Por lo tanto, de acuerdo con lo anterior y con el teorema fundamental de equivalencia primero se procede a ordenar la matriz de tal forma que en la primer columna queden los -- coeficientes de la primer variable, en la segunda columna los coeficientes de la segunda variable y así sucesivamente hasta la última columna que será el vector de términos independientes.

A continuación se revisa que no existan ceros en la diagonal principal, si los hay, se procede a intercambiar renglones de tal manera que: $a_{ii} \neq 0$

Posteriormente se genera la matriz triangular, esto es -- que los elementos de la diagonal principal valgan uno y que -- abajo de ella existan siempre ceros; para ello se hace uso de



D.F. 2.5. Método de Gauss-Jordan

transformaciones lineales u operaciones básicas sobre los renglones de una matriz que pueden ser:

- a) Multiplicar todos los elementos de un renglón por -- una misma constante no nula.
- b) Sumar a los elementos de un renglón los correspon---dientes elementos de otro multiplicados por una constante.
- c) Intercambiar renglones.

Finalmente se aplica el método de vuelta atrás que con--siste en tomar el último renglón de la matriz, una vez que ya los elementos de la diagonal principal valen uno y debajo de ella existen ceros, con lo que se obtiene el valor de la última variable que corresponde a X_n . De aquí este valor se sustituye en el renglón anterior y se encuentra el valor de X_{n-1} y así sucesivamente hasta el primer renglón donde se obtendrá el valor de la primer variable. (Ver Diagrama de Flujo Núm. (2.5)).

El algoritmo que se obtiene del diagrama de flujo núm. (2.5) es:

- 1 Leer el orden de la matriz como $A(M,N)$ donde:
 $M =$ Número de renglones y $N =$ Número de columnas y por ser una matriz ampliada $N=M+1$
- 2 Introducir los valores de la matriz por renglones.
- 3 Se inicia la reacomodación del sistema sin ceros en la diagonal principal. Para ello se obtiene el número total de combinaciones que existen de intercambiar renglones. De existir un cero en la diagonal principal el sistema no tiene solución. De no ser así, la matriz queda entonces reacomodada.
- 4 Se inicia el algoritmo de Gauss. Para ello se hace uso de transformaciones lineales y un procedimiento

iterativo para ir transformando elemento por elemento hasta que la diagonal principal sea igual a uno y que todos los elementos que quedan abajo de ella sean --- igual con cero, con lo que finalmente queda transformada la matriz.

- 5 Se inicia el método de vuelta atras con lo que finalmente se obtienen las raices del sistema.

2.3 Ecuaciones Diferenciales Ordinarias.

Muchos de los problemas de la hidráulica pueden ser representados matemáticamente por ecuaciones diferenciales.

Una ecuación diferencial es una ecuación que relaciona dos o más variables en términos de derivadas o diferenciales, por ejemplo:

$$\frac{dy}{dx} = \text{Cos } X$$

La solución es cualquier relación funcional que no incluya derivadas o integrales de funciones desconocidas y que implique a la propia ecuación diferencial, en el sentido de que la verifique idénticamente por sustitución directa.

La solución de $\frac{dY}{dX} = \text{Cos } X$ resulta de integrar la ecuación y es: $Y = \text{Sen } X + C$ donde C es una constante arbitraria.

De esta forma sea la función $Y = f(t)$ una ecuación diferencial y que al integrarla da la solución. Por ejemplo se tienen las ecuaciones de flujo variado y continuidad:

$$\frac{dY}{dX} = \frac{S_0 - Sf}{1 - Fr^2} \quad \text{y} \quad \frac{dV}{dt} = I - O \quad \text{continuidad}$$

2.3.1 Métodos de Un Solo Paso.

Graficando la función $Y = f(t)$ con respecto a t . Como se muestra en la Fig. (2.6)

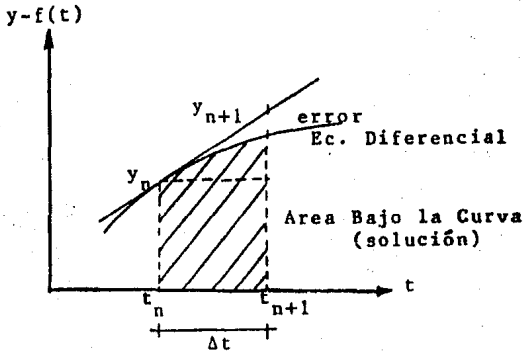


Fig. (2.6) Gráfica de la función $Y=f(t)$ Vs. tiempo para solución de Ecs. Dif. por Métodos de Un Solo Paso.

La recta $Y_{n+1} = Y_n + f(t_n)\Delta t$ representa la solución a la ecuación diferencial una vez que $\Delta t \rightarrow 0$.

Así, un problema ordinario de valores iniciales está gobernado por una ecuación diferencial ordinaria y un conjunto de condiciones, todas ellas válidas para el mismo punto inicial, $t_n = t$. La solución numérica de este problema consiste en valorar la integral de $Y(t)$ en todos los puntos de su intervalo de definición, los que estarán igualmente espaciados. Estos valores se obtienen, paso a paso, a partir del punto inicial, lo que da el nombre de Métodos de Integración Paso a Paso.

Uno de estos métodos y que aplicaremos más adelante para el cálculo del tránsito de avenidas es el Método de Euler.

Sea la ecuación $\frac{dY}{dt} = f(Y, t)$

que gráficamente se expresaría: (Ver figura 2.7)

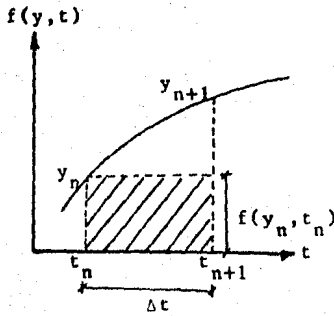


Fig. (2.7) Gráfica de la Ecuación Diferencial

$$\frac{dY}{dt} = f(Y, t)$$

Se debe integrar la ecuación diferencial en el intervalo:
1o: $Y_n \leq Y \leq Y_{n+1}$

De esta forma se tiene que:

$$\int \frac{dY}{dt} = \int f(Y, t)$$
$$\int dY = \int f(Y, t) dt$$

Tomando límites: $\int_{Y_n}^{Y_{n+1}} dY = f(Y_n, t_n) \Delta t \quad \Delta t \rightarrow 0$

$$Y_{n+1} - Y_n = f(Y_n, t_n) \Delta t$$

Finalmente: $Y_{n+1} = Y_n + f(Y_n, t_n) \Delta t \quad \text{---Ec. (2.7)}$

Solución que se aplica a partir de los valores iniciales conocidos. Cabe mencionar que no se presentará diagrama de flujo ya que el método se aplica en el siguiente capítulo y es ahí donde se presenta (tránsito de avenidas).

Cualquier método de integración hacia adelante de ecuaciones de primer orden puede ser extendido para integrar ecuaciones de orden superior.

Existe un método conocido como el de diferencias finitas y se basa en:

Considerese una función $y = f(x)$ para la que se desconoce la expresión analítica de $f(x)$. Suponiendo que para los valores $x_0, x_1 = x_0 + h, x_2 = x_0 + 2h, \dots, x_n = x_0 + nh$, to dos ellos igualmente espaciados entre sí (incremento de h) de la variable independiente x , se conocen los correspondientes valores $y_0, y_1, y_2, \dots, y_n$, de la variable dependiente y .

Se llaman primeras diferencias hacia adelante, a las diferencias entre dos valores consecutivos de y , por ejemplo:

$$\begin{aligned} a_0 &= y_1 - y_0 \\ a_1 &= y_2 - y_1 \\ &\vdots \\ &\vdots \\ a_{n-1} &= y_n - y_{n-1} \end{aligned}$$

Las diferencias de las primeras diferencias se llaman segundas diferencias hacia adelante:

$$b_0 = a_1 - a_0 = y_2 - 2y_1 + y_0$$

$$b_1 = a_2 - a_1 = y_3 - 2y_2 + y_1$$

$$b_2 = a_3 - a_2 = y_4 - 2y_3 + y_2$$

$$\vdots$$

$$b_{n-2} = a_{n-1} - a_{n-2} = y_n - 2y_{n-1} + y_{n-2}$$

Aparentemente es un proceso infinito pero si en el proceso de obtención de las diferencias sucesivas de una función una de estas se vuelve constante (o aproximadamente constante) puede afirmarse que el conjunto de valores tabulados queda satisfecho exactamente (o muy aproximadamente) por una función de grado igual al orden de la diferencia constante (o -- aproximadamente constante).

Por lo tanto la integración hacia adelante paso a paso de ecuaciones diferenciales de orden superior puede también efectuarse sustituyendo en la ecuación diferencial, y sus condiciones iniciales, las derivadas por fórmulas numéricas de derivación consistentes; es decir, todas ellas en el mismo orden de error. La ecuación en diferencias finitas así obtenida, deberá aplicarse repetidamente en los puntos pivotes y resolverse en términos de la solución previamente obtenida, con el mismo procedimiento en los puntos pivotes anteriores.

Este método se aplica para el cálculo de un perfil en flujo espacialmente variado en el siguiente capítulo por lo que no se incluye aquí el diagrama de flujo.

Otro método más para resolver ecuaciones diferenciales ordinarias es el Método de Scimemi que en este trabajo se ---

aplica para obtener las variaciones que se presentan en una Cámara de Oscilación debidas a una maniobra de cierre. Dado que son dos ecuaciones que se deben resolver simultaneamente (lo cual se verá en el capítulo 3), el método parte de conocer las condiciones iniciales, para después obtener los incrementos de velocidad y nivel a intervalos Δt y de tal forma -- que se pueden obtener las condiciones en el siguiente tiempo t como:

$$V_{i+1} = V_i + \Delta V \quad \text{-----Ec. (2.8)}$$

$$Z_{i+1} = Z_i + \Delta Z \quad \text{-----Ec. (2.9)}$$

Donde: V_{i+1} y Z_{i+1} Son condiciones en el instante $i+1$ (t)
 Z_i y V_i Son condiciones iniciales i
 ΔV y ΔZ Son Incrementos de Velocidad y Nivel.

Como se observa el Método consiste en ir encontrando los incrementos ΔV y ΔZ en cada punto para después realizar la su ma y obtener las condiciones en el siguiente punto y así suce sivamente.

2.4 Transformada de Fourier.

La aplicación de la transformada de Fourier a una serie de registros permite obtener el espectro del registro en cues tión.

Se define como espectro a la representación gráfica de - la distribución de energía de un fenómeno con respecto a la - frecuencia en que se puede descomponer. En este caso la dis tribución se debe a las fluctuaciones que normalmente se pre sentan en la mayoría de las mediciones de un fenómeno.

Cuando se tiene una señal se tiene un conjunto de datos aleatorios ordenados en el tiempo y, mediante el empleo del espectro se trata de descomponerlo en un arreglo de funciones con distinta frecuencia.

Se dice que una función $f(t)$ es periódica si está definida por toda t real y existe algún número positivo T tal que se cumpla que $f(t)=f(t+T)$. El número T se llama periodo y la gráfica de la Fig. (2.8) de esa función se obtiene mediante la repetición periódica del fenómeno que se está estudiando en cualquier intervalo de longitud T .

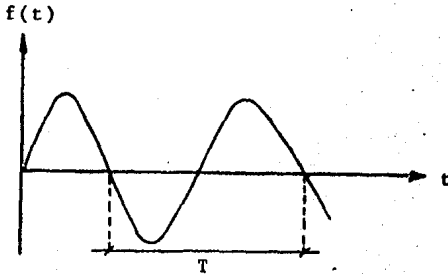


Fig. (2.8) Representación Gráfica del Periodo T de una onda.

Si se tiene una combinación lineal de un número de funciones θ_i en un intervalo $a \leq t \leq b$ implica $C_0\theta_0 + C_1\theta_1 + C_2\theta_2 + \dots + C_n\theta_n + \dots$ donde C_i es un número real.

Se puede plantear una función periodica $f(t)$ para el mismo intervalo, como una combinación lineal de otras funciones $\theta_i(t)$ en el mismo intervalo:

$$f(t) = C_0\theta_0(t) + C_1\theta_1(t) + \dots + C_n\theta_n(t) + \dots \quad \text{--Ec. (2.10)}$$

La expresión anterior permite expresar una función desconocida $f(t)$ en términos de una combinación lineal de funciones conocidas $\phi_i(t)$, donde únicamente se tendrían que definir a los coeficientes C_i .

Las funciones comúnmente usadas son las funciones Seno y Coseno, entonces:

$$\phi_n(t) = a_n \text{Cos}(n W_0 t) + b_n \text{Sen}(n W_0 t) : \text{Donde}$$

$$W_0 = \frac{2\pi}{T} \quad \text{Es la frecuencia angular.}$$

Si se considera que a_n y b_n pueden incluir a los C_i , la expresión (2.10) queda:

$$f(t) = a_0 \text{Cos}(0) + b_0 \text{Sen}(0) + a_1 \text{Cos}(W_0 t) + b_1 \text{Sen}(W_0 t) \\ + \dots + A_n \text{Cos}(nW_0 t) + b_n \text{Sen}(nW_0 t) + \dots$$

Que se resume como:

$$f(t) = \sum_{n=0}^{\infty} (a_n \text{Cos} n w_0 t + b_n \text{Sen} nW_0 t) \quad \text{---Ec. (2.11)}$$

Donde las constantes a_n y b_n son:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \text{Cos}(nW_0 t) dt \\ b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \text{Sen}(nW_0 t) dt$$

Que se conocen como fórmulas de Euler.

La Ecuación (2.11) también se puede escribir como:

$$f(t) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \text{Sen}(nW_0 t + \phi_n)$$

Donde:

A_n .- Es la amplitud de la onda n , considerada como la diferencia entre la cresta y el eje de las abscisas, equivalente a:

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

θ_n .- Es el ángulo de fase de la onda n , toma en cuenta que el origen seleccionado de esa onda no corresponda al origen seleccionado para todas las ondas, equivale a:

$$\theta_n = \text{ang tan} \left(- \frac{b_n}{a_n} \right)$$

Forma compleja de la Serie de Fourier.

Un número complejo: $Z = a + ib$

Donde:

Z.- Número complejo.

a.- Parte real.

ib.- Parte imaginaria siendo i la unidad imaginaria y es igual a: $\pm\sqrt{-1}$

De la identidad de Euler:

$$e^{-\theta i} = \text{Cos } \theta - i \text{ Sen } \theta$$

En forma polar: $Z = r e^{i\theta}$ donde r es el módulo de $Z = |Z| = \sqrt{a^2 + b^2}$ y $\theta = \text{ang tan}(b/a)$.

De lo anterior la serie de Fourier en términos complejos se expresa como:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} X_n e^{i n \omega_0 t} \quad \text{----Ec. (2.12)}$$

Para términos prácticos $f(t)$ es la función que representa una señal aleatoria, expresada como una serie compleja de Fourier, y X_n es el coeficiente complejo de Fourier.

$$X_n = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) e^{-i n \omega_0 t} dt \quad \text{----Ec. (2.13)}$$

Y si $X_n = |X_n| e^{-i\phi_n}$ se tiene:

$$X_n = \frac{1}{2} \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad \text{----Ec. (2.14)}$$

La solución convencional de algunos problemas puede ser muy larga y compleja, por lo que es común utilizar otros procedimientos para simplificar su cálculo; algunos de estos procedimientos son las transformaciones, como en el caso de el cociente de dos números en que se prefiere transformarlos obteniendo el logaritmo de cada uno para luego realizar una operación más simple a la división que es la resta y luego sacar el antilogaritmo del resultado, es decir la antitransformada.

A partir de la ecuación (2.12) se puede obtener la transformada de Fourier si se sustituye la frecuencia angular como $\omega_0 = 2\pi f_0$ donde $f_0 = \frac{1}{T}$

$$f(t) = X(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} X_n e^{in2\pi f_0 t} \quad \text{----Ec. (2.15)}$$

$$X_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} X(t) e^{-in2\pi f_0 t} dt \quad \text{----Ec. (2.16)}$$

Si se sustituye (2.16) en (2.15) y si se considera que el periodo T se aproxima a ∞ esto implica que $X(t)$, en la cual se sustituye la ecuación (2.16), se convierte en una función no periódica, y si por definición la frecuencia $= \frac{1}{T}$ y la sumatoria (2.15) se convierte en una integral en f se llega a:

$$X(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{\infty} X(t) e^{-i2\pi ft} dt \right] e^{i2\pi ft} df \quad \text{--Ec. (2.17)}$$

Si se define:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) e^{-i2\pi ft} dt \quad \text{----Ec. (2.18)}$$

De (2.17) se tiene:

$$X(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) e^{i2\pi ft} df \quad \text{----Ec. (2.19)}$$

A la función $X(f)$ dada por la ecuación (2.18) se le conoce como transformada de Fourier de $X(T)$ y la (2.19) como la transformada inversa o antitransformada de Fourier.

En general se entiende por transformada a la regla o criterio que asocia a cada elemento de un conjunto A, uno y solo un elemento de un conjunto B (estos conjuntos son no vacíos y deben ser espacios vectoriales definidos sobre un campo), es decir se hace un cambio de dominio.

En este caso la ecuación (2.18) transforma a la función $X(t)$ que se encuentra en el dominio del tiempo, en su función equivalente $X(f)$ en el dominio de la frecuencia.

La ecuación (2.18) representa la ecuación continua de Fourier y es -- válida para una longitud no finita, debido a la infinidad de muestras --- $X(t)$ que ésta origina y a lo laborioso del cálculo es necesario contar con una transformada de longitud finita que sea posible de computarizar.

Esta transformada se conoce como transformada discreta de Fourier la cual se deriva como un caso especial de la continua.

$$X_n = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} X_m e^{-2\pi i n m / N} \quad n = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

La función de densidad de potencia espectral se define como:

$$S_{f_n} = X_n \bar{X}_n = |X_n|^2$$

Al obtener el espectro de una señal se escoge una muestra que se con

sidere representativa del fenómeno, de ésta se obtiene el tiempo de muestreo (T_d) y el número de puntos por discretizar (N), donde el incremento de tiempo entre cada punto está dado por:

$$\Delta t = \frac{T_d}{N}$$

El ancho de banda proporciona el intervalo de frecuencia correspondiente al tiempo de muestreo, su relación está dada por:

$$\text{Ancho de Banda} = \frac{N}{T_d} = \frac{1}{\Delta t}$$

De donde se puede obtener el incremento de frecuencia como:

$$\Delta f = \frac{1}{T_d} = \frac{1}{N \Delta t}$$

El ángulo de fase es:

$$\theta_n = \text{tg}^{-1} \left(- \frac{X_n \text{ real}}{X_n \text{ imag.}} \right)$$

Y las componentes $f(t)$ son:

$$f(t) = \sum_{i=1}^n A_i \text{ Sen} (2\pi f_i t + \theta_i)$$

El procedimiento de Cálculo de las componentes de la Serie se muestra en el Diagrama de Flujo número (2.6)

En conclusión, si se tiene un registro como el de la Fig.(2.9)

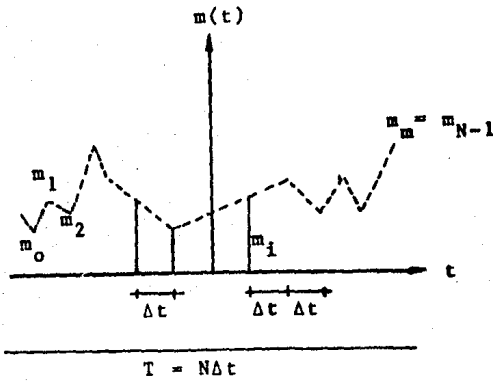


Fig. (2.9) Gráfica de los valores de un registro contra el tiempo.

Y se trata de llegar al espectro: (Ver fig. (2.10)).

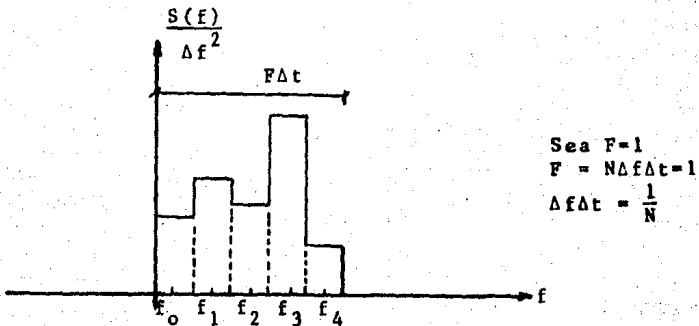
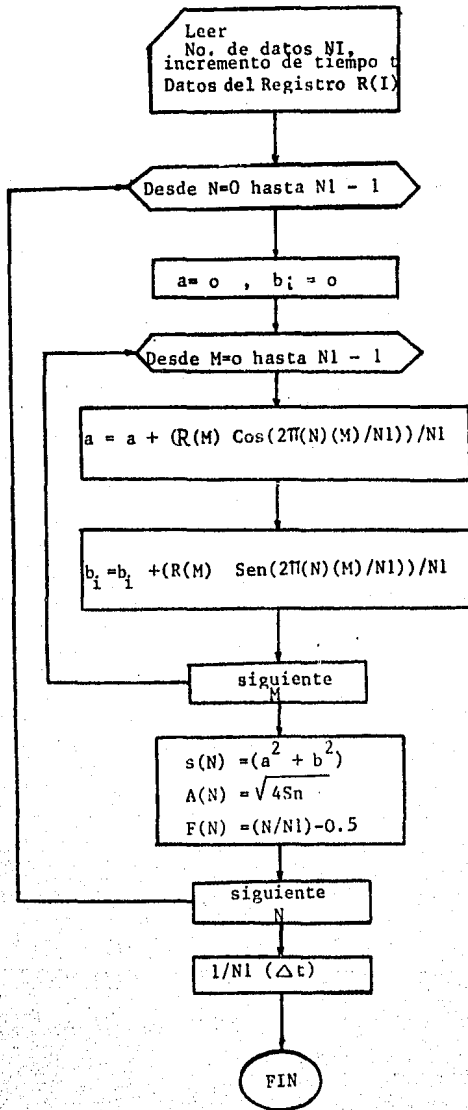


Fig. (2.10) Espectro del registro de la fig.(2.9).

Ver Diagrama de Flujo Número (2.6).



D.F. 2.6. Transformada de Fourier

El Algoritmo que se obtiene del Diagrama de Flujo (2.6) es:

- 1 Leer los datos del registro R(I), el número de dato N1, el incremento de tiempo entre datos del registro Δt .
- 2 Se inicia el cálculo desde que $N = 0$ hasta $N = N1-1$
- 3 Calcula la parte real a y la parte imaginaria b_i como

$$a = a + (R(M) \cos (2\pi NM/N1)) / N1$$
$$b_i = b_i + (R(M) \text{ Sen } (2\pi NM/N1)) / N1$$

Desde $M=0$ hasta $M=N1 - 1$

- 4 Calcula la densidad espectral como:

$$S_n = (a^2 + b_i^2)$$

Calcula la amplitud como:

$$A_n = (4 S_n)^{1/2}$$

La frecuencia como:

$$f_n = (N/N1) - 0.5$$

Cálculo del incremento de frecuencia como:

$$\frac{1}{\# \text{ Datos } (N1) \Delta t} = \Delta f$$

- 5 Resultados.
- 6 FIN

2.5 Regresiones y Ajustes.

Si se tiene una muestra de datos observados de las variables (x, y) se obtiene la gráfica de puntos mostrada en la Fig. (2.11)

Si dicha gráfica presenta cierta regularidad será posible trazar en la vecindad de los puntos una curva que trate de ajustarse lo mejor posible a las tendencias de la gráfica. La ecuación de dicha curva será la -

relación buscada entre x y y .

Para ello existen métodos algebraicos y se presentan algunos a continuación.

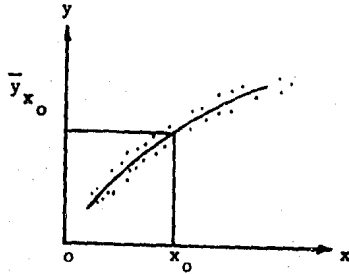


Fig. (2.11) Gráfica de pares ordenados de valores para obtener un ajuste.

2.5.1 Método de los mínimos cuadrados (polinómico)

Sea la función:

$$y = f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m$$

Cuya gráfica se presenta en la Fig. (2.12)

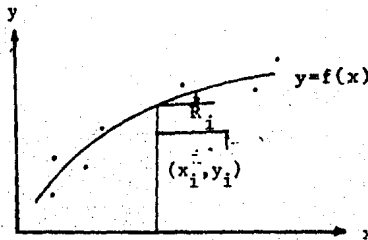


Fig. (2.12) Gráfica del Método de los Mínimos Cuadrados.

Siendo una curva suave que se acerca a la mayoría de los puntos. El residuo R_i es la diferencia de ordenadas de la curva para $x = x_i$ menos la del punto (x_i, y_i) y se tiene:

$$R_i = a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_m x_i^m - y_i$$

Donde: $i = 1, 2, 3, \dots, n$

El método de los Mínimos Cuadrados consiste en determinar los valores de $a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_m$

de manera que hagan mínima la suma de los cuadrados de los residuos. Esta suma vale:

$$\sum_{i=1}^n R_i^2 = \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_m x_i^m - y_i)^2$$

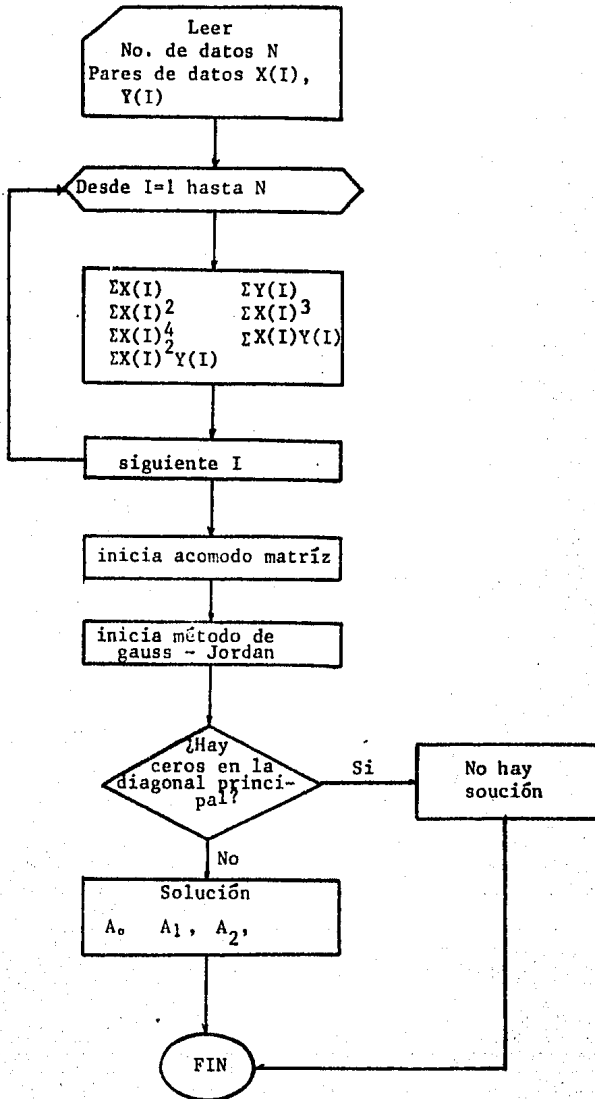
Igualando a cero sus primeras derivadas parciales con respecto a todos y cada uno de los parámetros se obtiene el mínimo de ésta. Así, derivando con respecto a a_j donde $j = 0, 1, 2, \dots, m$, se tiene:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial a_j} \sum_{i=1}^n R_i^2 &= \frac{\partial}{\partial a_j} \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_m x_i^m - y_i)^2 \\ &= \sum_{i=1}^n 2(a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_m x_i^m - y_i) x_i^j \end{aligned}$$

Igualando la derivada a cero se llega a:

$$a_0 \sum_{i=1}^n 1 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^{j+1} + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^{j+2} + \dots + a_m \sum_{i=1}^n x_i^{j+m} = \sum_{i=1}^n x_i^j y_i \quad (2.20)$$

Tomando $j = 0, 1, 2, \dots, m$ se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones normales.



D.F. 2.7 Método de los mínimos cuadrados

$$\begin{array}{r}
 n a_0 + a_1 \Sigma x + a_2 \Sigma x^2 + \dots + a_m \Sigma x^m = \Sigma y \\
 a_0 \Sigma x + a_1 \Sigma x^2 + a_2 \Sigma x^3 + \dots + a_m \Sigma x^{m+1} = \Sigma xy \\
 a_0 \Sigma x^2 + a_1 \Sigma x^3 + a_2 \Sigma x^4 + \dots + a_m \Sigma x^{m+2} = \Sigma x^2 y \\
 \vdots \\
 a_0 \Sigma x^m + a_1 \Sigma x^{m+1} + a_2 \Sigma x^{m+2} + \dots + a_m \Sigma x^{m+m} = \Sigma x^m y
 \end{array}$$

Sistema en el cual se quieren conocer los valores de $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$ y que se resuelve, en este caso, por el método de Gauss - Jordan.

(Ver Diagrama de Flujo Número (2.7))

El Algoritmo que se obtiene del Diagrama de Flujo (2.7) es:

1. Leer los datos: Número de datos (por parejas ordenadas); introducir los valores por parejas ordenadas.
2. Calcular la sumatoria de las x , de las y , de las x^2 , de las x^3 , de las x^4 , de las xy y de las $x^2 y$
3. Ordenar la matriz como:

$$\begin{bmatrix}
 n & \Sigma x & \Sigma x^2 & \Sigma y \\
 \Sigma x & \Sigma x^2 & \Sigma x^3 & \Sigma xy \\
 \Sigma x^2 & \Sigma x^3 & \Sigma x^4 & \Sigma x^2 y
 \end{bmatrix}$$

4. Resolver la Mat. por Método de Gauss - Jordan.
5. Si existe un cero en la diagonal principal no hay solución, si no lo hay continua.
6. Resultados, se obtienen los coeficientes a_0, a_1, a_2
7. Fin del Programa.

2.5.2 Ajuste Exponencial.

Si se tiene una serie de datos como los que se muestran en la ----
 Fig, (2.13)

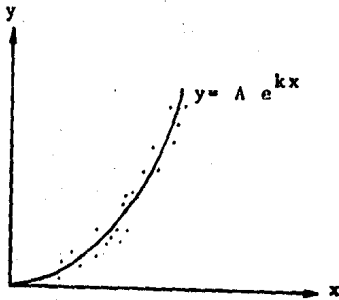


Fig. (2.13) Método de Ajuste Exponencial

Siendo $y = A e^{kx}$ la ecuación de ajuste

Transformando se tiene:

$$\ln y = \ln A + Kx$$

haciendo: $y' = \ln y$

$$\alpha = \ln A$$

$$x' = x$$

por lo tanto: $y' = \alpha + Kx$

Si hacemos: (Procedimiento similar que el Método de los Mínimos cuadrados).

$$\alpha = \frac{(\sum x'^2)(\sum y') - (\sum x')(\sum x'y')}{n \sum x'^2 - (\sum x')^2} \quad \text{---Ec. (2.21)}$$

$$K = \frac{n \sum x'y' - (\sum x')(\sum y')}{n \sum x'^2 - (\sum x')^2} \quad \text{---Ec. (2.22)}$$

Y por otro lado:

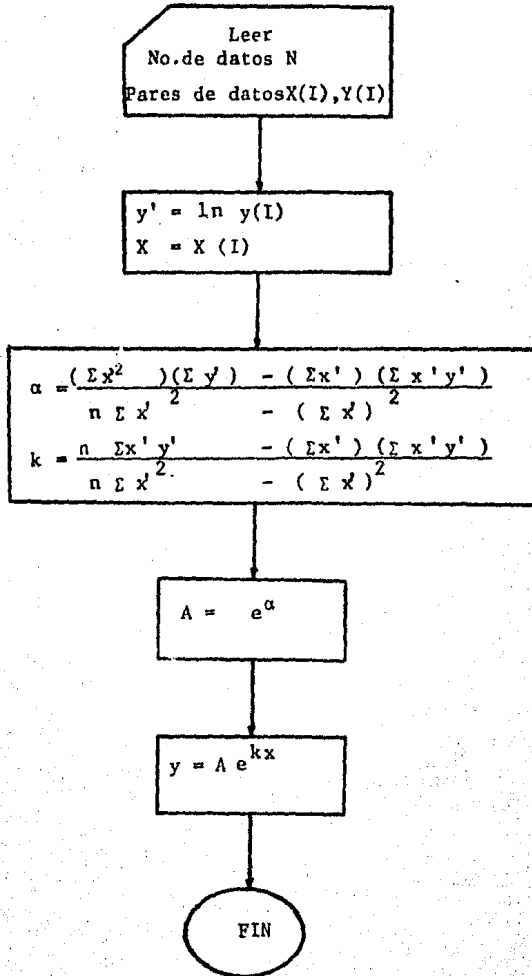
$A = \text{anti-log } \alpha$

$$A = e^\alpha$$

Por lo tanto:

$$y = A e^{kx}$$

(Ver diagrama de Flujo Núm. (2.8))



D.F. 2.8 Ajuste Exponencial

El Algoritmo que se obtiene del Diagrama de Flujo (2.8) es:

- 1 Leer el número de parejas ordenadas de datos que se tienen (n).
Introducir los valores por parejas ordenadas de valores.
- 2 Calcular los logaritmos naturales de todas las $y(I)$
- 3 Obtener las sumatorias de las x' , $x'y'$, x'^2 , y' y calcular α y K como se indica.
- 4 Obtener A como $A = e^\alpha$
- 5 La ecuación de ajuste es: $y = A e^{Kx}$
- 6 FIN

2.5.3 Ajuste Logarítmico.

Si se tiene una serie de datos que graficados tienen la forma de la Fig. (2.14).

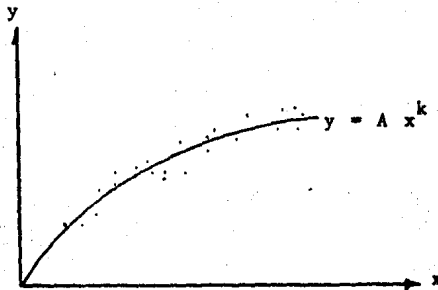
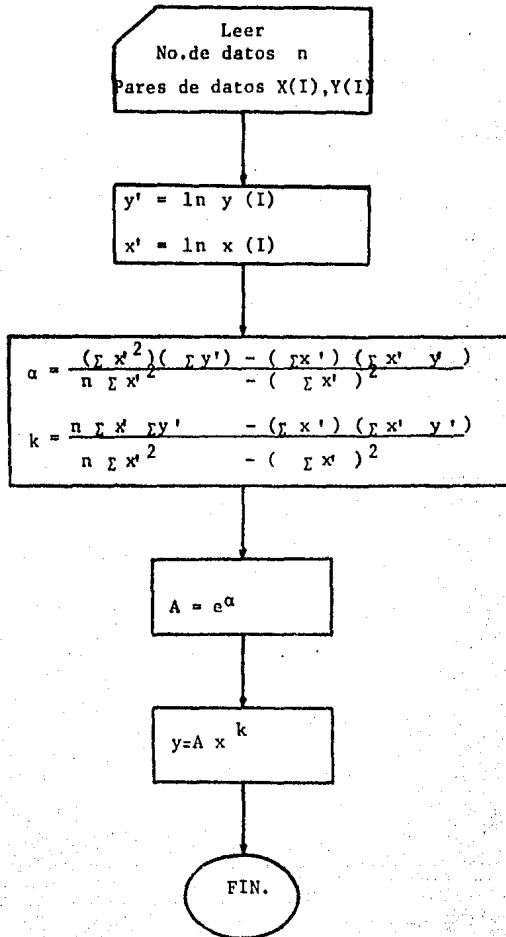


Fig. (2.14) Método de Ajuste Logarítmico.

Donde $y = A x^k$ sea la ecuación de ajuste.

Tomando logaritmos en ambos miembros de la ecuación:

$$\ln y = \ln A + k \ln x$$



D.F. 2.9 Ajuste Logar

Haciendo: $y' = \ln y$
 $\alpha = \ln A$
 $x' = \ln x$

Se llega a:

$$y' = \alpha + kx'$$

Al igual que en el ajuste exponencial:

$$\alpha = \frac{(\sum x'^2)(\sum y') - (\sum x')(\sum x'y')}{n \sum x'^2 - (\sum x')^2} \quad \text{---Ec. (2.23)}$$

$$k = \frac{n \sum x'y' - (\sum x')(\sum y')}{n \sum x'^2 - (\sum x')^2} \quad \text{---Ec. (2.24)}$$

Por otro lado: $A = \text{anti-log } \alpha$ Por lo tanto: $A = e^\alpha$

Y por lo tanto $y = A x^k$

(Ver diagrama de Flujo Núm. (2.9))

El Algoritmo que se obtiene del Diagrama de Flujo (2.9) es:

- 1 Leer el número de parejas ordenadas de datos que se tienen (n).
Introducir los valores por parejas ordenadas .
- 2 Calcular los logaritmos naturales de todas las $y(I)$ y de todas las $x(I)$
- 3 Obtener las sumatorias de las x' , $x'y'$, x'^2 , y' y calcular α y k como se indica.
- 4 Obtener A como $A = e^\alpha$
- 5 La ecuación de ajuste es: $y = A x^k$

2.5.4 Ajuste No Lineal.

Si se tiene una serie de datos como los graficados en la Fig.(2.15)

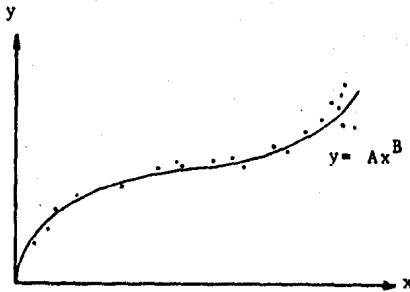


Fig.(2.15) Método de Ajuste No Lineal.

Donde $y = A x^B$ es la ecuación de ajuste.

Tomando logaritmos en ambos miembros de la ecuación:

$$\ln y = \ln A + k \ln x$$

$$y' = \ln y$$

$$\alpha = \ln A$$

$$x' = \ln x'$$

$$\text{Se llega a } y' = \alpha + kx'$$

Al igual que en el ajuste exponencial:

$$\alpha = \frac{(\sum x'^2)(\sum y') - (\sum x')(\sum x'y')}{n \sum x'^2 - (\sum x')^2} \quad \text{----Ec. (2.25)}$$

$$k = n \frac{\sum x'y' - (\sum x')(\sum y')}{n \sum x'^2 - (\sum x')^2} \quad \text{----Ec. (2.26)}$$

Por otro lado: $A = \text{anti-log } \alpha$ Por lo tanto $A = e^\alpha$

Pero en este caso A y k son solo valores que se requieren para iniciar un proceso iterativo que parte de lo siguiente:

Empleando el método de los mínimos cuadrados, esto es, minimizar los errores dados por:

$$\epsilon = \sum_{i=1}^n (y_i - a x_i^b)^2$$

Al obtener las derivadas parciales con respecto a a y b de la expresión anterior e igualarlas a cero se obtienen las ecuaciones normales que forman un sistema no lineal de dos ecuaciones con dos incógnitas de la forma:

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial a} = \sum_{i=1}^n (y_i - a x_i^b) (x_i^b) = 0$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial b} = \sum_{i=1}^n (y_i - a x_i^b) (x_i^b \ln x_i) = 0$$

Haciendo $f_1 = \frac{\partial \epsilon}{\partial a}$ y $f_2 = \frac{\partial \epsilon}{\partial b}$ el sistema queda:

$$f(x) \begin{cases} f_1(a,b) = \sum_{i=1}^n (y_i - a x_i^b) (x_i^b) = 0 \\ f_2(a,b) = \sum_{i=1}^n (y_i - a x_i^b) (x_i^b \ln x_i) = 0 \end{cases}$$

Calculando el Jacobiano del sistema:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial a} & \frac{\partial f_1}{\partial b} \\ \frac{\partial f_2}{\partial a} & \frac{\partial f_2}{\partial b} \end{bmatrix}$$

En este caso:

$$\frac{\partial f_1}{\partial a} = - \sum_{i=1}^n (x_i^{2b})$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial b} = \sum_{i=1}^n (x_i^b \ln x_i) (y_i - 2a x_i^b)$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial a} = - \sum_{i=1}^n (x_i^{2b} \ln x_i)$$

$$\frac{\partial f}{\partial b} = \sum_{i=1}^n x_i^b (\ln x_i)^2 (y_i - 2ax_i^b)$$

Sean a_0 y b_0 los valores iniciales supuestos de las variables (A, k) , los nuevos valores a_1 y b_1 se calculan resolviendo el siguiente sistema:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial a} & \frac{\partial f_1}{\partial b} \\ \frac{\partial f_2}{\partial a} & \frac{\partial f_2}{\partial b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 - a_0 \\ b_1 - b_0 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} f_1(a_0, b_0) \\ f_2(a_0, b_0) \end{bmatrix}$$

Finalmente:

$$a_1 \frac{\partial f_1}{\partial a} + b_1 \frac{\partial f_1}{\partial b} = -f_1(a_0, b_0) + a_0 \frac{\partial f_1}{\partial a} + b_0 \frac{\partial f_1}{\partial b} \quad (2.27)$$

$$a_1 \frac{\partial f_2}{\partial a} + b_1 \frac{\partial f_2}{\partial b} = -f_2(a_0, b_0) + a_0 \frac{\partial f_2}{\partial a} + b_0 \frac{\partial f_2}{\partial b} \quad (2.28)$$

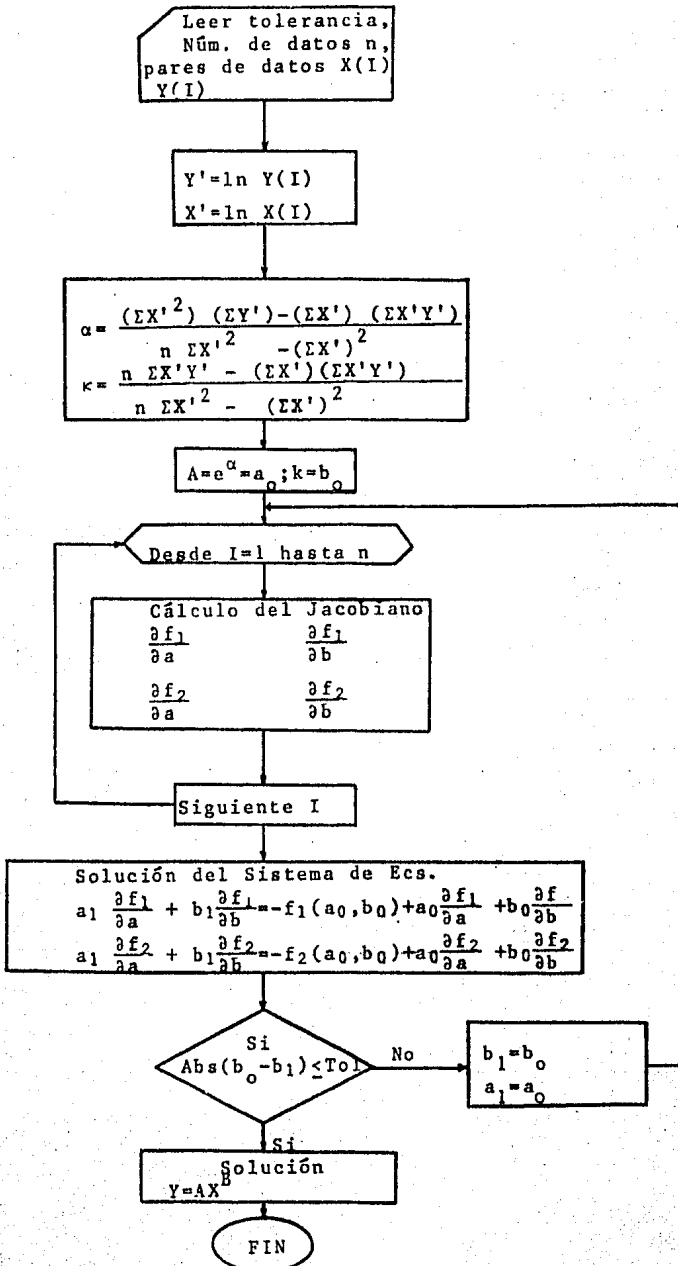
En las dos expresiones anteriores las derivadas parciales se valúan en a_0 y b_0 al igual que las funciones f_1 y f_2 ; resolviendo el sistema se encuentran los valores a_1 y b_1

Conocidos a_1 y b_1 se sustituyen por a_0 y b_0 en el sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} a_1 &= a_0 \\ b_1 &= b_0 \end{aligned}$$

Se resuelve el sistema de ecuaciones y se obtienen los nuevos a_1 y b_1 . El procedimiento se repite hasta que la diferencia entre una y otra iteración no sea significativa.

Ver Diagrama de Flujo Número (2.10)



El Algoritmo que se obtiene del Diagrama de Flujo (2.10) es el siguiente:

- 1 Leer los datos: Tolerancia, número de parejas ordenadas de datos que se tienen (n); introducir los valores por parejas ordenadas.
- 2 Calcular los logaritmos naturales de todas las y(I) y de todas las x(I)
- 3 Obtener las sumatorias de x^k , $x^k y^k$, x^{2k} , y^k y calcular a y k como se indica
- 4 Obtener A como $A = e^a$ y hacer $A = a_0$ y $k = B$ y $B = b_0$
- 5 Se resuelve el Jacobiano como:

$$\frac{\partial f_1}{\partial a} = - \sum_{i=1}^n (x_i^{2b}) \quad , \quad \frac{\partial f_1}{\partial b} = \sum_{i=1}^n (x_i^b \ln x_i) (y_i - 2ax_i^b)$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial a} = - \sum_{i=1}^n (x_i^{2b} \ln x_i) \quad \frac{\partial f_2}{\partial b} = \sum_{i=1}^n x_i^b (\ln x_i)^2 (y_i - 2ax_i^b)$$

- 6 Se arma el sistema de ecuaciones como se indica de acuerdo al resultado del Jacobiano y se obtienen los valores a_1 y b_1 . Conocidos a_1 y b_1 se sustituyen en el sistema por a_0 y b_0
- 7 Se resuelve el sistema de ecuaciones y se obtienen los nuevos a_1 y b_1
- 8 Si la diferencia en valor absoluto de $(b_1 - b_0) \leq \text{Tol}$ el procedimiento termina y se tiene la solución -----
 $y = a x^b$
- 9 Si no $b_1 = b_0$ y se regresa al paso 4.

C A P I T U L O - I I I .

III.0.0. PLANTEAMIENTO HIDRAULICO

3.1. FLUJO EN CONDUCTOS CERRADOS
(TUBERIAS A PRESION).

3.2. FLUJO A SUPERFICIE LIBRE
(CANALES).

3.3. TEMAS AFINES.

III.0.0 PLANTEAMIENTO HIDRAULICO.

Es en este capítulo donde se van a relacionar, los métodos presentados anteriormente con algunos de los problemas dentro de la Hidráulica, esto es, el fin que se persigue es explicar dichos problemas para que a partir de las características de cada uno de ellos se pueda hacer uso de los Métodos Numéricos del Capítulo anterior.

En la primera parte se estudia el flujo en conductos a presión (tuberías), en la segunda el flujo a superficie libre (canales) y, por último, algunos temas de Hidrología y sobre aprovechamientos Hidráulicos.

Los temas que se van a presentar se han dividido de acuerdo con el tipo de flujo que se presenta; en consecuencia a continuación se presenta una breve clasificación de flujos:

Los Flujos se clasifican de la siguiente forma:

a) En cuando a su viscosidad se tiene:

--Flujo Laminar.- Se caracteriza porque el fluido se mueve en láminas paralelas.

--Flujo Turbulento.- Se caracteriza porque el fluido sigue trayectorias muy irregulares.

b) En cuanto a su aceleración local (respecto al tiempo).

--Flujo Permanente.- Las condiciones en cualquier punto del escurrimiento no cambian con respecto al tiempo.

--Flujo No Permanente.- Las condiciones en cualquier punto del escurrimiento cambian con respecto al tiempo.

c) En cuanto a su aceleración convectiva (respecto al espacio).

--Flujo Uniforme.- Se caracteriza porque la velocidad en cualquier sección transversal al escurrimiento es la misma en puntos iguales.

--Flujo No Uniforme.- Ocurre cuando la velocidad varía de un lugar a otro del escurrimiento para un instante dado.

d) En cuanto a la forma del escurrimiento.

--A Presión.- Se presenta cuando el conducto por donde circula fluido se encuentra totalmente lleno

--A Superficie Libre.- Se presenta cuando el conducto por donde circula el fluido no está totalmente lleno y presenta una superficie expuesta a la presión atmosférica.

3.1. Flujo en Conductos Cerrados (tuberías a presión).

Uno de los problemas más interesantes de la hidráulica es el flujo en tuberías, que, además de tener un gran número de variantes cuenta con numerosas teorías y se presenta con frecuencia al Ingeniero Hidráulico. Los temas que aquí se tratan están relacionados entre sí. El primero se refiere al diseño del diámetro en tuberías, después se trata el problema del Golpe de Ariete y la Teoría de las Cámaras de Oscilación, de tal forma que con el cálculo del Golpe de Ariete se presenta una manera de atacar el efecto por medio de las Cámaras. Por último se presenta el problema del cálculo de Redes Cerradas y para ello se hace uso del método de Gauss-Seidel para resolver sistemas de ecuaciones.

3.1.1 Diseño del Diámetro de Conducción.

Este es un problema que parte del estudio de la resistencia al flujo en conductos a presión, es decir, se refiere a la obtención de las pérdidas de energía debidas a la fricción y las pérdidas locales. Para iniciar el estudio primero se debe distinguir entre un Flujo Laminar y un Flujo Turbulento. Osborne Reynolds estableció un criterio para ello, mediante el número que lleva su nombre, el cual permite evaluar la importancia de las fuerzas viscosas sobre las de inercia.

En el caso de un conducto cilíndrico a presión, el número de Reynolds se define como:

$$R_e = \frac{VD}{\nu}$$

donde:

V = Velocidad media.

D = Diámetro del conducto.

ν = Viscosidad cinemática.

Otro aspecto que interviene es la rugosidad del tubo o del conducto, siendo la altura media de las asperezas que presenta la superficie del conducto la rugosidad absoluta ϵ y, la relación (ϵ/D) se conoce como rugosidad relativa.

Para el cálculo de la Pérdida de Energía se hará uso de la fórmula de Darcy-Weisbach por las facilidades que presenta para el problema en cuestión. Esta fórmula se obtuvo experimentalmente en 1850 y sirve para calcular la pérdida de energía por fricción en una tubería.

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

donde:

V = velocidad media

h_f = pérdida por fricción, en m.

f = factor de fricción adimensional.

g = aceleración de la gravedad, en m/seg².

D = diámetro del conducto, en m.

L = longitud del tubo, en m.

La pendiente de fricción (S_f) representa la relación entre la pérdida de energía y la longitud del tubo, se puede expresar como:

$$S_f = \frac{h_f}{L} = \frac{f}{D} \frac{V^2}{2g}$$

El factor de fricción es una función de la rugosidad ϵ y del número de Reynolds en el tubo, esto es:

$$f = f(\epsilon, Re)$$

El factor de fricción en flujo laminar se puede determinar a partir de la ecuación de Poiseville.

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{VD/\nu}$$

la cual es válida para tubos lisos o rugosos siempre y cuando el número de Reynolds no sea mayor que 2300.

Para el caso de la transición de flujo laminar a flujo turbulento Colebrook y White presentaron una fórmula empírica basada en los resultados de Nikuradse para la obtención del coeficiente de fricción directamente en tubos comerciales, en los cuales la rugosidad se caracteriza por un valor medio el cual depende de las características del tubo. La fórmula de Colebrook y White es la siguiente:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

Moody preparó un diagrama para determinar el coeficiente de fricción f en tuberías de rugosidad comercial que transportan cualquier líquido basándose en los resultados de Colebrook y White.

Para el caso del flujo turbulento $R > 6000$ (no es que se establezca un límite, ya que en realidad no existe, pero se hace con fines prácticos):

$$1/\sqrt{f} = 2 \log \frac{3.71 D}{\epsilon}$$

Dado que las tuberías de conducción por lo general están compuestas por tramos rectos y curvas para ajustarse a la topografía del terreno, así como de diferentes dispositivos para la descarga (válvulas y compuertas) se considera que existen otro tipo de pérdidas diferentes a las de fricción, las cuales se conocen como pérdidas locales, las cuales se localizan en el mismo sitio donde se altera el flujo, es decir, por el cambio de geometría o por la existencia de diferentes dispositivos. Estas pérdidas se expresan en magnitud como una fracción de la carga de velocidad, inmediatamente aguas abajo del sitio donde se produjo la pérdida; la fórmula general es:

$$h = K \frac{v^2}{2g}$$

donde:

h = pérdida de energía, en m.

K = coeficiente adimensional que depende del tipo de pérdida que se trate, del número de Reynolds y de la rugosidad del tubo.

$V^2/2g$ = carga de velocidad aguas abajo de la alteración del flujo en m.

Para efectos del problema que es diseño del diámetro de conducción las pérdidas locales que se consideran son las siguientes:

I.- Pérdida por entrada.

Debido a la entrada de las tuberías se produce una pérdida por el efecto de contracción de la vena líquida y la formación de zonas de separación. El coeficiente K depende, de la forma de la entrada. (Ver referencia No. 11).

2.- Pérdida por rejilla.

Para evitar el paso de cuerpos sólidos en las tuberías se utilizan estructuras de rejillas formadas por barras o soleras generalmente espaciadas, las cuales obstaculizan el flujo, produciendo de esta manera una pérdida de energía: según como estén colocadas las rejillas depende el valor del coeficiente K de pérdida, para nuestro caso solo se contemplan las rejillas sumergidas totalmente y, para valuar aproximadamente el valor de K se usa la fórmula de Creager:

$$K = 1.45 - 0.45 (A_n/A_b) - (A_n/A_b)^2$$

donde:

A_n = Area neta de paso entre rejillas.

A_b = Area bruta de la estructura de rejillas.

3.- Pérdida por cambio de dirección.

Ante un cambio de dirección existe una modificación en la distribución de velocidades y se producen zonas de separación en el lado interior y aumentos de presión en el exterior, con un movimiento espiral que persiste en una distancia de 50 veces el diámetro; lo anterior se debe a que las láminas del flujo -- tienden a conservar su movimiento rectilíneo en razón a su inercia. Para facilitar el problema los coeficientes de pérdida -- que se consideran se han obtenido de la figura 8.18 de la referencia (11), únicamente para el caso de codos de 90° roscado regular y roscado de radio grande, codos de 90° con bridas regular y de radio grande; codos de 45° roscado normal y de gran radio con bridas.

4.- Pérdida por válvulas.

La pérdida de energía por válvulas depende del tipo de las mismas y de la posición. Los coeficientes de pérdida deben ser proporcionados por los fabricantes. Los tipos de válvula que en este trabajo se consideran son: válvula de compuerta, válvu-

la esférica y válvula check; los valores de los coeficientes se obtuvieron de la figura 8.30 de la referencia (11).

Observemos la siguiente figura:

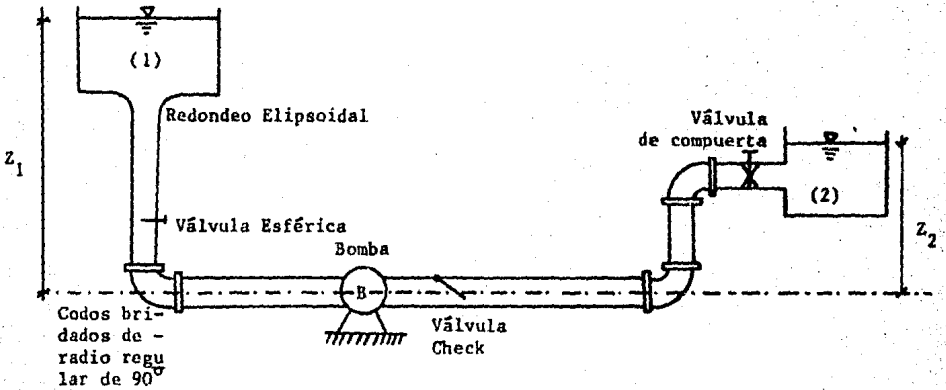


Fig. (3.1) Sistema de una Línea de Conducción.

Si aplicamos la ecuación de la energía entre las secciones (1) y (2)

$$z_1 + H_B = z_2 + \sum_1^2 h_f \quad \dots\dots\dots 3.1$$

$$z_1 + H_B = z_2 + \frac{v^2}{2g} \left(\Sigma K + f \frac{L}{D} \right)$$

$$z_1 - z_2 + H_B = \frac{v^2}{2g} \left(\Sigma K + f \frac{L}{D} \right)$$

Despejando la carga de velocidad:

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{z_1 - z_2 + H_B}{\left(\Sigma K + f \frac{L}{D} \right)} \quad \dots\dots\dots 3.2$$

Por continuidad: $V = \frac{Q}{A}$ y por ser sección circular $A = \frac{\pi D^2}{4}$

Sustituyendo en 3.2:

$$\frac{16 Q^2}{2g \pi^2 D^4} = \frac{Z_1 - Z_2 + H_B}{(\Sigma K + f \frac{L}{D})} \dots\dots\dots 3.3$$

Despejando el diámetro del primer miembro de la ecuación 3.3, tenemos:

$$D = \sqrt[4]{\frac{8 Q^2 (\Sigma K + f L/D)}{\pi^2 g (Z_1 - Z_2 + H_B)}} \dots\dots\dots 3.4$$

Siendo la ecuación que se propone para resolver por interacciones sucesivas y en donde:

- D = Diámetro de la conducción.
- Q = Gasto de diseño.
- f = Factor de fricción.
- L = Longitud total de la conducción
- H_B = Carga de la bomba o turbina.
- ΣK = Sumatoria de las pérdidas locales.
- g = Aceleración de la gravedad igual a 9.81 m/seg²
- Z₁ = Elevación inicial.
- Z₂ = Elevación final.

Cabe aclarar que en este caso estamos hablando como máquina hidráulica de una bomba y por tanto la carga de esta se suma al primer miembro de la ecuación (3.1). por el contrario, si se tratara de una turbina la carga se restaría.

En el caso de una turbina:

$$\text{Potencia} = \frac{\gamma Q n H_t}{75 \times 100}$$

De una bomba:

$$\text{Potencia} = \frac{\gamma Q H_B}{\eta \cdot 75} \quad (100)$$

Donde en ambas ecuaciones:

γ = Peso específico del agua.

Q = Gasto.

η = Eficiencia.

H_t = Carga de Turbinación.

H_B = Carga de bombeo.

La potencia para este caso está dada en caballos de vapor.

(Ver Diagrama de Flujo (3.1)).

El Algoritmo que resulta del Diagrama de Flujo (3.1) es:

- 1.- Leer los datos para el diseño: Gasto, elevación final e inicial, longitud del sistema, del agua, tipo de tubería, viscosidad.
- 2.- Si hay accesorios locales, se introduce el tipo y número de accesorios que existan.
- 3.- Si hay máquinas Hidráulicas, lee la eficiencia y la potencia y clacula, dependiendo del tipo de máquina, la carga despejándola de las fórmulas de Potencia.
De no existir máquina hidráulica, se sigue a la siguiente instrucción.
- 4.- Se propone un diámetro para iniciar el método.

- 5.- Se calcula el área, la velocidad y el número de Reynolds; aquí se va a una subrutina para calcular la f de fricción dependiendo del número de Reynolds.
- 6.- Se calculan los coeficientes K de pérdidas, si es que - - existen accesorios locales.
- 7.- Se suman los coeficientes K de pérdidas.
- 8.- Se calcula un diámetro con la ecuación (3.4).
- 9.- Compara el diámetro propuesto con el calculado, si la diferencia es menor o igual a la tolerancia, el diámetro es el correcto, si no el diámetro propuesto ahora es el calculado y se inicia nuevamente en el paso 5.
- 10.- Fin del programa.

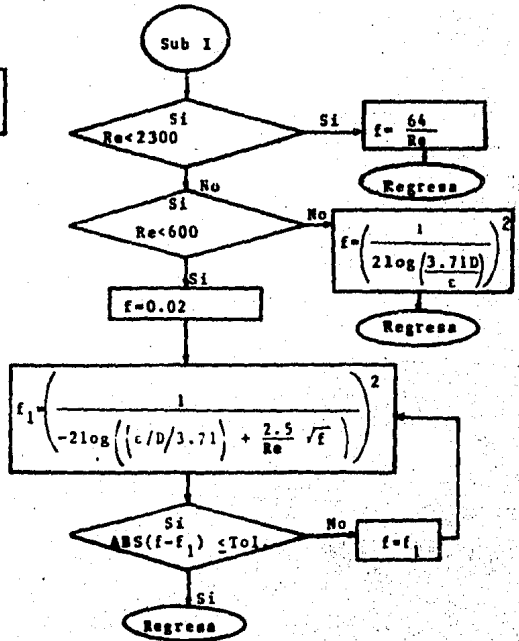
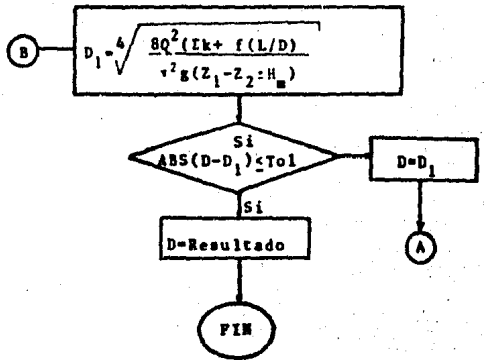
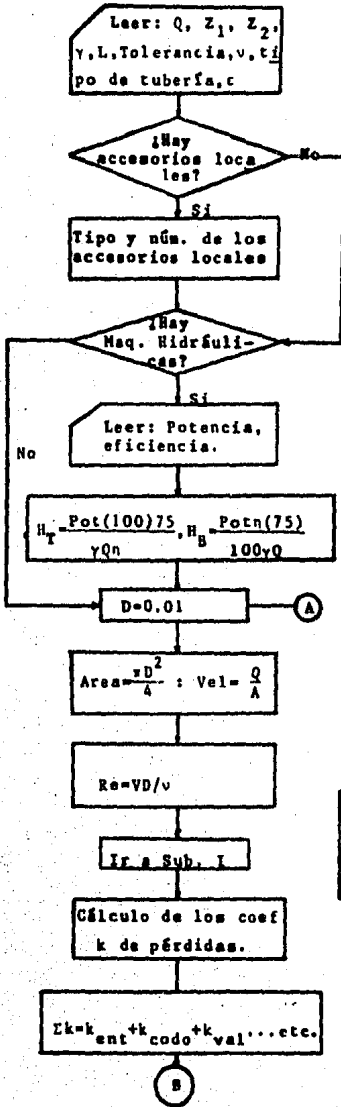


Diagrama de Flujo (3.1) Diseño del Diámetro de Conducción.

3.1.2 Golpe de Ariete.

Se define como Golpe de Ariete la transformación de la energía cinética del flujo dentro de una tubería, en energía de presión que se almacena momentáneamente en forma de trabajo de deformación para comprimir el líquido y expandir la tubería

La teoría para el análisis del Golpe de Ariete se basa en las siguientes hipótesis:

- a) Tanto el material de la tubería como el agua son -- totalmente elásticos.
- b) Principio de Conservación de la energía.

A continuación se muestra el Ciclo del Golpe de Ariete:

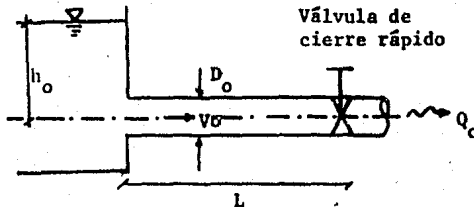


Fig. (3.2) Condiciones Normales.

donde:

- h_0 = carga en el embalse.
- D_0 = diámetro de la conducción.
- V_0 = velocidad en la conducción.
- Q = gasto.
- L = longitud de la tubería.

Primer Paso al Cierre Brusco de la Válvula.

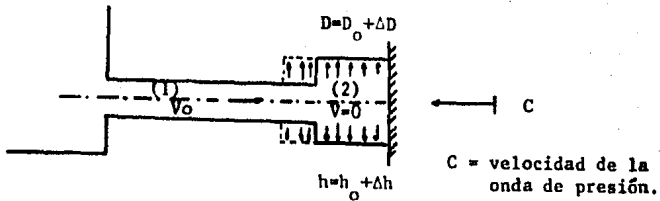


Fig.(3.3) Cierre. La onda va de la válvula al embalse. Se inicia la expansión de la tubería.

Al momento del cierre en la sección (2), la tubería se expande por lo que el diámetro es $D = D_0 + \Delta D$, la velocidad es cero y la presión debido al incremento es $h = h_0 + \Delta h$, mientras que en la sección (1) las condiciones iniciales se conservan.

En la siguiente figura la onda ya llegó al embalse y en toda la sección de la tubería se observa la expansión:

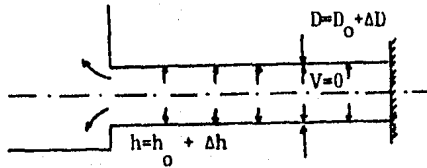


Fig. (3.4) La onda llega al embalse. Toda la tubería está expandida.

esto sucede para un tiempo de onda igual a $\frac{T}{2}$. Siendo -----
 $T = \text{tiempo de onda} = \frac{2L}{C}$ y C es la velocidad o celeridad de la onda de presión.

Segundo Paso.- La onda va del embalse a la válvula y se observa una recuperación en la conducción:

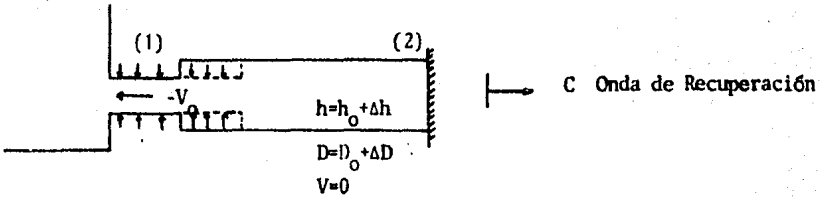


Fig. (3.5) La onda regresa. Se inicia la recuperación

De la Fig. (3.5), en la sección (1) se observa que la conducción tiene un diámetro $D = D_0$, la presión es $h = h_0$ y la velocidad se altera; en la sección (2) se observa la conducción aún deformada

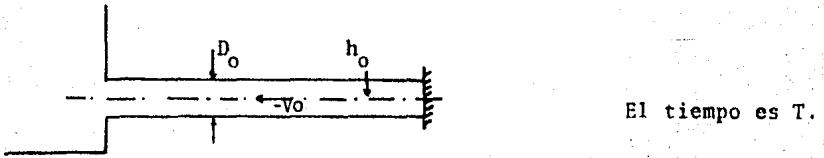


Fig. (3.6) La onda llega a la válvula. Se observa la recuperación.

En esta figura se observa ya la recuperación en toda la tubería así como el punto donde se presenta la máxima contracción en la válvula.

Tercer paso: La onda regresa nuevamente al embalse con lo que se inicia la depresión por succión, es decir, la tubería se contrae.

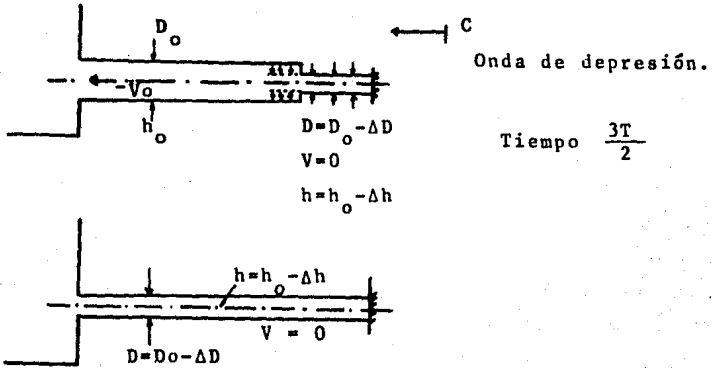


Fig. (3.7) La onda regresá al embalse.
Se inicia la succión.

Cuarto Paso.- La onda regresa del embalse a la válvula y se inicia la recuperación

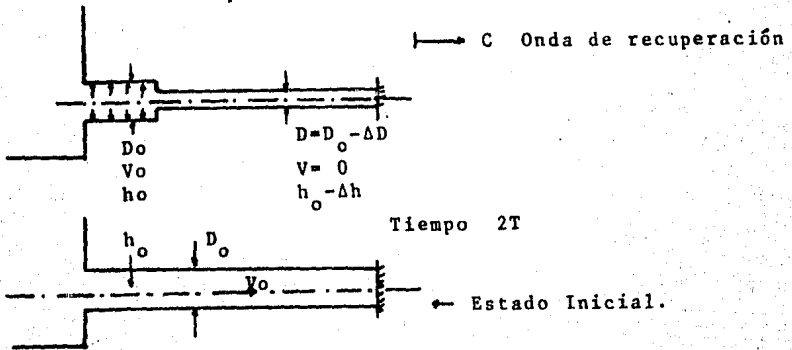


Fig. (3.8) La onda regresa a la válvula.
Nueva recuperación.

Con lo que se completa el ciclo.

Graficando el Ciclo se observa lo siguiente:

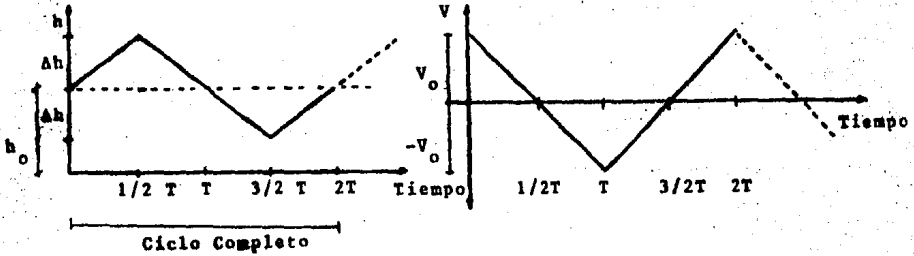


Fig. (3.9) Ciclo completo Golpe de Ariete.

Por otro lado las maniobras que se realizan con la válvula pueden ser de dos tipos:

- a) Rápidas o bruscas.- (El tiempo de cierre o apertura es menor que T (tiempo de onda)) Con lo que se produce el efecto de Joukovsky y es el más grande del Golpe de Ariete.
- b) Lentas.- (El tiempo de cierre o apertura es mayor que T). Con lo que se produce un efecto de menor intensidad que con una maniobra rápida.

Para obtener la sobrecarga debida a una maniobra brusca se parte de lo siguiente:

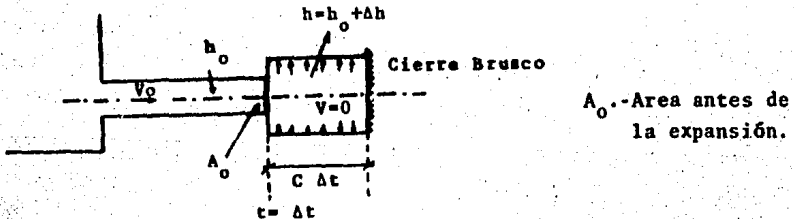


Fig. (3.10) Volumen de control para Análisis del Golpe de Ariete

Aplicando la Segunda Ley de Newton:

$$\Sigma F_x = ma_x$$

$$\gamma h_o A_o - \gamma(h_o + \Delta h)A_o = \frac{\gamma}{g} A_o C \Delta t \frac{0 - V_o}{\Delta t}$$

Para diferencias finitas hacemos A_o iguales en ambos miembros de la ecuación:

$$\Delta h = \frac{C V_o}{g} \quad \text{---Ec.} \quad (3.5)$$

Analizando el trabajo de deformación debido al agua y el trabajo de deformación en el acero ó material de la conducción dado que la energía cinética se transforma en trabajo de deformación se llega a:

$$\Delta h = \frac{V_o}{g} \frac{1}{\sqrt{\frac{\gamma}{g} \cdot \frac{1}{E_w} + \frac{D_o}{e E_s}}}$$

Donde:

Δh = es la sobrecarga debida al efecto del Golpe de Ariete.

V_o = es la velocidad en la conducción.

g = aceleración de la gravedad.

γ = peso específico del agua.

D = diámetro de la conducción.

E_w = módulo de elasticidad del agua.

E_s = módulo de elasticidad del material (en este caso acero)

e = espesor de la tubería.

Para la obtención de la sobrecarga debida a una maniobra lenta, se parte de resolver las ecuaciones diferenciales de Golpe de Ariete con el criterio propuesto por Allieri basadas en las fórmulas de Riemann; las cuales parten de la ecuación

de Continuidad y de la Ley de Impulso y Cantidad de Movimiento

Las ecuaciones a resolver son:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 h}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 V}{\partial t^2}$$

Y representan un sistema de 2º orden con dos incognitas.

La solución de Riemman es:

$$h = h_o + F\left(t - \frac{x}{c}\right) + f\left(t + \frac{x}{c}\right)$$

$$V = V_o - \frac{g}{c} \left[F\left(t - \frac{x}{c}\right) - f\left(t + \frac{x}{c}\right) \right]$$

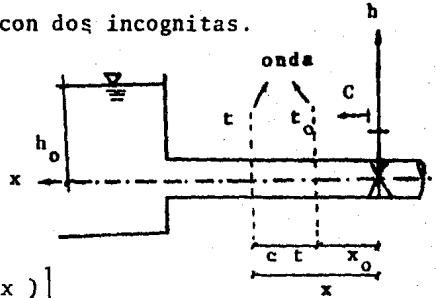


Fig. (3.11)

pero sin valuar F y f.

Allievi concluye que son ondas de presión que viajan a lo largo de la tubería donde F viaja de la válvula al almacenamiento y f del almacenamiento a la válvula. La solución que propone es la ecuación encadenada que lleva su nombre:

$$h_i + h_{i+1} - 2h_o = \frac{c}{g} (V_i - V_{i+1}) \quad \text{--Ec. (3.6)}$$

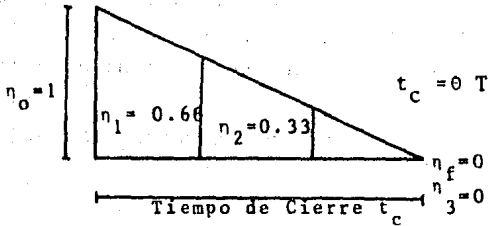
y que al relacionar los efectos de la válvula y del chorro se llega a:

$$\epsilon_i^2 + \epsilon_{i+1}^2 - 2 = e (\eta_i \epsilon_i - \eta_{i+1} \epsilon_{i+1})$$

Donde:

$$e = \frac{c V_o}{g h_o} \quad ; \quad \eta_i = \text{grado de abertura} \quad \epsilon_i = \sqrt{\frac{h_i}{h_o}} \quad \text{--(3.7)}$$

y esta ecuación se maneja a través de grados de apertura en forma lineal. Para el caso del cierre, por ejemplo $\theta = 3$



donde $\theta =$ factor de cierre

Fig. (3.12) Grados de apertura para cierre lineal.

Para el caso de apertura, por ejemplo $\theta = 4$

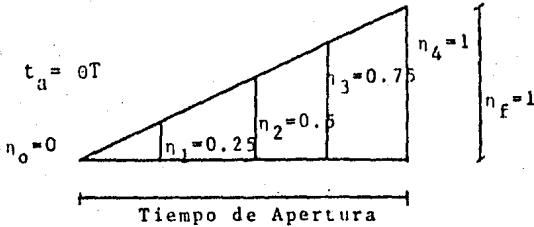


Fig. (3.13) Grados de apertura para apertura lineal.

Como ejemplo para comprobar la validez de la ecuación de Allievi se aplicará el caso de un cierre brusco:

$$\text{Para } \theta = 1, \quad \xi_0 = \sqrt{\frac{h_0}{h_0}} = 1$$

Y para el instante $i = 0$ $n_0 = 1$ y para $i = 1$ $n_1 = 0$

$$\xi_0^2 + \xi_1^2 - 2 = \epsilon (n_0 \xi_0 - n_1 \xi_1)$$

$$1 + \xi_1^2 - 2 = \frac{cV_0}{gh_0} (1(1) - 0)$$

$$\xi_1^2 - 1 = \frac{cV_0}{gh_0}$$

$$\frac{h_1}{h_0} - 1 = \frac{cV_0}{gh_0}$$

$$\frac{h_1 - h_0}{h_0} = \frac{cV_0}{gh_0}$$

$$\Delta h = h_1 - h_0 = \frac{cV_0}{g}$$

Por lo tanto: Se llega a la ecuación de Joukowsky con lo que se comprueba la validez de la ecuación de Allievi.

(Ver Diagrama de Flujo Num. (3.2))

El Algoritmo que se obtiene del Diagrama de Flujo (3.2) es el siguiente:

- 1 Leer los valores de las condiciones iniciales:
Velocidad, carga en el embalse, longitud de la tubería, espesor de la tubería, módulo de elasticidad del agua, aceleración de la gravedad, diámetro de la tubería, el módulo de elasticidad del acero.
- 2 Se calcula la celeridad como:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\frac{\gamma}{g} \frac{1}{Ew} + \frac{D_0}{eEx}}}$$

- 3 Se calcula el factor que interviene en la cadena de Allievi:

$$\epsilon = \frac{c V_0}{g h_0}$$

- 4 Se pregunta qué tipo de maniobra se va a trabajar.

- a) Cierre brusco.
- b) Cierre gradual.
- c) Cierre parcial.
- d) Apertura gradual.
- e) Apertura parcial.

5 Para cierre brusco la sobrepresión se obtiene como:

$$\Delta h = \frac{c V_0}{g}$$

- 6 Para los otros cuatro casos se lee el valor del factor de cierre θ . Si es cierre o apertura gradual, calcula los grados de abertura dependiendo del valor de θ y , si es cierre o apertura, con esos valores se inicia el cálculo de la cadena de Allievi (se va a 7)
- Si es cierre o apertura parcial además de leer θ , lee también el número de pasos i de la abertura, para con ello calcular los diferentes grados de abertura dependiendo del valor de i y θ así como también si es -- apertura o cierre; con esos valores se inicia el cálculo de la cadena de Allievi.
- 7 Se inicia el cálculo de la sobrecarga utilizando la solución en cadena de Allievi. Siempre se va a tener -- una ecuación de segundo grado completa y con una sola incognita.
- 8 Obtención de resultados. Fin.

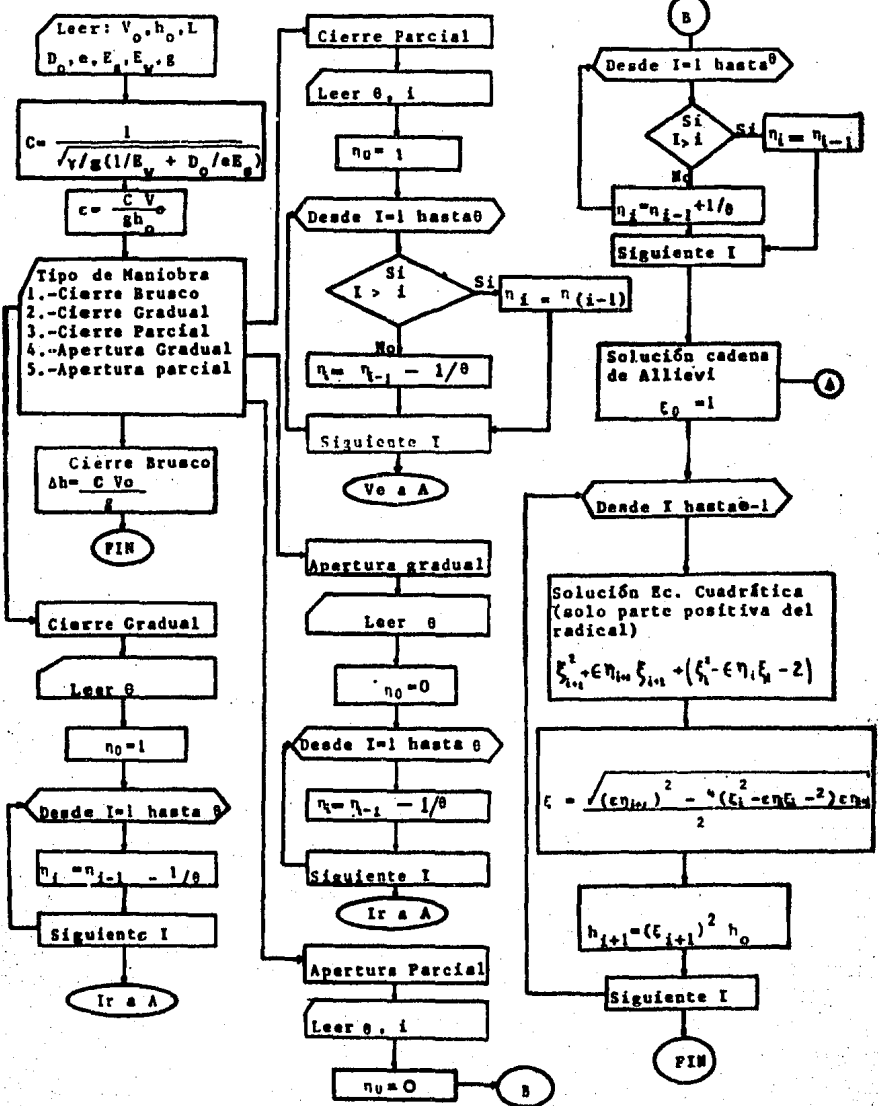


Diagrama de Flujo (3.2) Cálculo de Golpe de Ariste.

3.1.3 Cámaras de Oscilación.

Una cámara de oscilación tiene por objeto disminuir los efectos del Golpe de Ariete, que se presenta ante cualquier maniobra, efectuada ésta en la salida de la conducción; una cámara de oscilación se puede definir como un pozo piezométrico de sección amplia, de cualquier forma, conectado en su parte inferior a una galería de conducción.

Ante un cierre, el agua que fluye en la conducción es derivada hacia la cámara y el nivel en la misma sube; esta sobre-elevación genera un gradiente que frena el agua en la conducción, hasta invertir el sentido del flujo. El nivel en la Cámara baja y el sentido del flujo vuelve a invertirse. Estas oscilaciones son amortiguadas por efectos de fricción hasta establecerse un nuevo nivel de equilibrio.

Al mismo tiempo la cámara de oscilación actúa como un almacenamiento que provee de agua ante una maniobra de apertura brusca.

Las cámaras de oscilación pueden ser de distintos tipos en función a la capacidad que se requiera para disminuir los efectos del Golpe de Ariete, sobre todo en condiciones de conducción larga.

A continuación se presentan las ecuaciones fundamentales que rigen el transitorio en un sistema con cámara de oscilación. Para el planteamiento de las ecuaciones que rigen el fenómeno, se hacen las siguientes suposiciones:

- 1.- El líquido se considera incompresible y el material del conducto rígido.
- 2.- El efecto se debe exclusivamente a la conducción -

ante un cierre instantáneo.

- 3.- La inercia del líquido en la cámara es despreciable en comparación con la de la galería.
- 4.- Cualquier fórmula para valuar las pérdidas por fricción es válida durante el transitorio.

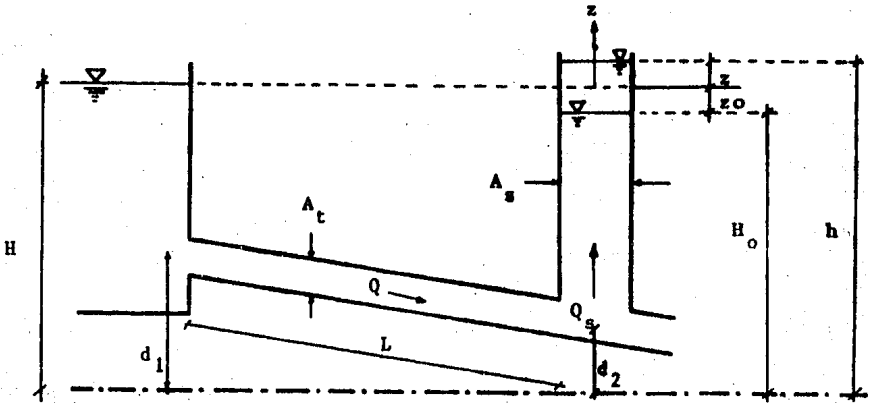
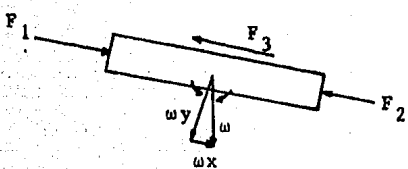


Fig. (3.14) Cámara de Oscilación.

Diagrama de cuerpo libre de la tubería.



$$F_1 = P_1 A_T$$

$$F_2 = P_2 A_T$$

$$F_3 = \text{Fricción}$$

$$x \omega_x = \omega \text{ Sen } \alpha = \gamma A_T L \text{ Sen } \alpha$$

donde: P_1 y P_2 son la presión en el punto (1) y (2) respectivamente.

A_T = Area de la tubería

L = Longitud de la tubería

γ = Peso específico del agua.

Z_0 = Pérdidas totales desde el embalse a la sección del pozo.

Aplicando la ecuación de Cantidad de Movimiento (2ª Ley de Newton):

$$\Sigma F_x = m a$$

$$F_1 + F_2 - F_3 = m a$$

Sustituyendo términos:

$$P_1 A_T + \gamma A_T L \operatorname{sen} \alpha - P_2 A_T - F_3 = A_T L \frac{\gamma}{g} \frac{dV}{dt}$$

Donde:

$$P_1 = \gamma(H - d_1)$$

$$P_2 = \gamma(h - d_2)$$

$$\operatorname{Sen} \alpha = \frac{d_1 - d_2}{L}$$

Entonces:

$$\gamma A_T \left[(H - d_1) - (h - d_2) \right] + \gamma A_T L \frac{d_1 - d_2}{L} - F_3 = A_T L \frac{\gamma}{g} \frac{dV}{dt}$$

$$\gamma A_T H - \gamma A_T d_1 - \gamma A_T h + \gamma A_T d_2 + \gamma A_T d_1 - \gamma A_T d_2 - F_3 = A_T L \frac{\gamma}{g} \frac{dV}{dt}$$

$$\gamma A_T (H - h) - F_3 = A_T L \frac{\gamma}{g} \frac{dV}{dt} \quad \text{---(3.8)}$$

Ahora: $F_3 = \pm C V^2$ donde C es el coeficiente de

fricción.

Dividiendo toda la ecuación (3.8) entre γA_T y haciendo:

$$C = \frac{c}{\gamma A_T} \quad \text{Se tiene:} \quad H - h \pm (-c) V |V| = \frac{L}{g} \frac{dV}{dt}$$

como: $V = \frac{Q}{A_T}$; $H - h \pm \frac{(-c)}{A_T^2} Q |Q| = \frac{L}{g A_T} \frac{dQ}{dt}$

Despejando: $\frac{dQ}{dt}$

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{g A_T}{L} \left[H - h \pm \frac{(-C)}{A_T^2} Q |Q| \right]$$

Pero: $Z = h - h$ variación del líquido en la cámara, por tanto

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{g A_T}{L} \left[-Z \pm \frac{C}{A_T^2} Q |Q| \right]$$

Esta es la ecuación dinámica del transitorio, donde los signos +/- indican el sentido del flujo en movimiento, esto es; (+) si el flujo se dirige del vaso al pozo, (-) si va del pozo al vaso.

Por otro lado, la ecuación de continuidad se basa en el principio de conservación de masa:

$$Q = Q_S + Q_{TP}$$

Donde:

Q = Gasto en la conducción.

Q_S = Gasto en la cámara de oscilación.

Q_{TP} = Gasto de salida.

también: $Q_S = A_S \frac{dz}{dt}$

por tratarse de cierre instantáneo: $Q_{TP} = 0$

Finalmente la ecuación de continuidad que se manejará es__

$$Q = Q_S = A_S \frac{dz}{dt}$$

donde $\frac{dz}{dt}$ es la velocidad dentro de la cámara.

Por lo tanto haciendo $F = \frac{z_o}{V^2}$ y cambiando las diferenciales por incrementos finitos, se llega a:

$$\Delta V = \frac{-g \Delta t}{L} (Z + F V^2) \quad \text{----Ec. (3.9)}$$

$$y \quad \Delta Z = + \frac{\Delta t A_p}{A_s} V + \frac{\Delta t}{A_s} \left[\frac{P_f}{\pi n (H_B + Z)} \right] \quad \text{---Ec. (3.10)}$$

(Ver diagrama de Flujo Num. (3.3))

El Algoritmo que se obtiene del Diagrama de Flujo (3.3) es el siguiente:

- 1 Leer los datos iniciales: Diámetro de la conducción, diámetro de la cámara, longitud de la conducción, incremento de tiempo, aceleración de la gravedad y coeficiente de rugosidad de Manning.
- 2 Cálculo de las áreas de la conducción y de la cámara como: $A = \frac{\pi D^2}{4}$, la velocidad en la conducción como $V = Q A$ y el radio hidráulico como $R_h = \frac{\text{Diam. Galería}}{h}$
- 3 Cálculo de las pérdidas $z_o = h_f = \left(\frac{V_n}{R_h^{2/3}} \right)^2 L$
- 4 Cálculo de factor F como: $F = \frac{z_o}{V^2}$
- 5 Cálculo del incremento de velocidad para un instante dado como:

$$\Delta V = \frac{g \Delta t}{L} + (Z(I) + FV(I)^2)$$

- 6 Cálculo de la velocidad para el siguiente intervalo - I + 1 partiendo de las condiciones ya conocidas en el punto anterior como $V(I + 1) = V(I) + \Delta V$
- 7 Si el cierre es total calcula la variación del nivel en la cámara ΔZ como: $\Delta Z = \frac{\Delta t \cdot A_g}{A_s} \Delta V$, si el cierre es

parcial se introducen los valores de carga de generación (H_B), eficiencia de generación η y el porcentaje de cierre (% C) y ΔZ se calcula como:

$$\Delta Z = \frac{\Delta t \cdot A_g}{A_s} V - \frac{\Delta t}{A_s} \left[\frac{P_f}{\gamma \eta (H_B + Z)} \right]$$

siendo P_f la potencia al freno y es:

$$P_f = \gamma Q (H_B - Z_0) \eta (\% \text{ Cierre})$$

- 8 Calcula el nivel en la cámara para el siguiente intervalo I + 1 partiendo de las condiciones ya conocidas en el punto anterior como:
 $Z(I + 1) = Z(I) + \Delta Z$
- 9 Obtención de resultados: Nivel en la cámara y velocidad en la conducción para cada intervalo.
- 10 Fin del programa.

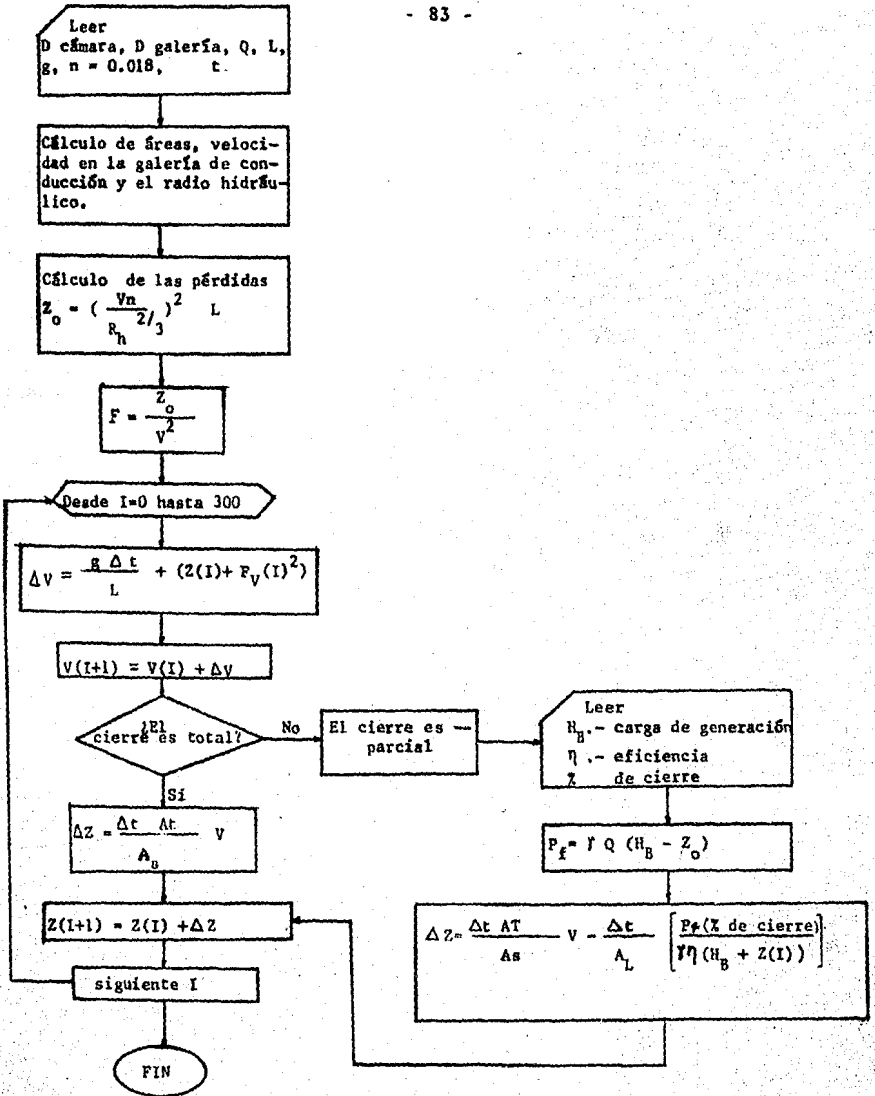


Diagrama de Flujo (3.3) Cámaras de Oscilación.

3.1.4 Redes Cerradas.

Una red cerrada es aquella que esta formada por un sistema de tubos los cuales se cierran formando circuitos. Como ejemplo tenemos los sistemas de distribución de agua potable.

Las ecuaciones en las que se basa el análisis del flujo a travez de las redes de tubos son:

- 1.- La ecuación de continuidad en cada nudo:

$$Q_i = \sum Q_j \quad \text{----Ec. (3.11)}$$

Donde:

Q_i = Gasto suministrado en el nudo i

$\sum Q_j$ = Suma algebraica de los gastos que entran o salen por los tubos j concurrentes al nudo i .

- 2.- La ecuación de conservación de la energía:

$$h_c - h_f = KQ^2 \quad \text{----Ec. (3.12)}$$

Donde:

h_c y h_f Son niveles piezométricos en los nudos extremos de un tubo:

$$h_f = K L Q^2$$

$$K = 10.293 \frac{n^2}{1673 \phi} \quad (\text{Constante normas agua - potable SAHOP}).$$

K = Constante función de la n (que a su vez es función del diámetro, de la n de Manning) y de la longitud.

$$K = kL$$

Q = Gasto en el tubo.

Se observa que $h_c - h_f$ es una función de Q y se puede escribir como:

$$f(Q) = h_c - h_f = K Q^2 \quad \text{---Ec. (3.13)}$$

Por otro lado se sabe que el desarrollo en serie de Taylor de una función f(X) es:

$$f(x) = f(a) + f'(a)(x-a) + \frac{f''(a)}{2!} (x-a)^2 + \frac{f'''(a)}{3!} (x-a)^3 + \frac{f^{(n)}(a)}{n!} (x-a)^n$$

Si hacemos: $a = Q$ y $x = Q + \Delta Q$

cortando la serie en el tercer término y reemplazando a y x se obtiene:

$$f(Q + \Delta Q) = f(Q) + f'(Q) \Delta Q + \frac{f''(Q)}{2!} \Delta Q^2$$

$$\text{ahora, si: } Q = Q^j \\ Q^j + \Delta Q = Q^{j+1}$$

y despreciando el tercer miembro de la ecuación se tiene:

$$f(Q^{j+1}) = f(Q^j) + f'(Q) (Q^{j+1} - Q^j) \quad \text{---Ec. (3.14)}$$

Para desarrollar la función (3.12) en la forma dada por (3.14) se tiene:

$$f'(Q^j) = 2KQ \quad \text{---Ec. (3.15)}$$

pero:

$$f(Q^{j+1}) = h_c^{j+1} - h_f^{j+1} \quad \text{---Ec. (3.16)}$$

$$y: F(Q^j) = K(Q^j)^2 \quad \text{---Ec. (3.17)}$$

Sustituyendo (3.15), (3.16) y (3.17) en (3.14) se obtiene:

$$h_c^{j+1} - h_f^{j+1} = K(Q^j)^2 + 2K(Q^j)(Q^{j+1} - Q^j) \quad \text{Ec. (3.18)}$$

de donde:

$$Q^{j+1} = \frac{h_c^{j+1} - h_f^{j+1}}{2K(Q^j)} + \frac{K(Q^j)Q^j}{2K(Q^j)}$$
$$Q^{j+1} = \frac{h_c^{j+1} - h_f^{j+1}}{2KQ^j} + \frac{Q^j}{2} \quad \text{----Ec. (3.19)}$$

Con el fin de tomar en cuenta el signo del gasto, de acuerdo a las diferencias piezométricas, se toma el valor absoluto del gasto Q^j , de manera que la ecuación (3.16) queda:

$$Q^{j+1} = \frac{h_c^{j+1} - h_f^{j+1}}{2K|Q^j|} + \frac{Q^j}{2} \quad \text{---Ec. (3.20)}$$

si hacemos :

$$\alpha_i^j = \frac{1}{2K|Q_i^j|} \quad \text{---Ec. (3.21)}$$

donde:

i denota el tubo en cuestion

J y $J+1$ representa el número de iteración.

La ecuación (3.20) se puede reducir a:

$$Q^{j+1} = \alpha_i^j (h_c^{j+1} - h_f^{j+1}) + \frac{Q^j}{2} \quad \text{---Ec. (3.22)}$$

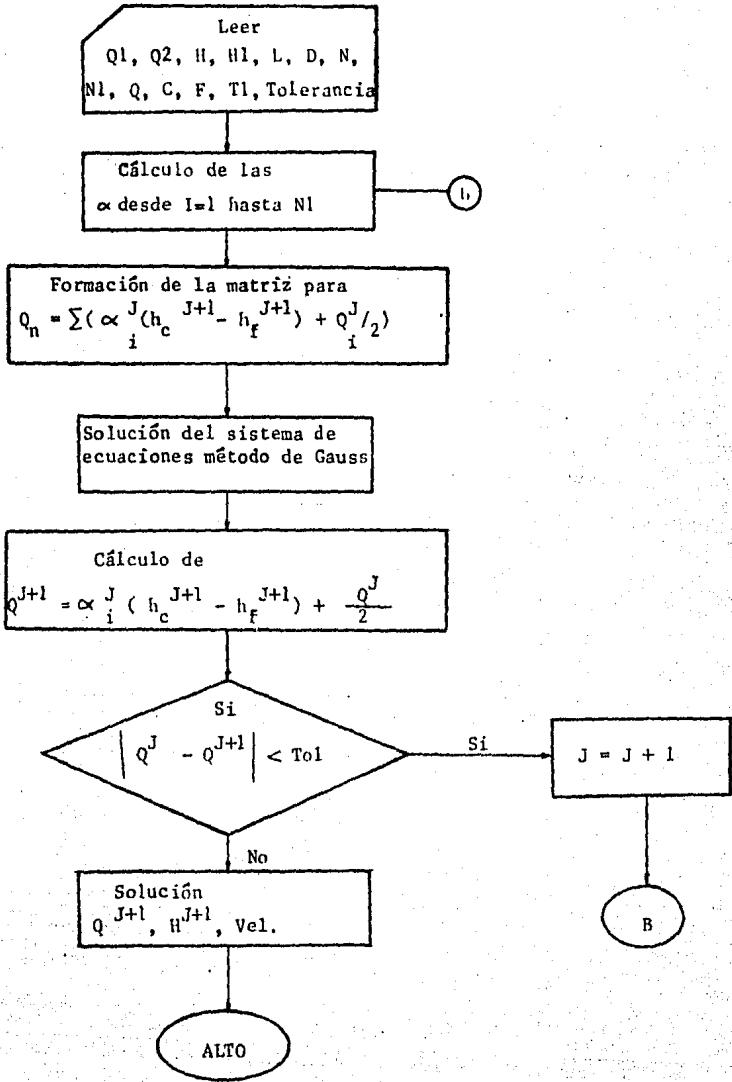


Diagrama de Flujo (3.4) Redes de Agua Potable.

Sustituyendo (3.22) en (3.11) queda:

$$Q_i = \Sigma (\alpha_i^j (h_c^{j+1} - h_f^{j+1}) + Q^j/2) \text{ ---Ec. (3.23)}$$

para todos los i tubos que intervengan en el nudo n considerando para cada tubo las cargas piezométricas en sus extremos (h_c^{j+1} y h_f^{j+1}).

Las ecuaciones resultantes de (3.23) constituyen un sistema de ecuaciones susceptible de resolver por algún método iterativo (En este caso por Gauss-Seidel).

(Ver Diagrama de Flujo(3.4)

El Algoritmo que se obtiene del Diagrama de Flujo (3.4) es el siguiente:

- 1 Leer los datos (en el Cap. 4 , Programación de algoritmos se definen las variables)
- 2 Calcular los α_i para todos los tubos desde $I=1$ hasta $N1$.
- 3 Se forma la matriz del sistema a partir de:

$$Q_n = \Sigma (\alpha_i^j (h_c^{j+1} - h_f^{j+1}) + Q_i^j/2$$

- 4 Se resuelve el sistema encontrando h^{j+1} por el método de Gauss Seidel.
- 5 Se calculan los gastos Q^{j+1} a partir de:

$$Q^{j+1} = \alpha_i^j (h_c^{j+1} - h_f^{j+1}) + \frac{Q^j}{2}$$

- 6 Se compara Q^j y Q^{j+1}

Si $|Q^j - Q^{j+1}| > \text{Tolerancia}$, se regresa al paso 2 y hace $J = J + 1$. Si es menor o igual se va al paso 7

- 7 Se tiene la solución y se imprime Q^{j+1} , H^{j+1} y la velocidad.

3.2 Flujo a Superficie Libre.

Este flujo se caracteriza debido a que el agua que fluye en un canal tiene expuesta la superficie libre a la presión atmosférica.

Por tanto uno de los problemas de la Ingeniería Hidráulica y de gran interés es el estudio del Flujo en Canales. Si el canal tiene una sección transversal y pendiente de planta constante, se denomina canal prismático; por el contrario si no se satisfacen estas condiciones el canal es no prismático.

El flujo en canales puede presentar diferentes formas, por lo tanto, esta parte se ha dividido en 3: Flujo Uniforme, Flujo Gradualmente Variado y Flujo Espacialmente Variado.

3.2.1 Flujo Uniforme.

En un canal con cierta pendiente y rugosidad y que debe conducir cierto gasto, la condición de flujo uniforme es el criterio que gobierna el área de la sección transversal mínima requerida, y aún cuando exista otro criterio que determine las dimensiones de la sección, estas no podrán ser menores que dicha sección mínima.

En el cálculo de canales con flujo uniforme se pueden presentar problemas de revisión o de diseño. Los problemas de revisión consisten en calcular el gasto a través de una sección con geometría, rugosidad y pendientes conocidas. Los problemas de diseño consisten en calcular la geometría de la

sección dada la pendiente y el gasto que circula o al contrario, dada la geometría y el gasto, calcular la pendiente necesaria.

Ya sea que se trate de un problema de revisión o de diseño son dos las ecuaciones que se manejan:

La ecuación de continuidad:

$$Q = A V \quad \text{---Ec. (3.24)}$$

Donde:

Q = gasto que pasa por el canal.

A = área de la sección transversal.

V = velocidad del agua en el canal.

y la fórmula de fricción de Chezy:

$$V = C R_h^{1/2} S^{1/2} \quad \text{---Ec. (3.25)}$$

Donde:

C = Coeficiente de Chezy para fricción y si se usa la fórmula de Manning:

$$C = R_h^{1/6} / n$$

R_h = Radio Hidráulico de la sección.

n = Coeficiente de fricción de Manning (depende del tipo de material)

Al sustituir en la ecuación de continuidad se tiene que:

$$Q = A (C R_h^{1/2} S^{1/2})$$

Sustituyendo C se llega a:

$$\frac{Q n}{S^{1/2}} = A R_h^{2/3} \quad \text{---Ec. (3.26)}$$

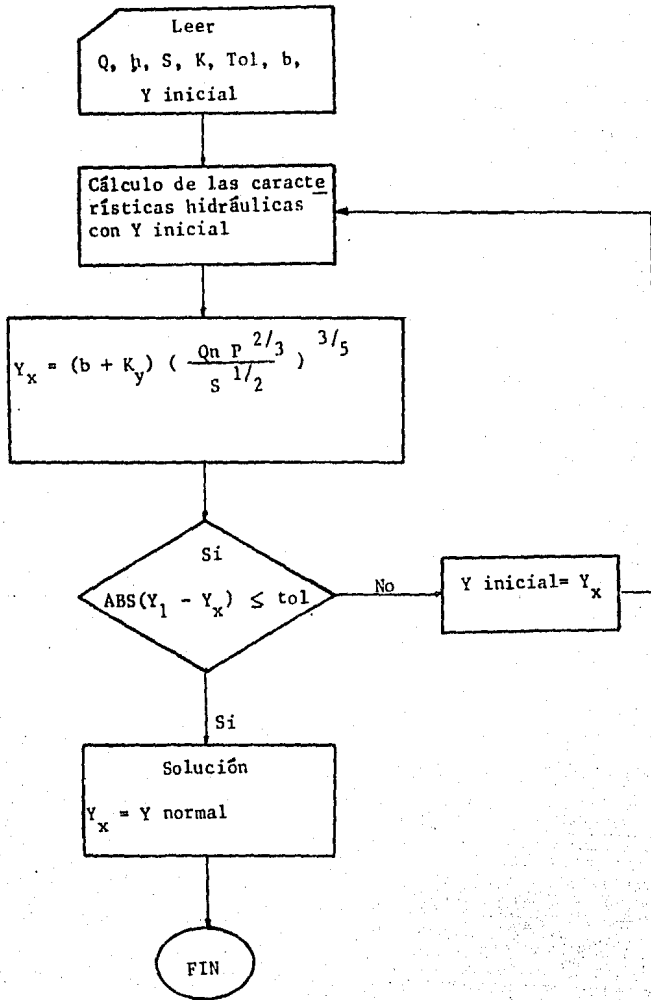


Diagrama de Flujo (3.5) Tirante Normal.

Lo cual quiere decir que para un Q , n y S dados hay un tirante único y_n llamado normal, con el cual se establece el flujo uniforme, siempre que el módulo de sección sea función continua y creciente del tirante y . Por el contrario también se cumple que para un y_n , n y S dados hay un único gasto Q con el cual se establece el flujo uniforme y que se conoce como gasto normal.

En la mayoría de los casos cuando se calcula el tirante normal en una sección bien definida (rectangular, trapecial, etc.) es necesario realizar un proceso iterativo.

Para el cálculo del tirante normal se hizo lo siguiente:
Para una sección trapecial el área es:

$$A = (b + k y) y$$

que se cumple para una sección rectangular cuando $k = 0$.

$$A = b y$$

y lo mismo sucede con una sección circular cuando $b = 0$.

$$A = k y^2$$

Por tanto de la ecuación (3.26) si el radio hidráulico - es:

$$R_h = \frac{\text{Area}}{\text{Perímetro mojado}}$$

entonces:

$$\frac{Q n}{S^{1/2}} = A R_h^{2/3}$$

$$\frac{Q n}{S^{1/2}} = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}}$$

$$\left(\frac{Q n P^{2/3}}{S^{1/2}} \right)^{3/5} = (b + k y) y$$

$$y_n = (b + k y) \left(\frac{Q n P^{2/3}}{S^{1/2}} \right)^{3/5} \quad \text{---Ec. (3.27)}$$

Ecuación que se resuelve proponiendo un tirante, se calcula el segundo miembro que debe ser igual al primero, si no lo es, se repite el proceso hasta que se igualen.

(Ver Diagrama de Flujo Núm. (3.5))

El Algoritmo que resulta del Diagrama de Flujo (3.5) es:

- 1 Leer los datos Q, n, S, k, Tol, b, y (inicial).
Donde Q es el gasto, n el coeficiente de rugosidad de Manning, S la pendiente del canal, k el talud, Tol es la tolerancia asignada al método, b es el ancho de plantilla.
- 2 Con los datos anteriores calcula las características hidráulicas (área, perímetro mojado).
- 3 Calcula $(b + k y) \left(\frac{Qn p^{2/3}}{S^{1/2}} \right)^{3/5} = y_x$
- 4 Compara el y_i propuesto con el y_x obtenido. Si la diferencia de $y_i - y_x$ en valor absoluto es menor o igual a la tolerancia; y_x es el tirante normal. Si no, -----
 $y_{inicial}$ toma el valor de y_x y se va a 2
- 5 Fin del programa.

Para el caso de una sección circular el procedimiento es similar y no se describe aquí pero sí se incluye el programa para el cálculo.

La ecuación de flujo uniforme utilizada en el diseño de canales revestidos, no es suficiente en el caso de los no revestidos ya que para este caso el diseño se convierte en un problema de estabilidad de la sección. Si el canal transporta sedimentos o está excavado en material erosionable, es necesario que no ocurra depósito ni erosión.

Existen dos tipos de problemas en el diseño de canales erosionables de acuerdo con las condiciones que deben cumplir

- a) Canales transportando agua limpia o material fino en suspensión.
- b) Canales transportando material sólido de arrastre sobre el fondo.

Para el primer caso las condiciones del canal exigen que no se deposite el material y que la capacidad de arrastre del flujo sea tal que no erosione el lecho y paredes del canal.

Para ello aquí se plantean dos métodos:

- 1.- Método de la velocidad máxima permisible.
- 2.- Método de la fuerza tractiva.

Ambos métodos se aplican a una sección trapecial.

1.- Método de la velocidad Permisible.

Consiste en limitar la velocidad media a un valor que no cause erosión en las paredes.

Para ello es necesario conocer el tipo de material, si es cohesivo se puede ver la tabla (2.8) de la Ref. (12) y si es no cohesivo, en función del d_{50} (la fig. 2.18 del mismo libro); siendo el d_{50} el diámetro del material que corresponde a aquel para el cual el 50% del material en peso tiene un diámetro menor que éste.

El talud k se obtiene a partir de la tabla 7.1 de la Ref. (14).

Dado que se conoce el gasto, se puede calcular el área -
como:

$$A = \frac{Q_d}{V_p}$$

Donde:

Q_d = Gasto de diseño.

V_p = Velocidad permisible.

$$\text{Perímetro} = \frac{A}{R_h}$$

$$R_h = \left(\frac{V_p n}{S^{1/2}} \right)^{3/2}$$

y para una sección trapecial:

$$A = b y + k y^2 \quad \text{-----Ec. (3.28)}$$

$$P = b + 2y \sqrt{k^2 + 1} \quad \text{-----Ec. (3.29)}$$

sistema de ecuaciones que se debe resolver simultáneamente da
do que:

$$A = f(y, b)$$

$$P = f(y, b)$$

de la Ec. (3.29): $b = P - 2y \sqrt{k^2 + 1}$

sustituyendo en (3.28)

$$A = (P - 2y \sqrt{k^2 + 1}) y + k y^2$$

$$P y - 2y^2 \sqrt{k^2 + 1} + k y^2 - A = 0$$

$$y^2 (k - 2\sqrt{k^2 + 1}) + P y - A = 0 \quad y \quad k < 2\sqrt{k^2 + 1}$$

Por lo tanto: $(2\sqrt{k^2 + 1} - k) y^2 - P y + A = 0$

$$y_{1,2} = \frac{P \pm \sqrt{P^2 - 4(2\sqrt{k^2 + 1} - k)A}}{2\sqrt{(2\sqrt{k^2 + 1} - k)}} \quad \text{-----Ec. (3.30)}$$

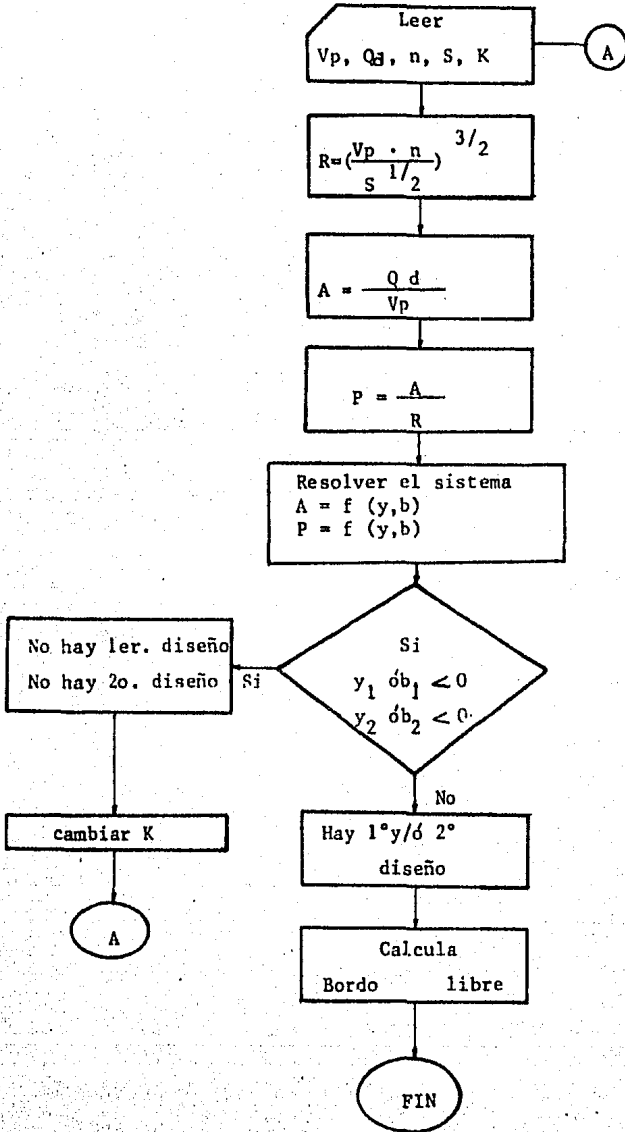


Diagrama de Flujo (3.6) Método de la Velocidad Permisible.

Y los anchos serán:

$$\begin{aligned} b_1 &= P - (2\sqrt{k^2+1})(y_1) \\ b_2 &= P - (2\sqrt{k^2+1})(y_2) \end{aligned} \quad \text{-----Ec. (3.31)}$$

(Ver Diagrama de Flujo Num. (3.6))

El Algoritmo que resulta del Diagrama de Flujo (3.6) es:

- 1 Leer los datos: Gasto, Pendiente, Coeficiente de rugosidad de Manning y obtener la Velocidad permisible V_p y el talud k como se indicó.
- 2 Cálculo del radio hidráulico..
- 3 Cálculo del área.
- 4 Cálculo del perímetro mojado.
- 5 Se plantea el sistema de ecuaciones como:
 $A = f(y, b)$ y $P = f(y, b)$
- 6 Si el tirante o el ancho es menor que cero no hay solución en el primer diseño, si el tirante o el ancho del segundo diseño también son menores que cero no hay solución y es necesario cambiar el talud k . Si son mayores que cero hay primero y/o segundo diseño.
- 7 De la Fig. (2.16) de la Ref. (12) se calcula el bordo libre.
- 8 Fin del programa.

2.- Método de la Fuerza Tractiva.

Consiste en encontrar el esfuerzo tangencial producido por el flujo, que no sobrepase el valor crítico para el material del fondo del canal.

A manera de guía se presenta un procedimiento de tanteos que consta de los siguientes pasos:

- 1.- De acuerdo con las características del material, se determina el ángulo de reposo ϕ del mismo de la Fig (2.22) de la Ref. (13) y se elige el talud de manera que $\theta < \phi$
- 2.- Se calcula $K = \cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}}$ ---Fig(3.32)
- 3.- De las figuras (2.23) ó (2.24) de la Ref.(13) se determina el esfuerzo tangencial τ_p permisible sobre la plantilla de acuerdo al tipo de material.
- 4.- Se calcula el valor del esfuerzo tangencial τ_s máximo permisible en los taludes a partir de $\tau_s = K \tau_p$.
- 5.- Como se conoce γ y S el esfuerzo cortante producido por el flujo tanto en los taludes como en la --- plantilla quedará determinado por ecuaciones del tipo: $\tau = \gamma S \epsilon$ y, donde ϵ será función de b/y y K .
- 6.- Se supone una relación b/y y de la fig. (2.20a y b) de la Ref.(13) se obtiene ϵ quedando las ecuaciones del paso 5 en función de y .
- 7.- Se igualan τ_s y τ_p del paso 6 con los permisibles de los pasos 3 y 4 de donde se despejan -- los valores de y , se escoge el menor.
- 8.- De la relación y/b supuesta en 6 se despeja y .
- 9.- Con la geometría obtenida y con ayuda de la fórmula de Manning se revisa la sección, calculando el gasto.
- 10.- Si el gasto calculado no es el deseado se escoge una

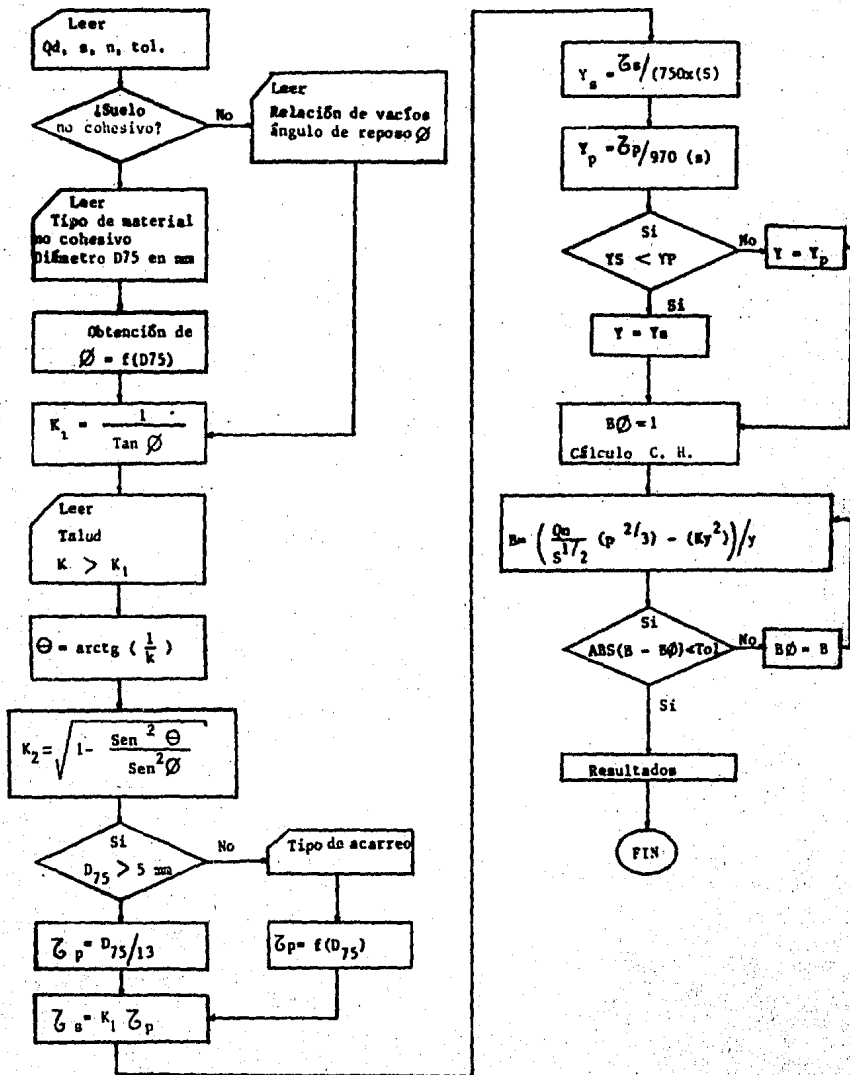


Diagrama de Flujo (3.7) Método de la Fuerza Tractiva.

nueva relación b/y y se repite el procedimiento a partir del paso 6.

11.- Se calcula el bordo libre necesario.

(Ver Diagrama de Flujo Num. (3.7))

El Algoritmo que resulta del Diagrama de Flujo (3.7) , - quedó explicado en el procedimiento de cálculo, solo queda -- aclarar que para el caso de un suelo cohesivo es necesario co nocer la relación de vacíos y el ángulo de reposo ϕ .

Además el Método de Convergencia se basa en calcular el ancho para las características dadas, suponiendo para ello un ancho de plantilla inicial.

3.2.2 Flujo Crítico.

El flujo Crítico se define como aquel en el cual la -- Energía específica es la mínima con que puede fluir un gasto Q dado a través de la sección de un canal de forma específica

Las propiedades analíticas del régimen crítico se ob-- tienen de la siguiente forma:

Sea la ecuación de la energía:

$$E = y + \alpha \frac{V^2}{2g} = y + \alpha \frac{Q^2}{2g A^2} \quad \text{----Ec. (3.33)}$$

para un gasto constante y α también constante; la derivada - con respecto a y es:

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \alpha \frac{Q^2}{g A^3} \frac{dA}{dy}$$

donde dA cerca de la superficie libre es igual a $B dy$.

Por lo tanto: $B = \frac{dA}{dy}$

y sustituyendo:

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \alpha \frac{Q^2 B}{g A^3} = 1 - \alpha \frac{V^2}{g A/B}$$

Como $\frac{A}{B} = Y$ (tirante hidráulico de la sección) se tiene:

$$\frac{dE}{dy} = 1 - Fr^2 \quad \text{-----Ec. (3.34)}$$

Donde: $Fr = \frac{V}{\sqrt{g Y/\alpha}}$ y representa el número de Froude

de la sección del canal.

Dado que el estado crítico se presenta para la energía - específica mínima, aplicando el criterio de la primera deriva

da $\frac{dE}{dy} = 0$

Se llega a: $Fr_c = \frac{V_c}{\sqrt{g y_c/\alpha}} = 1$

Y finalmente: $\frac{Q^2}{g/\alpha} = \frac{A_c^3}{B_c} \quad \text{-----Ec. (3.35)}$

Y para fines prácticos $\alpha = 1$

Para el cálculo del tirante crítico se hizo lo siguiente:

Para una sección trapecial:

$$A = (b + ky)y$$

$$B_c = (b + 2 ky)$$

valores que cumplen para una sección rectangular y una triangular cuando $k = 0$ y $b = 0$ respectivamente.

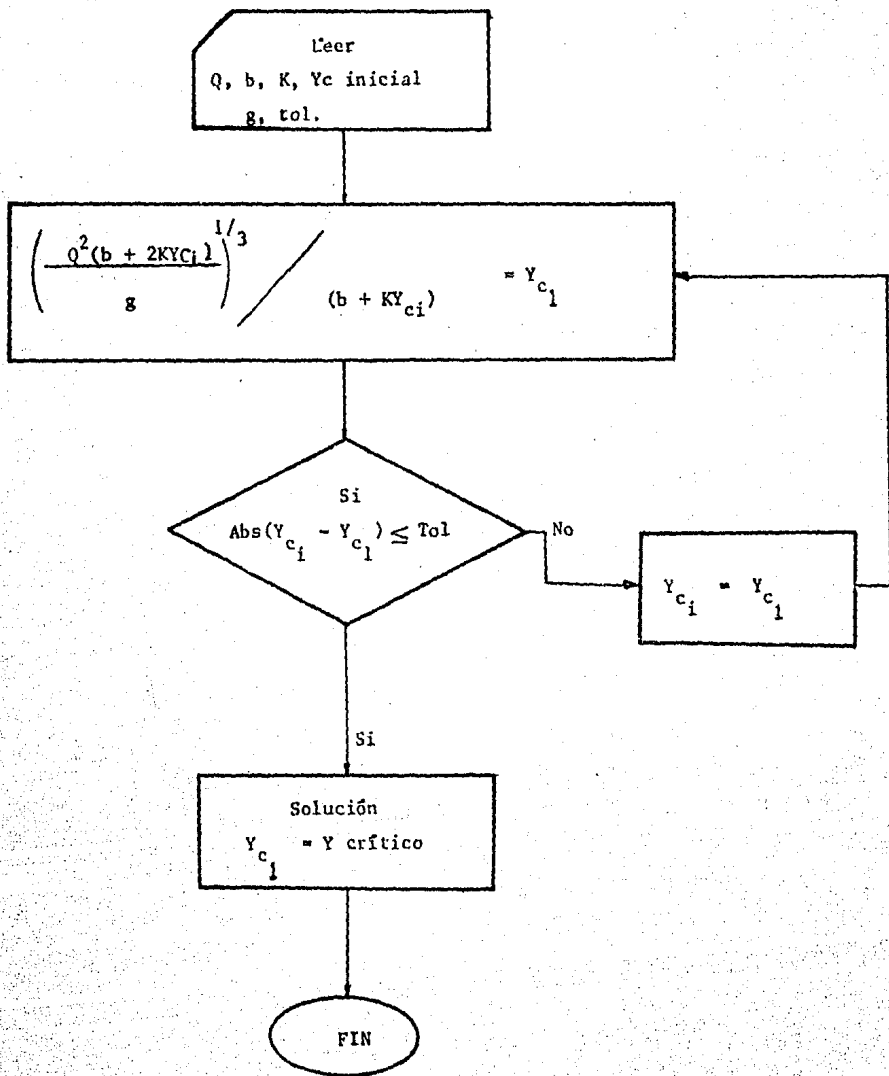


Diagrama de Flujo (3.8) Tirante Crítico.

Sustituyendo A y B_c en (3.35):

$$\left(\frac{Q^2 (b + 2ky)}{g} \right)^{1/3} = (b + ky)y$$
$$y_c = \left(\frac{Q^2 (b + 2ky_c)}{g} \right)^{1/3} / (b + ky_c) \quad \text{--Ec. (3.36)}$$

Ecuación que se resuelve mediante un procedimiento iterativo y se parte de proponer un valor inicial de y_c .

(Ver Diagrama de Flujo Núm. (3.8))

El Algoritmo que resulta del Diagrama de Flujo (3.8) es:

- 1 Leer los datos: Gasto, ancho de plantilla, talud, aceleración de la gravedad, tolerancia.
2. Calcula y_c como:

$$\left(\frac{Q^2 (b + 2ky_{c_i})}{g} \right)^{1/3} / (b + ky_{c_i}) = y_c \text{ calc.}$$

- 3 Si la diferencia en valor absoluto del tirante propuesto con el calculado es menor o igual a la tolerancia - y_c es la solución; si no, y_{c_i} toma el valor de y_c y se regresa a 2.
- 4 Fin del programa.

Para el caso de la sección circular el procedimiento es similar y no se describe pero se presenta el programa para el cálculo.

3.2.3 Tirantes Alternos.

Se define como energía específica en la sección de un canal a la energía por kilogramo de agua que fluye a través - de la sección, medida con respecto al fondo del canal.

Para un canal de cualquier forma y área hidráulica A , con $V = Q/A$ la energía específica vale:

$$E = y + \frac{V^2}{2g} = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad \text{---Ec. (3.37)}$$

Suponiendo que el gasto Q es constante y el área A es función del tirante, la energía específica es función del tirante.

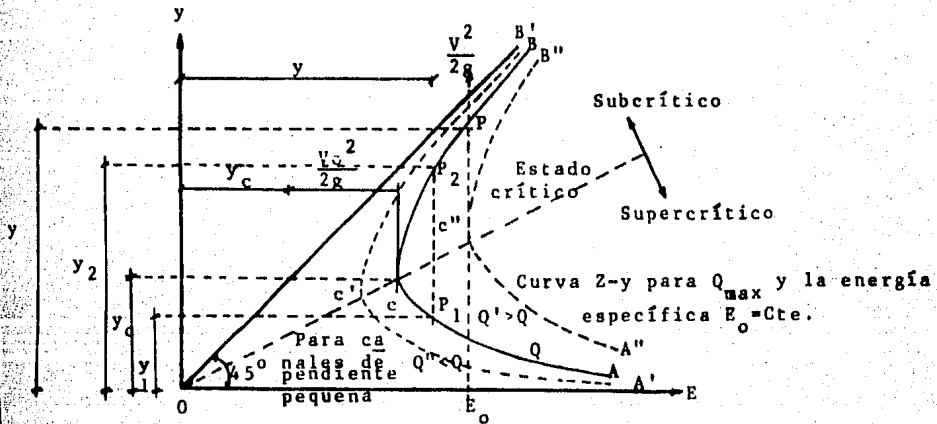


Fig. (3.15) Curvas de Energía Específica.

De la curva de energía específica se observa que existen dos valores del tirante y_1 y y_2 que reciben el nombre de tirantes alternos, siendo y_1 el alterno menor y y_2 el alterno mayor.

En el punto C la energía específica es la mínima con la cual puede pasar el gasto Q a través de la sección y para la cual existe un solo valor del tirante, y_c y es el tirante crítico.

Si $y_c < y_2$ el régimen es subcrítico.

Si $y_c > y_1$ el régimen es supercrítico.

Si el gasto Q cambia a otro valor pero se mantiene constante, la curva de energía específica cambia de A'B' y A''B'', según si el gasto es mayor o menor.

El método que se propone sirve para determinar los tirantes alternos para una energía dada; también para determinar la variación del tirante en un canal debida a un escalón o a una reducción o ampliación dadas las características antes del cambio. Para todos los casos se hace a través del método de bisección para la solución de ecuaciones de una sola variable de orden n.

Para el primer caso, el polinomio se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$E = y + \frac{v^2}{2g}$$

Por continuidad:

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

para una sección trapezoidal el área es: $A = (b + ky)y$ y substituyendo:

$$E = y + \frac{Q^2}{2g(b + ky)y}$$

simplificando términos se llega a:

$$k^2 y^5 + y^4 k (2b - Ek) + y^3 b(b - E2k) - y^2 (Eb^2) + \frac{Q^2}{2g} = 0 \quad \text{--(3.38)}$$

ecuación que como ya se mencionó se puede resolver por el método de bisección.

Para el caso del escalón, si es ascendente se tiene -- que:

$$E_1 = E_2 + \Delta z$$

siendo:

E_1 = Energía en la sección 1.

E_2 = Energía en la sección 2.

Δz = Altura del escalón.

y dado que se supone que se conocen las condiciones en la sección (1), osea antes del escalón:

$$E_2 = E_1 - \Delta z$$

y haciendo $E = E_1 + \Delta z$ en la ecuación (3.38) se tiene el -- mismo polinomio.

Se debe considerar que existe un escalón máximo ascendente para que no se modifiquen las condiciones aguas arriba del escalón y la altura de éste se obtiene como:

$$\Delta z_{\text{máx}} = E_1 - E_{\text{min.}}$$

siendo la E_{min} la energía mínima y se obtiene a partir de las condiciones críticas.

Para el caso de un canal con una ampliación o reducción que en este trabajo solo se considera para un canal de sección rectangular, el polinomio se reduce a uno de grado 3.

$$y^3 b^2 - y^2 E b^2 + \frac{Q^2}{2g} = 0 \quad \text{----Ec. (3.39)}$$

siendo E el valor de la energía antes del cambio y b el valor del ancho de plantilla en el cambio.

En el caso de una reducción, existe un valor mínimo para el ancho, esto para no modificar las condiciones aguas arriba del cambio. Este ancho mínimo se obtiene a partir de:

$$b_{\min.} = \sqrt{\frac{1}{2g \frac{(E - y_c)}{Q^2} (y_c^2)}} \quad \text{----Ec. 3.40)}$$

donde:

- $b_{\min.}$.- es el ancho mínimo.
- E .- energía antes del cambio.
- y_c .- tirante crítico.
- g .- aceleración de la gravedad.

(Ver Diagrama de Flujo Núm. (39))

El Algoritmo que resulta del Diagrama de Flujo (39) - es:

- 1 Leer como datos iniciales la aceleración de la gravedad y la tolerancia.
- 2 Preguntar si hay escalón; si lo hay, se va a 6, si no se va a 3.
- 3 Preguntar si hay ampliación o reducción; si la hay se va a 12, si no se va a 4.
- 4 Leer el valor de la energía E , el gasto Q y las características geométricas de la sección dependiendo si es triangular, rectangular o trapecial.
- 5 Cálculo del tirante crítico y_c y se va a 17.
- 6 Leer energía antes del escalón E_1 , gasto Q y las características geométricas de la sección dependiendo si es rectangular o trapecial.
- 7 Cálculo del tirante crítico y_c .
- 8 Cálculo de la energía mínima $E_{\min} = y_c + \frac{Q^2}{2g A_c^2}$

9 Cálculo de la altura del escalón máxima ascendente.

$$\Delta z_{\text{máx.}} = E_1 - E_{\text{min.}}$$

- 10 Leer el valor de Δz altura del escalón.
- 11 Obtiene la energía $E = E_1 \pm \Delta z$; más, si el escalón es descendente y menos, si es ascendente. Y se va a 17.
- 12 Leer el valor de la energía antes del cambio E , el gasto Q y el ancho de plantilla antes del cambio y_a que solo es para sección rectangular.
- 13 Cálculo del tirante crítico y_c .
- 14 Cálculo del ancho mínimo como se indicó en la ecuación (3.40).
- 15 Leer el valor del ancho de plantilla de la ampliación o reducción b_2 .
- 16 Asigna el valor $b = b_2$ para trabajarlo en el polinomio.
- 17 Resuelve el polinomio (3.38), por el método de bisección.
- 18 Resultados alterno mayor $y > y_c$ y alterno menor $0 < y < y_c$
- 19 Fin.

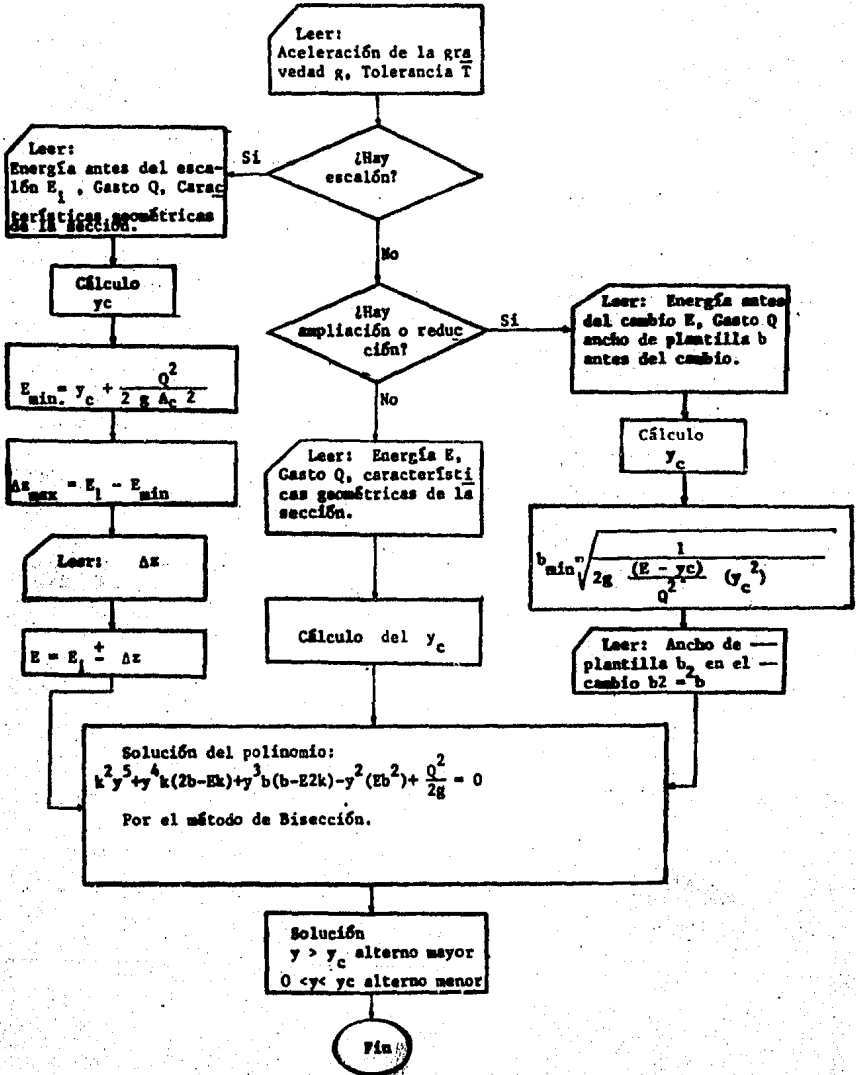


Diagrama de Flujo (3.9) Energía Específica.

3.2.4 Salto Hidráulico.

El Salto Hidráulico es un fenómeno que representa la única manera en que es posible el cambio de régimen supercrítico a subcrítico. Se produce comunmente al pie de la descarga de una compuerta reguladora o de un cimacio o en un cambio de pendiente.

El Salto Hidráulico es un dissipador de energía y tiene muchos usos prácticos.

Para el análisis del Salto Hidráulico se aplica el principio de la cantidad de movimiento de la siguiente manera:

Considerando un tramo horizontal de un canal en donde se produce un Salto Hidráulico y el volúmen de control entre las secciones (1) y (2):

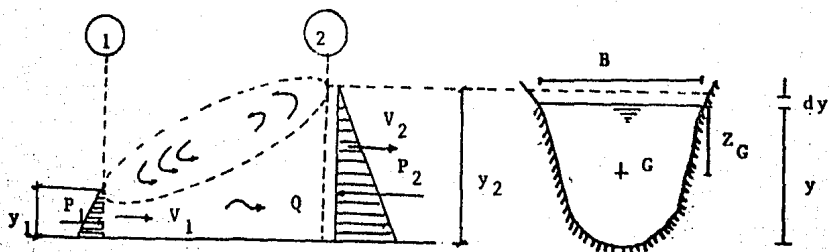


Fig. (3.16) Salto Hidráulico.

Además también se considera que el canal es horizontal y de sección compuesta; se desprecia la resistencia debida a la fricción; no existe ningún obstáculo dentro del tramo que pudiera ocasionar una fuerza de empuje dinámico desde el exterior; la distribución de velocidades es uniforme en las secciones (1) y (2).

Aplicando Cantidad de Movimiento entre las secciones (1) y (2):

$$P_1 - P_2 = \frac{\gamma Q}{g} (V_2 - V_1) \quad \text{----Ec. (3.41)}$$

Por continuidad $V = \frac{Q}{A}$ y sustituyendo:

$$P_1 - P_2 = \frac{\gamma Q^2}{g} \left(\frac{1}{A_2} - \frac{1}{A_1} \right) \quad \text{----Ec. (3.42)}$$

Donde:

$$P_1 = \gamma z_{G1} A_1$$

$$P_2 = \gamma z_{G2} A_2$$

y sustituyendo en (3.42):

$$\frac{Q^2}{gA_1} + z_{G1} A_1 \frac{Q^2}{gA_1^2} + z_{G2} A_2 \quad \text{----Ec. (3.43)}$$

y haciendo:

$$M = \frac{Q^2}{gA} = z_G A \quad \text{----Ec. (3.44)}$$

la Ec. (3.44) se conoce como función Momentum o Fuerza Específica.

El primer término representa la cantidad de movimiento -- del flujo que atraviesa la sección del canal en la unidad de tiempo y por unidad de peso del agua; el segundo término representa el empuje hidrostático por unidad de peso y el momento estático del área respecto de la superficie libre.

Si en una gráfica Tirante-Función Momentum dibujamos el tirante antes del salto y el tirante después del salto, comprobamos que de la ecuación (3.44) que para ambos tirantes les corresponde el mismo valor de la función. Calculando la función Momentum para el tirante crítico se obtiene la función Momentum Mínima.

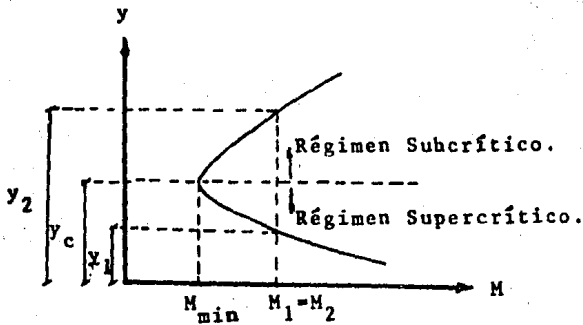


Fig. (3.17) Curva de Función Momentum.

A los tirantes que tienen el mismo valor de la función Momentum se les conoce como Tirantes Conjugados.

El método que aquí se propone sirve para calcular los conjugados mayor o menor, partiendo de que se conocen las condiciones antes o después del Salto.

El método solo se aplica para una sección triangular, rectangular o trapecial.

De la Ecuación (3.44):

$$M = \frac{Q^2}{g A} + z_G \cdot A$$

para una sección trapecial:

$$A = (b + ky)y$$

$$z_G = \frac{1}{3} y + \frac{1}{6} \frac{by}{b+ky}$$

y además son válidas para las otras dos secciones.

Sustituyendo en (3.44):

$$M = \frac{Q^2}{g(b + ky)y} + \left(\frac{1}{3} y + \frac{1}{6} \frac{by}{b + ky} \right) (b + ky)y \quad \text{--Ec. (3.45)}$$

Desarrollando términos se llega a:

$$(4k^2)y^5 + (7bk)y^4 + (3b^2)y^3 - (6Mk)y^2 - (6Mb)y + \frac{6Q^2}{g} = 0 \quad \text{--(3.46)}$$

ecuación que se puede resolver aplicando el Método de Bisección

(Ver Diagrama de Flujo Núm. (3.10))

El Algoritmo que resulta del Diagrama de Flujo (3.10) es:

- 1 Leer los datos iniciales: Gasto Q, aceleración de la gravedad g, el conjugado conocido y las características de la sección dependiendo si es rectangular, -- triangular o trapecial.
- 2 Cálculo del tirante crítico.
- 3 Cálculo de la función Momentum mínima con la Ec. ---- (3.45) y el tirante crítico.
- 4 Cálculo de la función Momentum con la Ec. (3.45) y el conjugado conocido.
- 5 Solución al polinomio (3.46) por el método de bisección.
- 6 Obtención de resultados. El tirante encontrado será el conjugado mayor si es mayor que el crítico; por el contrario, si es menor será el conjugado menor.

Leer: Gasto Q, aceleración de la gravedad, conjugado conocido y , características geométricas de la sección.

Cálculo
 y_c

Momentum Mínimo

$$M_{\min} = \frac{Q^2}{g(b+ky_c)y_c} + \left(\frac{1}{3} y_c + \frac{1}{6} \frac{by}{b+ky} \right) (b+ky) y$$

Momentum Mínima para la sección conocida:

$$M = \frac{Q^2}{g(b+ky)y} + \left(\frac{1}{3} y + \frac{1}{6} \frac{by}{b+ky} \right) (b+ky)y$$

Solución al polinomio por el método de bisección.

$$4k^2y^5 + 7bky^4 + 3b^2y^3 - 6Mky^2 - 6Mby + \frac{6Q^2}{g} = 0$$

Resultados

$y = y_2$ Conjugado mayor si $y > y_c$

$y = y_1$ Conjugado menor si $0 < y < y_c$

Fin

3.2.5 Flujo Gradualmente Variado.

El flujo gradualmente variado es un flujo permanente - en el cual el tirante varía gradualmente a lo largo del canal. Quiere decir que las características hidráulicas del flujo no varían respecto al tiempo y la distribución hidrostática de la presión prevalece sobre la sección del canal.

El análisis se basa en las siguientes hipótesis:

- a) La pendiente de la plantilla en el canal es uniforme y pequeña.
- b) La curva de distribución de velocidades tiene la misma forma en cualquier sección del canal.
- c) La pérdida de energía más importante es la de fricción, y para valuarla se utilizan las fórmulas de flujo uniforme, considerando la velocidad media de la sección, R_h med., rugosidad, etc. de la propia sección.

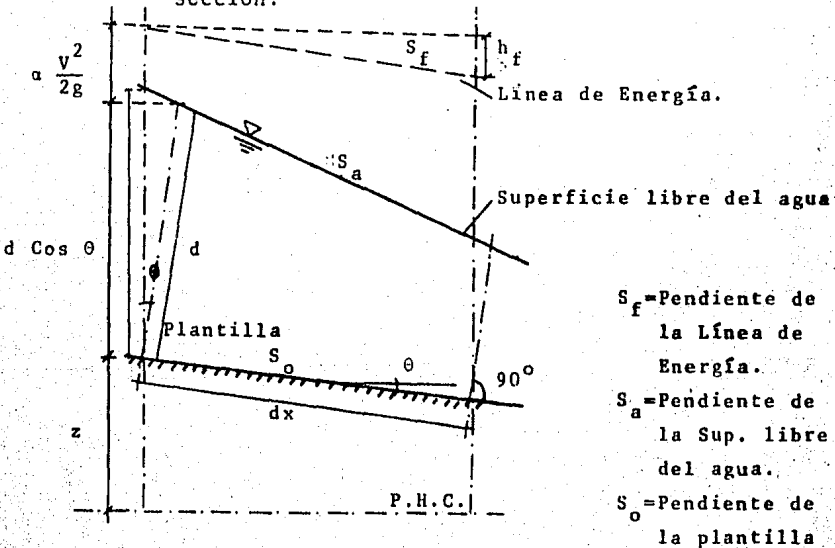


Fig. (3.18) Derivación de la ecuación dinámica del Flujo Gradualmente Variado.

Tomando diferenciales:

$$\frac{dz}{dx} + \frac{d}{dx} \left(P/\gamma + \alpha \frac{V^2}{2g} \right) + \frac{dh_f}{dx} = 0$$

$$\frac{dz}{dx} + \frac{d}{dx} \left(d \cos \theta + \alpha \frac{V^2}{2g} \right) + \frac{dh_f}{dx} = 0$$

O también:

$$\frac{dz}{dx} + \frac{dE}{dx} + \frac{dhr}{dx} = 0 \quad \text{---Ec. (3.47)}$$

La pendiente de la línea de energía es:

$$S_f = \frac{dh_f}{dx} \quad \text{---Ec. (3.48)}$$

La pendiente de plantilla es:

$$S_o = \text{Sen } \theta = - \frac{dz}{dx} \quad \text{---Ec. (3.49)}$$

Además:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{dE}{dy} \frac{dy}{dx}$$

$$\text{Pero:} \quad \frac{dE}{dy} = (1 - Fr^2) \quad \text{---Ec. (3.50)}$$

donde:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gY}}$$

Y substituyendo: (3.48), (3.49) y (3.50) en (3.47):

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_o - S_f}{1 - Fr^2} \quad \text{---Ec. (3.51)}$$

Siendo la ecuación dinámica del Flujo Gradualmente Vari
do.

Los perfiles de Flujo Gradualmente Variado se pueden cl

sificar en base a la pendiente del canal y la zona en la que se aloja el perfil.

De ésta forma para un canal:

- a) Con pendiente fuerte $S_o > S_c$ la notación será S.
- b) Con pendiente crítica $S_o = S_c$ la notación será C.
- c) Con pendiente suave $S_o < S_c$ la notación será M.
- d) Con pendiente horizontal $S_o = 0$ la notación será H.
- e) Con pendiente negativa $S_o < 0$ la notación será A.

Dado que se pueden conocer el tirante crítico y el tirante normal según la posición del agua con respecto a estos, se tienen 3 zonas:

Si $y > (y_n, y_c)$ la zona es (1).

Si y está entre (y_n, y_c) la zona es (2).

Si $y < (y_n, y_c)$ la zona es (3).

A continuación se presenta gráficamente la clasificación de los perfiles del flujo gradualmente variado. (Ver Fig. ---- (3.19).

Para obtener el perfil del flujo de acuerdo con la ecuación diferencial (3.51), es decir la variación del tirante -- con respecto a la longitud x del canal se propone usar el - Método de Incrementos Finitos.

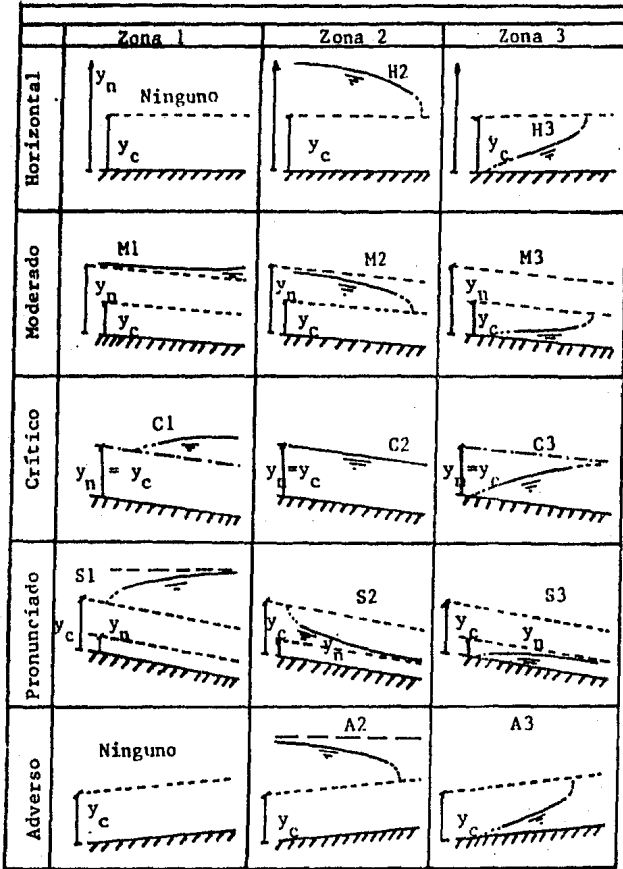


Fig. (3.19) Perfiles de Flujo Gradualmente Variado.

Para aplicar el Método de Incrementos Finitos, a partir de la Fig. (3.20):

$$S_{f_1} = \left(\frac{V_1 n_1}{R_{h_1}^{2/3}} \right)^2$$

$$S_{f_2} = \left(\frac{V_2 n_2}{R_{h_2}^{2/3}} \right)^2$$

Haciendo:

$$\Delta x = \frac{E_2 - E_1}{S_o - S_f} \quad \text{--Ec. (3.52)}$$

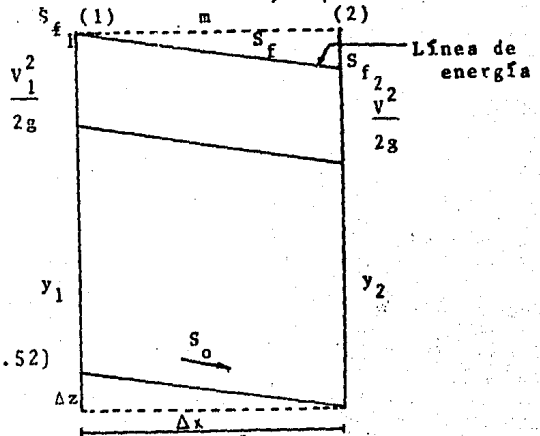


Fig. (3.20) Método de Incrementos Finitos.

$$\text{Siendo: } S_f = \frac{S_{f_1} + S_{f_2}}{2}$$

E_1 = Energía en la sección (1)

E_2 = Energía en la sección (2)

La ecuación (3.52) se aplica de una sección a otra para obtener el perfil, proponiendo valores de tirantes.

(Ver Diagrama de Flujo Num. (3.11))

El Algoritmo que resulta del Diagrama de Flujo (3.11) es:

- 1 Leer los datos: Gasto Q , pendiente del canal S_o , coeficiente de rugosidad de Manning, número de secciones que se quieren calcular M , el tirante conocido $y_{\text{conocido}} = y(0)$, y las características geométricas de la sección.
- 2 Se calcula el tirante normal y_n y el tirante crítico
- 3 Cálculo del incremento de tirante como:

$$\Delta y = |y_n - y_{\text{conocido}}| / M$$

- 4 Se compara el tirante conocido y_{conocido} contra el tirante normal y el tirante crítico para determinar el tipo de perfil.
- 5 Se inicia el Método de Incrementos finitos; para cada sección de acuerdo al sentido de cálculo se va obteniendo de una a otra:

$$\Delta x = \frac{E(J) - E(I)}{S_o - S_m}$$

siendo:

Δx .- La distancia a la que se presenta el tirante propuesto.

$E(J)$.- La energía en la sección $(I + 1)$ con $y(J) = y(I) \pm \Delta y$; el signo indica el sentido del cálculo.

$E(I)$.- La energía en la sección (I)

S_o .- La pendiente del canal.

S_m .- La pendiente media que resulta de:

$$S_m = \frac{S_{f(I)} + S_{f(J)}}{2}$$

$S_{f(I)}$.- Es la pendiente de la línea de energía en la sección (I) :

$$S_{f(I)} = \left(V(I) n / R_h(I)^{2/3} \right)^2 \quad \text{--Ec. (3.53)}$$

$S_{f(J)}$.- Es la pendiente de la energía en la sección $(I+1)$:

$$S_{f(J)} = \left(V(J) n / R_h(J)^{2/3} \right)^2 \quad \text{--Ec. (3.54)}$$

- 6 Se hace $I = I + 1$ y $J = I + 1$ y se repite el cálculo desde que $I = 1$ hasta el número de secciones que se quieren menos 1, $M - 1$.

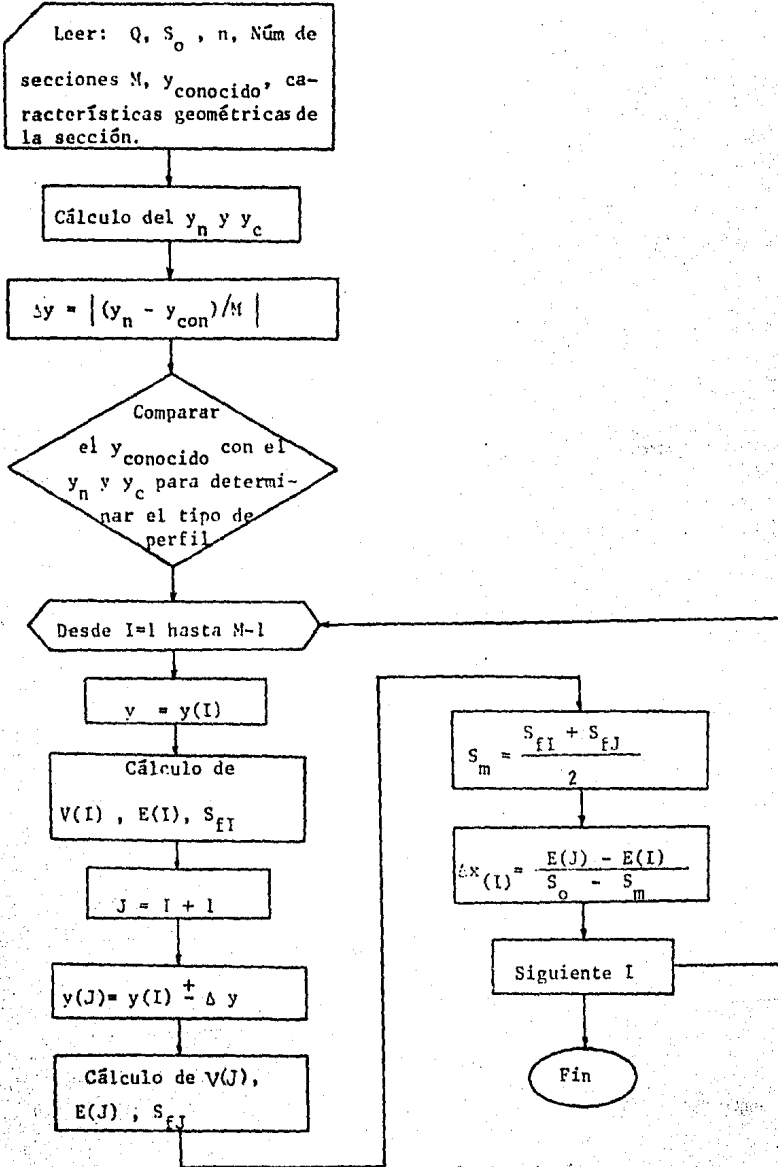


Diagrama de Flujo (3.11) Flujo Gradualmente Variado.

3.2.6 Perfiles en Flujo Espacialmente Variado.

El flujo espacialmente variado, en estructuras de canal laterales se define como aquel con una descarga no uniforme, que resulta de la adición o disminución del agua a lo largo del -- curso del flujo, con lo que se originan disturbios en el conte -- nido de la energía o del Momentum del flujo.

En el flujo con descarga creciente una porción de la -- pérdida de energía es debida a la mezcla turbulenta del agua agregada y del agua fluyendo en el canal, por lo que es conve -- niente el uso de la Ley de Impulso y Cantidad de Movimiento.

De la siguiente Fig. (3.21) que representa un vertedor de canal lateral y aplicando la Ley de Impulso y Cantidad de -- Movimiento:

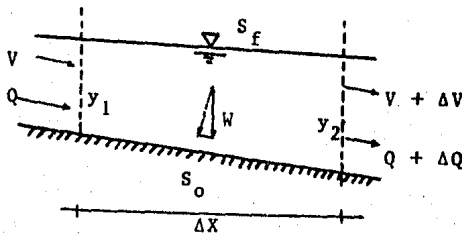
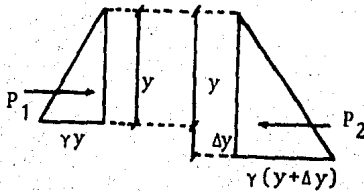


Fig. (3.21) Vertedor de Canal Lateral.



$$\Sigma F_x = \frac{\gamma}{g} \cdot \Sigma QV$$

Aplicando Cantidad de Movimiento en cada sección:

$$CM_1 = \frac{\gamma QV}{g}$$

$$CM_2 = \frac{\gamma}{g} (Q + \Delta Q) (V + \Delta V)$$

$$CM_2 - CM_1 = \frac{\gamma}{g} QV + \frac{\gamma}{g} Q\Delta V + \frac{\gamma}{g} \Delta Q(V + \Delta V) - \frac{\gamma}{g} QV$$

Considerando la distribución de presiones hidrostáticas de la misma figura:

$$P_1 = \gamma A_1 G_1$$

$$P_2 = \gamma A_2 G_2$$

Donde las áreas y los centros de gravedad dependen del área de la sección. Haciendo f_p como la fuerza de superficie debida a la presión y f_f la fuerza debida a la fricción:

$$f_p = P_1 - P_2 = -\gamma A \Delta y$$

$$f_f = (\gamma A \Delta x) (S_f)$$

en donde S_f es la pendiente hidráulica.

$$f_w = \omega \text{ Sen } \theta = \gamma A \text{ Sen } \theta \Delta x$$

donde $\omega \text{ Sen } \theta$ es la componente horizontal del peso del volumen considerado. Para valores de θ cercanos a cero ($\theta \leq 10^\circ$) $\text{tg } \theta \approx \text{Sen } \theta$ por lo que la pendiente $S_o = \text{tg } \theta$.

Sustituyendo las ecuaciones anteriores en la Ley de Impulso:

$$\gamma A (S_o - S_f) \Delta x - \gamma A \Delta y = \frac{\gamma}{g} Q \Delta V + \frac{\gamma}{g} \Delta Q (V + \Delta V)$$

Tomando diferenciales:

$$\frac{1}{g}(Q \, dV + dQ)^* (V + dV) = A (S_o - S_f) \, dx - A \, dy \quad \text{---Ec. (3.55)}$$

que es la ecuación diferencial para flujo espacialmente variado.

Existen diferentes métodos para la integración de la ecuación diferencial para flujo espacialmente variado y, para efectos de este trabajo, se hará por el Método de Incrementos Finitos el cual se describe a continuación:

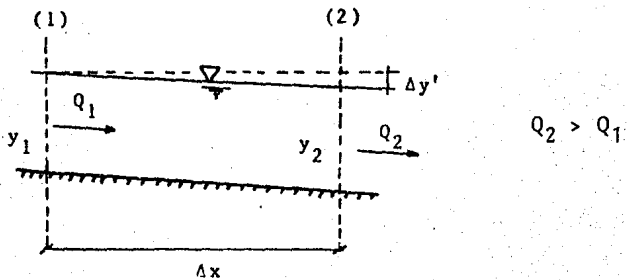


Fig. (3.22) Vertedor de Canal Lateral.

De la figura se tiene:

$$\Delta y' = S_o \, \Delta x + y_1 - y_2 \quad \text{---Ec. (3.56)}$$

$$Q_2 = Q_1 + \Delta Q \quad \text{y} \quad V_2 = V_1 + \Delta V$$

Sustituyendo en la ecuación diferencial (3.55)

$$\frac{1}{Ag}(Q_1 \Delta V + \Delta Q V_2) = (S_o - S_f) \Delta x - \Delta y'$$

Desarrollando:

$$\frac{1}{Ag} \left[Q_1 (V_2 - V_1) + (Q_2 - Q_1) V_2 \right] = S_o \Delta x - \Delta y - S_f \Delta x$$

como: $S_o \Delta x - (y_2 - y_1) - S_f \Delta x = \Delta y' - S_f \Delta x$

$$\frac{1}{g A} \left[(V_2 - V_1) + (Q_2 - Q_1) \frac{V_2}{Q_1} \right] = \Delta y' - S_f \Delta x \text{ ---Ec. (3.57)}$$

donde A es el área media y por continuidad:

$$A = \frac{Q_m}{V_m} = \frac{Q_1 + Q_2}{V_1 + V_2}$$

Por lo tanto:

$$\Delta y' = \frac{1}{g} \left(\frac{V_1 + V_2}{Q_1 + Q_2} \right) Q_1 \left[(V_2 - V_1) + (Q_2 - Q_1) \frac{V_2}{Q_1} \right] + S_f \Delta x \text{ --- (3.58)}$$

Ecuación que se debe resolver simultáneamente con la ecuación (3.56) en donde $\Delta y'$ (3.56) debe ser igual a $\Delta y'$ de (3.58).

El Procedimiento de cálculo para el método iterativo es el siguiente:

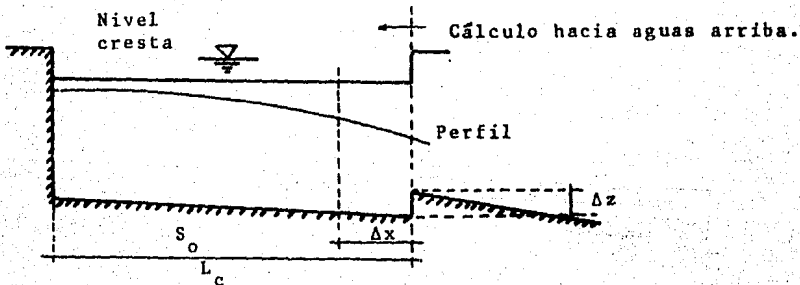


Fig. (3.23) Vertedor de Canal Lateral.

De la figura (3.23) se define el gasto unitario por longitud de cimacio como:

$$q^* = \frac{Q_T}{L_c}$$

Los pasos a seguir, para calcular el perfil del canal colector, son:

- a) En la sección de control se obtiene y_c (la suposición de que en una sección de control se presente el tirante crítico, que en realidad no es cierto, tiene como fin la de lograr la transición teórica de un régimen subcrítico a supercrítico).

A partir de la condición de sección crítica:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A_c^3}{B_c}$$

Para que aguas arriba de la sección de control se asegure un régimen subcrítico se acostumbra construir un escalón, de altura Δz , entre el canal colector y la rápida.

- b) Se revisa que la pendiente del canal colector obligue a tener un régimen subcrítico; se recomienda:

$$0.008 \leq S_o \leq 0.016$$

- c) Se calcula el tirante inmediatamente aguas arriba de la sección de control (despreciando pérdidas).

$$y_2 + \frac{V_2^2}{2g} = \Delta z + y_c + \frac{V_c^2}{2g}$$

- d) Se fijan las secciones de cálculo en el canal colector dando valor a Δx (Se sugiere tener de 5 a 10 secciones de cálculo.
- e) En la ecuación (3.56) se supone un valor de $\Delta y'$ y se calcula el valor de y_1 .
- f) Con y_1 y la geometría se tiene A_1 .

g) $Q_1 = Q_2 - q^* \Delta x$

h) Se obtiene:
$$V_1 = \frac{Q_1}{A_1} \quad S_f = \left(\frac{V_m n}{R_{h_m}^{2/3}} \right)^2$$

Donde:

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

$$R_{h_m}^{2/3} = \left(\frac{A_1 + A_2}{P_1 + P_2} \right)^{2/3}$$

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

- i) Se aplica la ecuación (3.58) y se obtiene $\Delta y'$ calculado.
- j) Se compara $\Delta y'$ calculado con $\Delta y'$ supuesto:

Si $\Delta y'_c = \Delta y'_s$ entonces y_1 es el tirante corecto y se pasa a la sección siguiente cambiando subíndices.

Si $\Delta y'_c \neq \Delta y'_s$ se introduce $\Delta y'_c$ en la ecuación (3.56), se obtiene y_1 y se va al paso f)

Siguiendo el procedimiento hasta terminar con todas las secciones propuestas.

En el diseño de vertedores de canal lateral, es indispensable incluir un análisis de la disipación de la energía de la lámina vertiente en el sentido normal al eje del escurrimiento del canal colector.

C. Viparelli (1975) observó que ésta disipación provoca turbulencias que al combinarse con el movimiento del agua en el sentido longitudinal del canal, da origen a un movimiento en espiral y a un fenómeno pulsatorio en el régimen del escurrimiento dentro del túnel o la rápida de descarga. Al mismo tiempo, se observa un levantamiento del nivel del agua en el talud opuesto a la lámina vertiente y una depresión al pie del mismo.

Este análisis tiene como objeto valuar y ligar las dos fases del escurrimiento: en el sentido normal al eje del vertedor y el longitudinal en el sentido del eje.

Para ello se induce que la cantidad de movimiento que ingresa en la dirección normal a la cresta vertedora en el movimiento considerado, es igual a la cantidad de movimiento adquirida por la lámina vertiente.

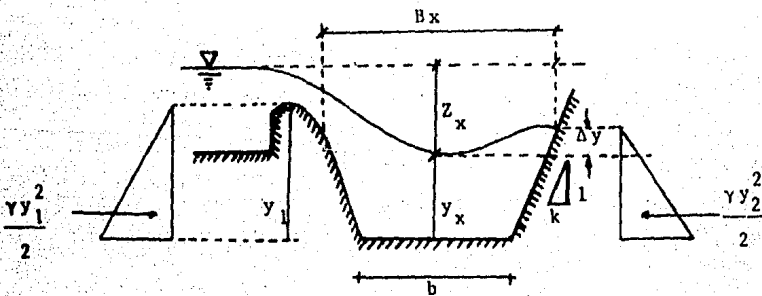


Fig. (3.24) Vertedor de Canal Lateral.

De la Fig. (3.24), aplicando cantidad de movimiento:

$$\frac{\gamma y_2^2}{2} - \frac{\gamma y_1^2}{2} = \frac{\gamma q^*}{g} \quad V_x = \frac{\gamma q^*}{g} \sqrt{2gZ_x}$$

$$\frac{y_2^2 - y_1^2}{2} = \frac{q^*}{g} \sqrt{2gZ_x}$$

Por geometría de la figura y diferencia de cuadrados:

$$\frac{y_2^2 - y_1^2}{2} = \frac{(y_2 + y_1)}{2} (y_2 - y_1) = y_x \Delta y$$

Por lo que:

$$y_x \Delta y = \frac{q^*}{g} \sqrt{2g Z_x}$$

Si la pendiente transversal es:

$$P_t = \frac{\Delta y}{B_x}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior se llega a:

$$P_t = \frac{q^*}{g B_x y_x} \sqrt{2g Z_x} \quad \text{----Ec. (3.59)}$$

Viparelli recomendó que esta pendiente transversal no exceda de un 8 a 10% para asegurar de esta manera un correcto funcionamiento del canal.

El programa que se presenta se basa en el Método de Incrementos Finitos, descrito anteriormente, y consiste en un proceso iterativo.

(Ver Diagrama de Flujo Núm. (3.12)).

El Algoritmo que resulta del Diagrama de Flujo (3.12) es:

- 1 Leer los datos iniciales:

Q.- Gasto total, L_C.- Longitud de Cresta, S₀.- Pendiente del canal colector, n.- Coeficiente de Manning, ----
Δz.- Altura del escalón en el control, g.- Aceleración de la gravedad, M.- Núm. de secciones, características de la sección (según el tipo), tolerancia.

- 2 Se calcula el y_C a partir de $\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T}$

- 3 Cálculo del gasto unitario por longitud de Cresta:

$$q_u = \frac{Q_T}{L_C}$$

y de la distancia entre una sección y otra como:

$$\Delta x = \frac{L_C}{M}$$

- 4 Se calcula el tirante inmediatamente después de la sección de control como:

$$y_{i+1} = y_C + \Delta z$$

- 5 Se propone un valor inicial Δy' en la ecuación (3.56) y se calcula y_i como:

$$y_i = \Delta y' - S_0 \Delta x + y_2$$

- 6 Se calcula el gasto Q_i como:

$$Q_i = Q_{i+1} - q_u \Delta x$$

- 7 Se calculan las características hidráulicas para las secciones i e i+1 (área, velocidad, radio hidráulico, etc.) y las medias (V_m, A_m, R_{h_m}).

- 8 Se calcula S_f como:

$$S_f = \left(\frac{V_m n}{R_{h_m} 273} \right)^2$$

- 9 Se calcula el $\Delta y'$ como:

$$\Delta y' = \frac{1}{g} \left(\frac{V_i + V_{i+1}}{Q_i + Q_{i+1}} \right) Q_i \left[(V_{i+1} - V_i) + (Q_{i+1} - Q_i) \frac{V_{i+1}}{Q_i} \right] + S_f x$$

- 10 Si el valor absoluto de la diferencia entre el $\Delta y'$ su puesto y el $\Delta y'$ calculado es menor o igual a la tole rancia se pasa a la siguiente sección cambiando los -- subíndices.
- 11 Si la diferencia es mayor, $\Delta y'$ supuesto toma el va-- lor de $\Delta y'$ calculado y se regresa al paso 5.
- 12 Obtención de resultados. Fin del Programa.

Cabe aclarar que el programa no analiza los efectos trans-
versales y que el análisis propuesto por Viparelli se presenta
solo como complemento.

Leer: Gasto total Q_T , Longitud de cresta LC , Pendiente del colector S , Coef. de Manning n , altura del escalón en el control de aceleración de la gravedad, No. de secciones M , características de la sección, tolerancia.

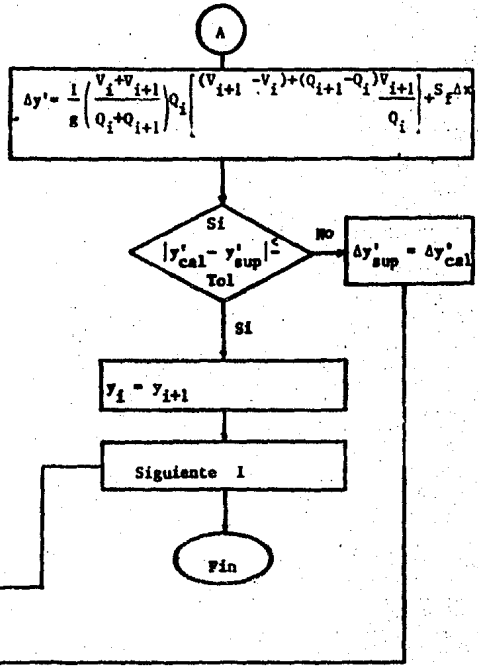
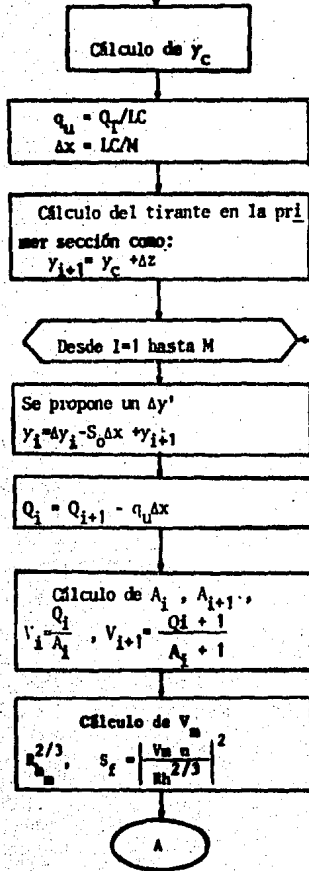


Diagrama de Flujo (3.12) Flujo Espacialmente Variado

3.3 Aplicaciones Afines.

Dado que la hidráulica es una disciplina que estudia las leyes del equilibrio y del movimiento del agua en estructuras que interesan directamente al Ingeniero Civil, existe otra disciplina como complemento para el Diseño de Obras de Ingeniería Hidráulica: La Hidrología, ciencia natural que trata sobre la ocurrencia, circulación y distribución del agua sobre y debajo de la superficie terrestre.

En este subcapítulo se presentan algunas técnicas de la Hidrología superficial de las cuales el Ingeniero Civil obtiene datos de gran importancia que sirven, como ya se mencionó, para el Diseño de Obras de Ingeniería Hidráulica.

3.3.1 Tránsito de Avenidas.

El tránsito de una avenida es una técnica que permite determinar el efecto de almacenamiento de un Cauce o de un Embalse al paso de una Onda de Avenida.

En este trabajo el Tránsito de la Avenida en vasos se puede obtener a través de la Obra de Excedencias (vertedor) o a través del túnel de desvío.

El objetivo de transitar una avenida a través de un vaso de almacenamiento tiene los siguientes propósitos:

- Conocer la evolución de los niveles en el almacenamiento a partir de uno inicial para confirmar si la regla de operación seleccionada es adecuada, de manera que al presentarse la avenida no se pongan en peligro la presa, bienes materiales o vidas humanas

aguas abajo.

- Dimensionar la obra de excedencias durante la etapa de estudios y proyecto.
- Fijar la altura de cortina, y dimensionar las obras de desvío y altura de atagufas.

Para realizar el tránsito es necesario establecer una relación entre el almacenamiento y los gastos de salida. Para establecer esta relación es necesario manejar dos tipos de curvas: la de elevaciones-volúmenes de almacenamiento del vaso, y la de elevaciones-gastos de salida por la obra de excedencias o por el túnel de desvío según el caso. La primera curva se obtiene a partir de los planos topográficos del vaso; la segunda es la curva de descarga de la obra que se trate (vertedor de excedencias o túnel de desvío).

Para el caso de una obra de excedencias la ecuación de la curva está dada por:

$$Q = CL (h - h_c)^{3/2}$$

donde:

Q = Gasto.

C = Coeficiente de descarga del vertedor.

L = Longitud del vertedor.

h_c = Elevación de la cresta vertedora.

h = Nivel del espejo del agua en el vaso ($h > h_c$).

Para el caso de un túnel de desvío la ecuación de la curva está dada por:

$$Q = K_2 h^M$$

donde:

Q = Gasto.

h = Elevación del espejo del agua en el vaso.

K_2 y M son constantes que dependen del ajuste de la curva.

Mediante éstas dos curvas se puede conocer, para cada volumen almacenado en la presa, la elevación del agua y con ésta el gasto de salida, y de ahí la relación volumen de almacenamiento-gasto de salida.

El planteamiento del problema parte de la ecuación de continuidad:

$$\frac{dV}{dt} = I - Q \quad \text{----Ec. (3.60)}$$

donde:

$\frac{dV}{dt}$ es la variación del volumen con respecto al tiempo (gasto).

I Gasto de entrada o hidrograma de entradas.

Q Gasto de Salida.

Se conoce la curva elevaciones-volúmenes en el almacenamiento:

$$V = K \cdot h^N$$

donde:

V.- es la capacidad o volumen.

h.- nivel del agua en el almacenamiento.

K y N constantes que dependen del ajuste de la curva.

De la Ecuación (3.60):

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dh} \frac{dh}{dt} \quad \text{----Ec. (3.61)}$$

entonces:

$$\frac{dV}{dh} = N K h^{N-1}$$

tomando el caso de descarga por vertedor:

$$0 = CL(h - h_c)^{3/2}$$

y haciendo: $C = cL$

$$0 = C (h - h_c)^{3/2}$$

sustituyendo en (3.60):

$$\frac{dh}{dt} (N K h^{N-1}) = I - C (h - h_c)^{3/2}$$

por lo tanto:
$$\frac{dh}{dt} = \frac{I - C (h - h_c)^{3/2}}{N K h^{N-1}}$$

siendo la ecuación diferencial ordinaria a resolver por el método de Euler descrito en el Capítulo II , se llega a:

$$h_{n+1} = h_n + f(h_n, t_n) \Delta t$$

finalmente:

$$h_{n+1} = h_n + \left[\frac{I_n - C_n (h_n - h_c)^{3/2}}{N K h_n^{N-1}} \right] \Delta t$$

Para el caso del túnel de desvío el desarrollo es idéntico pero el gasto de salida está dado por $Q = K_2 h^M$ -Ec.(3.62)

(Ver Diagrama de Flujo Núm. (3.13))

El Algoritmo que resulta del Diagrama de Flujo (3.13) - es:

- 1 Leer las constantes C , L , h_c si la descarga es por un

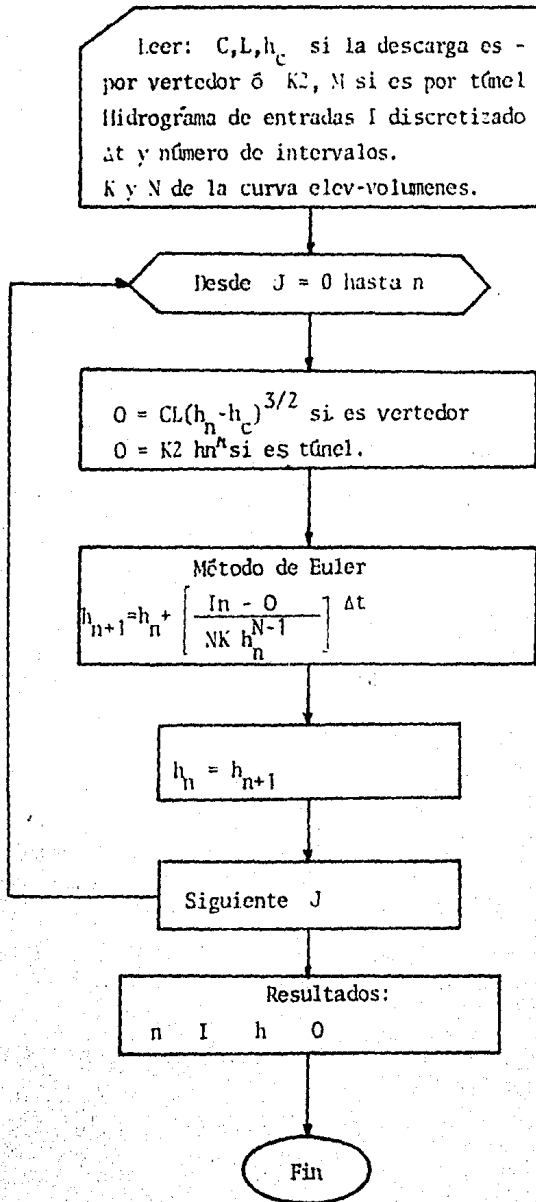


Diagrama de Flujo (3.13) Tránsito de Avenidas.

vertedor ó K_2 y M si la descarga es por un túnel. In-
troducir el hidrograma de entradas discretizado I , el
incremento de tiempo y el número de incrementos, K y N
de la curva elevaciones-volúmenes en el almacenamiento

- 2 Se inicia el proceso iterativo. Para ello primero cal-
cula el gasto de salida dependiendo si la descarga es
por túnel o por vertedor haciendo $O = K_2 h_n^M$ para tú-
nel o $O = C L (h_n - h_c)^{3/2}$ para vertedor tomando el -
primer valor de h_n que corresponde al nivel del agua
correspondiente al instante en que llega o se inicia -
el hidrograma de entradas para la primera iteración.
Para las siguientes iteraciones ya se tiene el nuevo -
valor h_n .
- 3 Se inicia el método de Euler y se calcula la elevación
que corresponde al gasto de salida calculado en el pun-
to anterior como:
$$h_{n+1} = h_n + \left[\frac{I_n - O}{N K h_n^{N-1}} \right] \Delta t$$
- 4 Se hace $h_n = h_{n+1}$ y se regresa al punto 2 con el --
nuevo valor de I y h_n .
- 5 Resultados: intervalo n , hidrograma de entradas I , ni-
vel del agua h_n , hidrograma de salidas.
- 6 Fin del programa.

3.3.2 Avenida de Diseño.

Las avenidas son escurrimientos causados por tormentas
ocasionales que provocan gastos por encima de los normales. -
Para predecir fenómenos que se puedan presentar en el futuro y
que constituyen la base para los estudios destinados a estimar
las avenidas de diseño, es necesario contar con datos recien--

tes de escurrimientos y precipitaciones producidas por tormentas ocurridas en el pasado.

Existen fundamentalmente dos tipos de métodos para la determinación de avenidas de diseño, uno es el estadístico y proporciona información solamente sobre el pico de la avenida, de manera que el volumen se tiene que estimar multiplicando cada una de las ordenadas de la mayor de las avenidas registradas en el pasado, por una constante igual a la relación entre el valor del pico obtenido estadísticamente y el de dicha avenida; el otro es el de relación lluvia-escurrimiento, según el cual se fija un hidrograma modelo que puede modificarse según las lluvias que pueden llegar a ocurrir.

En este trabajo se presentan dos formas para obtener la avenida de diseño, la primera a partir del tiempo pico y el gasto pico conocidos; la segunda a través de la determinación del gasto pico para un periodo de retorno conocido y a partir de los registros históricos. Para ambos casos el método que se propone es el del hidrograma unitario del SCS (Soil Conservation Service).

Cuando se conoce el gasto pico y el tiempo pico función de las características de la cuenca, se aplica directamente el método de S.C.S.

Este método consiste en lo siguiente:

Conocido el gasto pico Q_p y el tiempo pico t_p , el hidrograma se obtiene de la Fig. (3.25) de la siguiente manera:

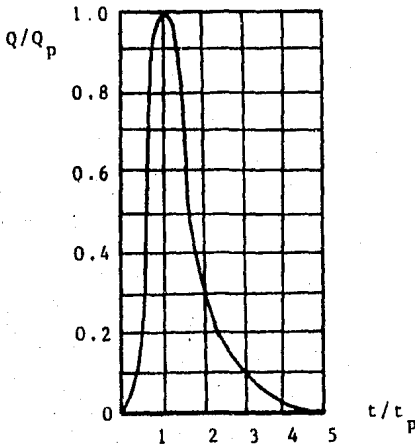


Fig. (3.25) Hidrograma Unitario Adimensional del S.C.S.

- a) Para un valor del t/t_p y a partir de la Fig. --- (3.25) se obtiene Q/Q_p .
- b) Del valor de Q/Q_p se despeja el valor del Q ya que se conoce el gasto pico.
- c) Del valor de t/t_p se despeja el valor del t ya que se conoce el tiempo pico.
- d) El procedimiento se repite para tantas veces como sea necesario para definir la forma del hidrograma de la avenida de diseño.

Como no se conoce el gasto pico este se obtiene por medio del Método de Gumbel a través de los registros de los gastos máximos históricos. Este método consiste en determinar el valor del gasto pico para un periodo de retorno determinado, dicha enunciación es:

$$Q = a + c \ln \ln \frac{T_m}{T_m - 1} \quad \text{--Ec. (3.63)}$$

para determinar los valores de a y c se realiza un ajuste

por medio del Método de los mínimos cuadrados conocido como -- Método de Nash, y consiste en lo siguiente:

a) Se ordenan de mayor a menor los gastos máximos Q_i de un número n de años sucesivos y se les asigna un valor r_i que corresponde al número de orden del arreglo descrito.

b) Se estima para cada gasto un periodo de retorno definido por:

$T_m = \frac{n + 1}{r_i}$ y, sucesivamente se calcula, para cada gasto, el cociente: $\frac{T_m}{T_m - 1}$ y el logaritmo natu

ral del logaritmo natural de dicho cociente y se designa como:

$$x_i = \frac{T_m}{T_m - 1}$$

c) Se obtiene Q_i^2 , x_i^2 y $x_i Q_i$ y la sumatoria de los Q_i , Q_i^2 , x_i , x_i^2 y $x_i Q_i$ desde $r = 1$ hasta n .

d) Se obtienen las medias como:

$$Q_m = \sum \frac{Q_i}{n} \quad \text{y} \quad \bar{x} = \sum \frac{x_i}{n}$$

e) Se determinan las constantes a y c como:

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i Q_i) - n \bar{x} \bar{Q}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2}$$

$$a = \bar{Q} - c \bar{x}$$

Y el gasto pico se obtiene a partir de la ecuación -- (3.63) con los valores de a y c obtenidos para un periodo de retorno T_m conocido.

Una vez que se conoce el gasto pico, se puede calcular la avenida de diseño a partir del Método del Hidrograma del S.C.S descrito anteriormente.

Para el Método descrito se presenta el Diagrama de Flujo (3.14)

El Algoritmo que resulta del Diagrama de Flujo (3.14) es:

- 1 Leer el tiempo pico.
- 2 Preguntar si se conoce el gasto pico, si se conoce se va a 6 , si no se va a 3.
- 3 Leer los gastos máximos históricos de mayor a menor y el periodo de retorno.
- 4 Inicia el método de Nash para obtener a y c de la ecuación de Gumbel.
- 5 Cálculo del gasto pico a partir de los valores a y c obtenidos para el periodo de retorno dado T_m como
$$Q_p = a + c \ln \ln \frac{T_m}{T_m - 1}$$
- 6 Leer el valor del gasto pico.
- 7 Cálculo de la avenida de diseño por el método del hidrograma unitario del S.C.S. , proponiendo t/t_p , obteniendo Q/Q_p y calculando los valores de t y Q para un determinado número de intervalos del tiempo pico
- 8 Fin del programa.

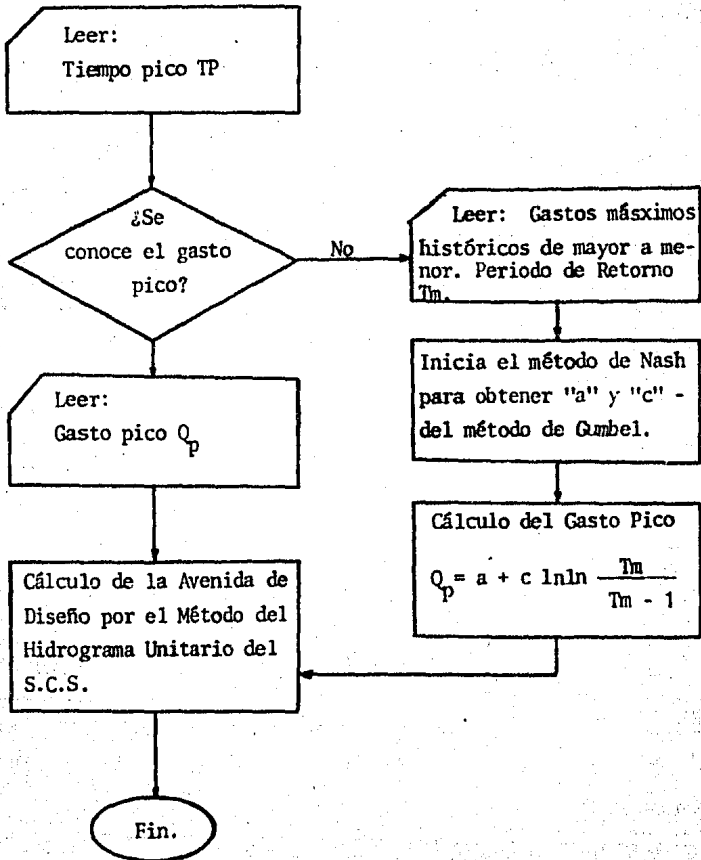


Diagrama de Flujo (3.E4) Avenida de Diseño.

3.3.3 Optimización de Recursos Hidráulicos en Riego.

En un problema de potimización, se busca maximizar o minimizar una cantidad específica llamada objetivo, la cual depende de un número finito de variables de entrada. Estas variables pueden ser independientes entre sí o estar relacionadas a través de una o más restricciones.

El método que aquí se emplea para optimizar es el método Simplex el cual es un procedimiento matricial para resolver programas lineales expresados en forma estandar. A continuación se hace el planteamiento del problema de programación lineal para la aplicación del método.

Sea la función objetivo:

Max ($C^T X$) o también, función beneficio ó costos para minimizar en donde:

C^T .- es el vector de coeficientes de la función objetivo incluyendo todas las variables.

Lo anterior representa la determinación de la cantidad que se optimizará y que debe expresarse como una función matemática. Hacer esto sirve para definir las variables de entrada.

Se deben identificar todos los requerimientos, restricciones y limitaciones estipulados y expresarse también matemáticamente. Estos requerimientos representan las restricciones Además deben expresarse todas las condiciones ocultas. Tales condiciones no están estipuladas explícitamente en el problema pero se hacen evidentes a partir de la situación física para la que se está planteando el modelo. Generalmente, involucran

requerimientos de no negatividad para las variables de entrada.

Esto es, existe un espacio de oportunidades: $Ax = B$

donde:

A.- es la matriz de los coeficientes de las restricciones.

x.- es el vector de variables.

B.- es el vector columna de términos independientes.

a) Las restricciones como ya se dijo pueden ser por no negatividad:

$$x_i \geq 0$$

Si las restricciones lineales son de la forma:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \sim b_i$$

donde \sim representa una de las relaciones:

\leq , \geq , $=$ (no necesariamente la misma i). Las constantes b_i se pueden considerar siempre como no negativas.

b) Las restricciones de desigualdad pueden ser:

Una restricción lineal de la forma: $\sum a_{ij} x_j \leq b_i$ se puede convertir en una ecuación, agregando una nueva variable no negativa al lado izquierdo de la desigualdad. Esta variable es numéricamente igual a la diferencia entre el lado izquierdo y el derecho de la desigualdad, y se conoce como Variable de Holgura.

$$\leq b_i \Rightarrow \dots + x_{i+1} = b_i$$

donde: x_{i+1} es la variable de holgura.

Una restricción lineal de la forma $\sum a_{ij} x_j \geq b_i$ se puede convertir en una desigualdad, restando una --

nueva variable no negativa del lado izquierdo de la desigualdad. Esta variable es numéricamente igual a la diferencia entre los lados izquierdo y derecho de la desigualdad; y se conoce como variable Superflua.

Después de que todas las restricciones lineales se han transformado se debe agregar una nueva variable llamada Variable Artificial al lado izquierdo de cada restricción que no -- contenga una variable de holgura con lo que se llega a:

$$\geq b \Rightarrow \dots -x_{i+1} + M x_{i+2} = b$$

donde: x_{i+1} es la variable superflua.

Mx_{i+2} es la variable artificial.

Si se agregan variables artificiales se deben ligar a - coeficientes de penalización M_j (+) minimización, (-) maximización y no deben ser muy grandes.

Al plantear el problema en forma estandar se llega a:

Función objetivo a optimizar: $Z = C^T x$

Con la condición: $Ax = B$

Con: $x \geq 0$

Y solución factible inicial: $x_0 = B$

donde $B \geq 0$ y es conocida una solución factible inicial x_0 . Empezando con x_0 , el método localiza sucesivamente otras soluciones factibles básicas que tienen mejores valores del objetivo, hasta obtener la solución óptima.

Se genera la tabla matricial para el método Simplex y se resuelve.

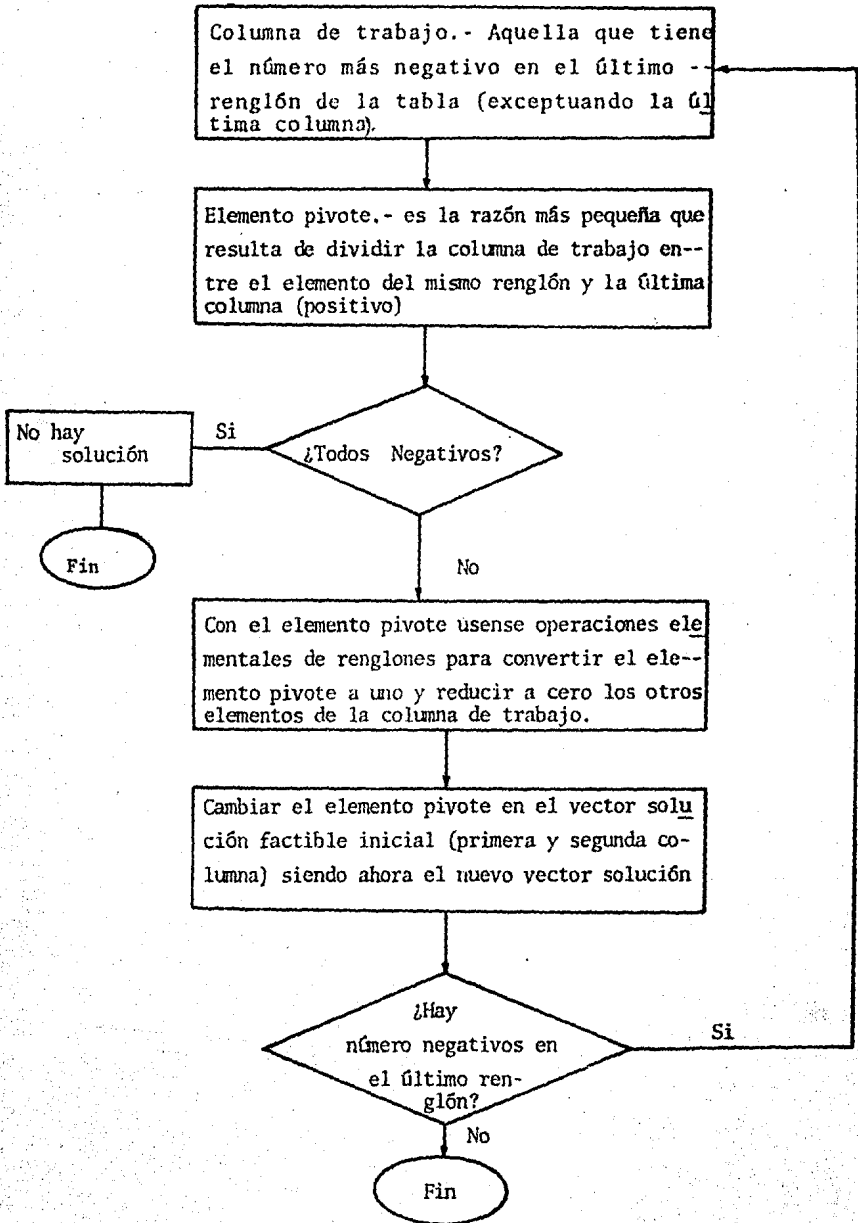


Diagrama de Flujo (3.15) Método Simplex.

		x^T	
		C^T	
x_0	C_0	A	B
		C_0^T	$A - C^T$
			$C_0^T B$

Para minimizar se multiplica por (-1) el último renglón.

A continuación el método se explica en el Diagrama de Flujo Núm. (3.15).

El Algoritmo que resulta del Diagrama de Flujo (3.15) es:

- 1 Leer el número de variables (Holgura, artificial y superflua), número de restricciones.
- 2 Se introduce la tabla simplex en forma estándar simplificada. La matriz debe ser introducida por renglones.
- 3 Se inicia el Método Simplex como se explicó en el Diagrama de Flujo (3.14)
- 4 Fin.

3.3.4 Simulación del Funcionamiento de un Vaso de Almacenamiento.

La simulación del funcionamiento de un vaso tiene como objetivo contabilizar la evolución de los volúmenes almacenados en función de la hidrología de la cuenca del proyecto. Dicha evolución depende de la política de operación que se dise-

ne, la cual se expresa definiendo el régimen de aportaciones - destinadas a surtir la demanda y debe estar sujeta a ciertas - restricciones.

Los pasos que se siguen son los siguientes:

- a) Se fija tentativamente una capacidad.
- b) Se simula mediante un modelo matemático el funcionamiento del vaso con esa capacidad, llevando una contabilidad de lo que queda almacenado al final de cada intervalo, tomando en cuenta los volúmenes que ingresan y salen en ese intervalo y el que había almacenado al principio de él (final del intervalo anterior).

$$V_i = V_{i-1} + E_i - S_i \quad \text{---Ec. (3.64)}$$

Donde:

V_i .- Volumen almacenado en el tiempo i .

V_{i-1} .- volumen almacenado en el instante $i-1$

E_i .- volumen que entra al vaso.

S_i .- salidas que se deben a las demandas, - evaporación, derrames, y en algunos casos al % de infiltración.

Considerando faltantes (cuando no se pueda surtir la demanda) y derrames (cuando sobra el agua por exceder la capacidad).

Esta simulación se hace para cubrir un periodo determinado por ejemplo, el periodo histórico del registro de datos hidrométricos, o varios periodos, por decir algo 50 años con datos sintéticos.

c) Se analizan los resultados de la simulación y se --
comparan con ciertos "índices de buen funcionamien-
to" generalmente como limitaciones admisibles en --
las deficiencias. Como ejemplo de éstos índices se
tienen.

-- Que el porcentaje de años en que aparezcan defi-
ciencias sea menor o igual al 20 %

-- En cada 10 años a lo mucho en dos ocasiones se
deben presentar deficiencias en dos años segui-
dos. Para tres años seguidos el funcionamiento
es inadmisibile.

-- La deficiencia máxima anual debe ser menor o ---
igual al 15 % de la demanda.

-- La deficiencia máxima mensual debe ser menor o
igual al 50 % de la demanda mensual.

Si lo anterior no se cumple es necesario aumentar la --
capacidad.

En el caso de que se cumpla se pueden presentar dos ca-
sos:

- 1.- Que se cumpla ahogadamente y entonces se debe dismi-
nuir la capacidad y repetir el funcionamiento.
- 2.- Que se cumpla ajustadamente con lo que se admite la
capacidad.

Dentro de la simulación existen ciertas restricciones y
condiciones de frontera:

- a) Para el caso más simple cuando no se considera eva-
poración . La frontera de límite inferior está da-
da por: $V_i \geq 0$

Es decir que el volumen almacenado en el instante i sea mayor que cero.

Si el segundo miembro da menor que cero, considerando que se surte la demanda del intervalo i , debe ajustarse la extracción para que $V_i = 0$ que representa el déficit y es la diferencia por surtir.

La frontera del límite superior está dada por:

$V_i < C$, e indica que el volumen sea menor que la capacidad fijada.

Si el segundo miembro da mayor que la capacidad, debe ajustarse la salida añadiendo el derrame, siendo el derrame en el instante i .

$$\text{Derr}_i = V_{i-1} + E_i - S_i - C$$

y se deja $V_i = C$.

Para iniciar la simulación se debe establecer el volumen inicial (V_0) almacenado al principio del intervalo $i = 1$. Este valor se supone tomando en cuenta la probabilidad de llenado del vaso en el intervalo inicial (por ejemplo al final de la época de avenidas ya que se tiene el vaso lleno) y se puede verificar al final haciendo las correcciones necesarias y repitiendo el funcionamiento.

- b) Cuando se considera la evaporación (para vasos muy grandes).

En cada intervalo de tiempo se conoce:

E_{i-1} , V_{i-1} de la curva elevaciones capacidades.
 A_i de la curva elevaciones-áreas del embalse

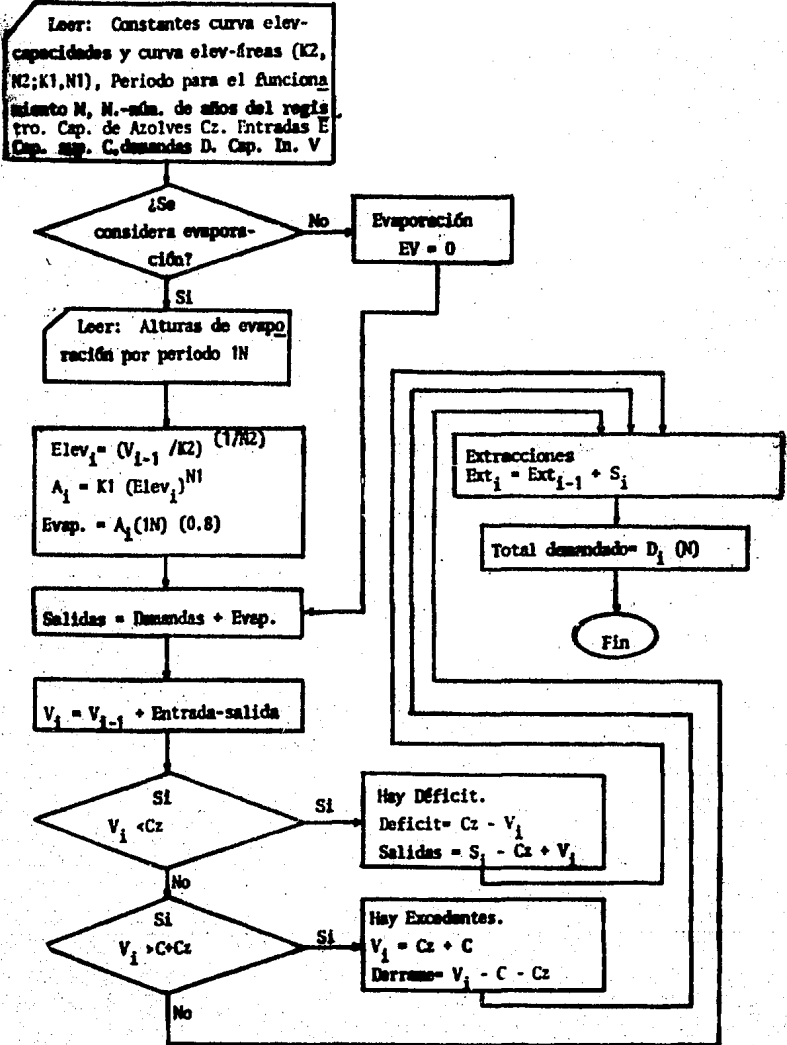


Diagrama de Flujo (3.15) Funcionamiento de Vaso.

por lo que la evaporación se obtiene a partir de:

$$\text{Evap}_i = A_i (h_{\text{evap neta}_i}) \quad \text{-----Ec. (3.65)}$$

Donde:

Evap_i .- Evaporación en el instante i (se debe en las salidas)

A_i .- Area del embalse en el instante i .

$h_{\text{evap neta}_i}$.- índice de evaporación que se obtiene a través de índices hidrológicos.

El funcionamiento se hace igual que en el caso anterior pero aumentando la evaporación además de considerar:

Para el derrame capacidad + capacidad de azolves en lugar de considerar solamente la capacidad.

Para el déficit el volumen inicial debe ser mayor o --- igual que la capacidad de azolves en lugar de $V_i \geq 0$

(Ver Diagrama de Flujo Num. (3.16))

El Algoritmo que resulta del Diagrama de Flujo (3.16) -

es:

1 Leer los datos iniciales:

Constantes de la curva: elevaciones-áreas

$$\text{Area} = K1 (\text{Elev})^{N1}$$

Constantes de la curva: elevaciones-capacidades.

$$\text{Vol} = K2 (\text{Elev})^{N2}$$

Periodo para el funcionamiento del vaso.

Número de años del registro.

Capacidad supuesta C.

Capacidad de azolves CZ.

Entradas E.

Capacidad Inicial V.

Demandas por periodo D.

- 2 Si no se considera evaporación $EV = 0$ y se va a 4.
Si se considera evaporación se deber introducir los valores de las alturas de evaporación por periodo $1N$.
- 3 Se calcula la evaporación a partir de las curvas elevaciones-capacidades y elevaciones-áreas. Para ello se calcula una elevación a partir de la primera curva con el volúmen que se tiene, con esa elevación se calcula el área que le corresponde para después obtener la evaporación en el instante o tiempo que se trate.

$$Elev_i = \left(\frac{V_{i-1}}{K^2} \right)^{1/N^2}$$

$$Area_i = K1 (Elev_i)^{N1}$$

$$E_{V_i} = A_i (1N) 0.8$$

el valor 0.8 corresponde a la constante del evaporímetro.

- 4 Se obtienen las salidas de la suma de las demandas más la evaporación.
- 5 Se obtiene el volumen para ese instante a partir de:

$$V_i = V_{i-1} + Entradas - Salidas.$$

- 6 Se compara el volumen calculado con la capacidad de -- azolves, si el volumen es menor hay déficit y se calcula como la capacidad de azolves menos el volumen calculado y se calculan las salidas como:

$$S_i = S_{i-1} - Cz + V_i \text{ y se va a } 8.$$

- 7 Si el volumen es mayor a la capacidad de azolves lo -- compara ahora contra la suma de la capacidad supuesta con la de azolves. Si el volumen calculado es mayor hay excedentes siendo $V_i = Cz + C$ y el derrame igual a:

$$\text{Derrame} = V_i - C - Cz$$

- 8 Si el volumen calculado no es mayor que la capacidad - supuesta más la capacidad de azolves, se calculan las extracciones como:

$$\text{Ext}_i = \text{Ext}_{i-1} + S_i$$

- 9 El proceso se repite a partir del punto 3 según el número de períodos para el funcionamiento.
- 10 Los totales de demanda, extracción, entrada, evaporado déficit y de derrame se obtienen de sumar todos los resultados dependiendo nuevamente del número de periodos que se tengan.

C A P I T U L O - I V

IV.0.0. PROGRAMACION DE LOS ALGORITMOS.

4.1. FORMACION DEL PAQUETE.

4.2. DOCUMENTACION.

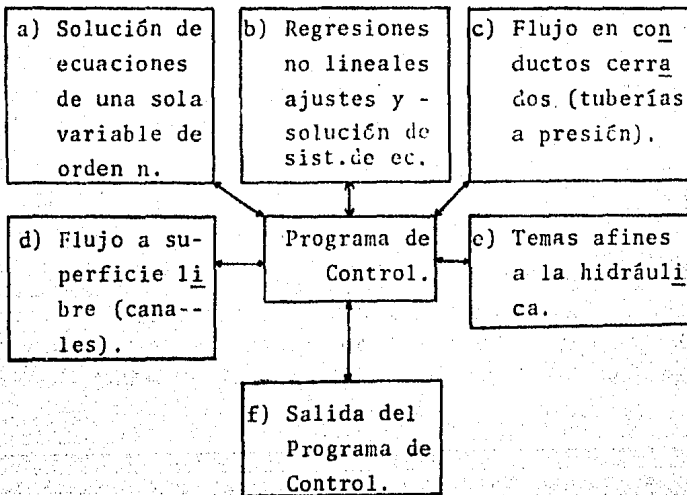
4.3. MANUAL DEL USUARIO.

IV.0.0. PROGRAMACION DE LOS ALGORITMOS.

Hasta este momento solamente se ha presentado el planteamiento de los problemas con el método de solución propuesta; por lo tanto a continuación se presenta una guía respecto al paquete de programas elaborados para la solución de los métodos mencionados, así como una guía para el uso del mismo y la descripción de cada programa. También se incluye un instructivo para la máquina para la cual fué elaborado el paquete.

4.1. Formación del paquete.

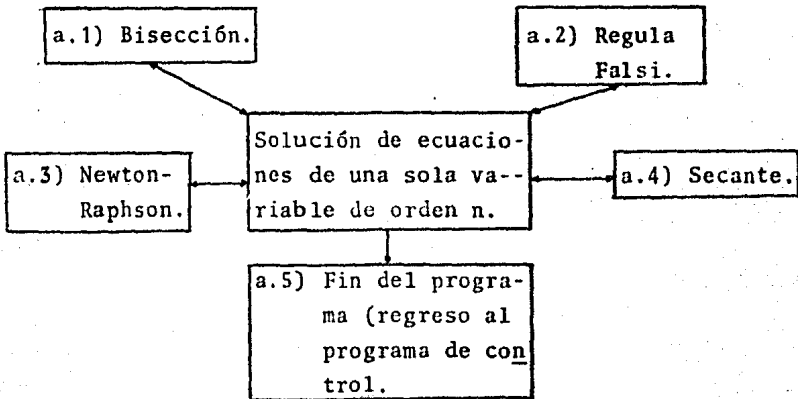
El paquete consta de un programa de control a través del cual se manejan los temas y métodos disponibles, dicho paquete está estructurado de la siguiente manera:



En todos los casos se puede regresar al programa de control o viceversa a excepción de la salida del programa de control con el cual como su nombre lo indica es la salida cuando ya no se requiere ser usado ninguno de los programas.

a).- Solución de ecuaciones de una sola variable de orden n.

Este programa esta estructurado de la siguiente manera:



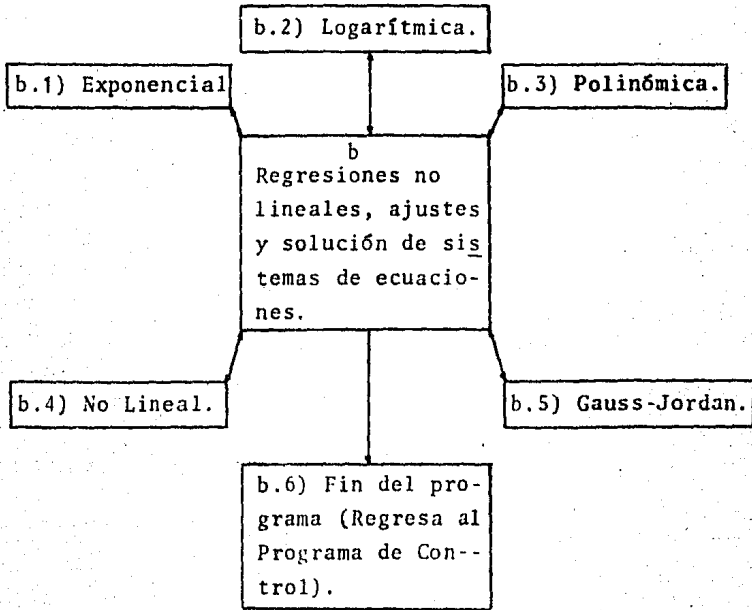
Como se observa consta de cuatro métodos los cuales resuelven una ecuación con una sola incognita y de orden n, esto con la finalidad de escoger el que, a criterio de cada quien, sea el más conveniente.

Todos los programas regresan al programa a y viceversa excepto el a.5) Fin del programa con el cual se regresa al programa de control.

b).- Regresiones no lineales, ajustes y solución de sistemas de ecuaciones.

Para el caso de ajustes de curvas se proponen 4 métodos dependiendo del tipo de curva y ajuste que se quiera. Para la solución de sistemas de ecuaciones se propone el método de

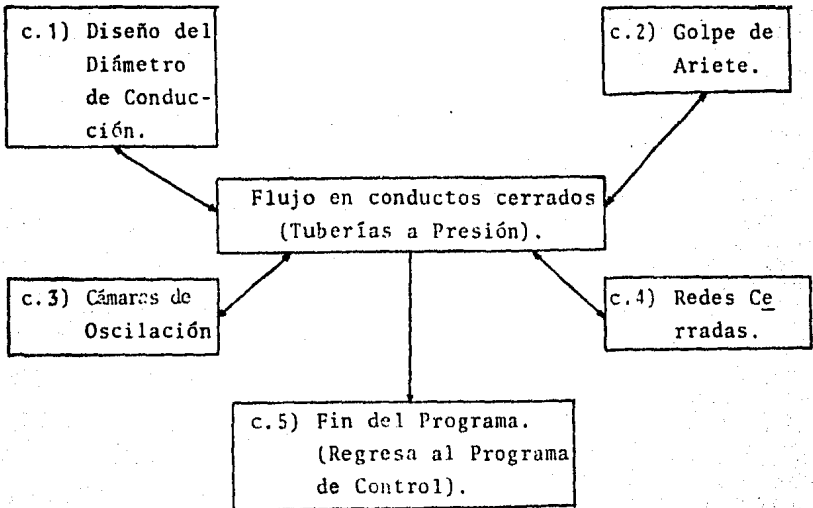
Gauss-Jordan. Los programas se manejan de la siguiente manera:



Al igual que en el programa anterior todos los programas se manejan a través del programa b; el b.6) sirve para regresar al programa de control.

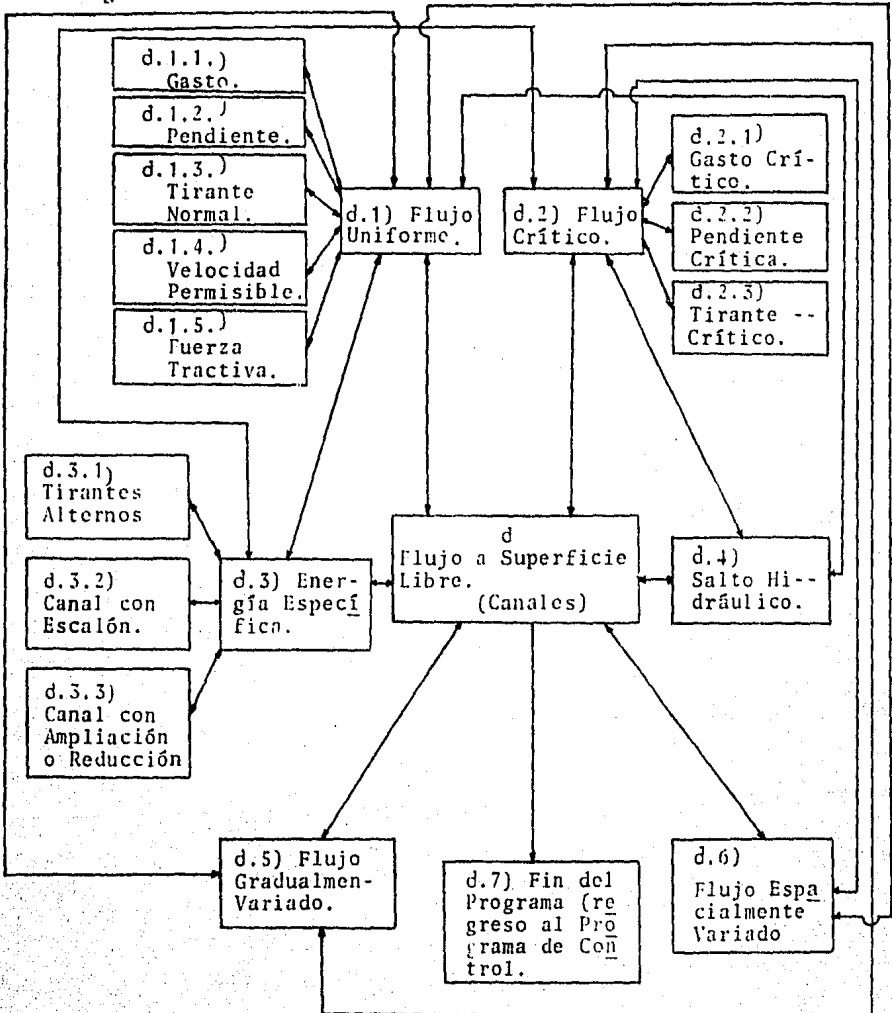
c).- Flujo en conductos cerrados (Tuberías a presión).

Las opciones que se presentan en este programa son las siguientes:



d).- Flujo a superficie libre (canales).

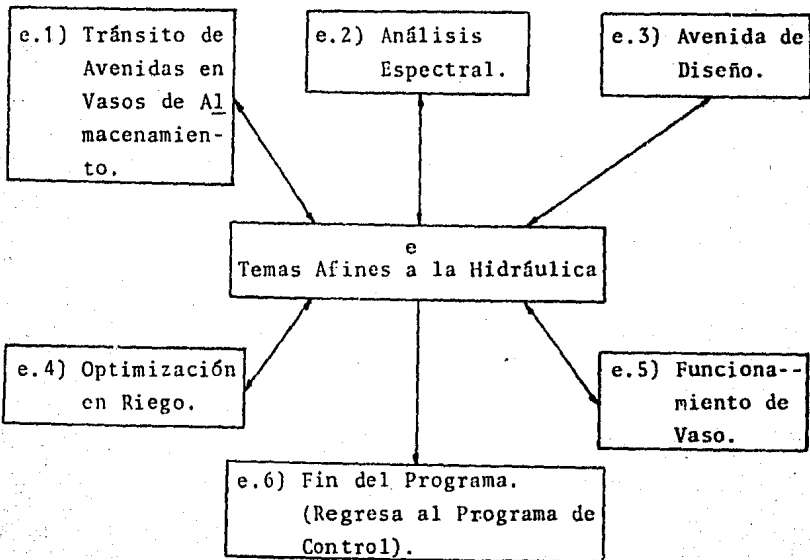
En este programa a diferencia de los demás, las opciones existentes se relacionan una con otra, es decir una opción jala a otra dado que así se planteo. La estructura es la siguiente:



Como se observa todos los programas en este caso están relacionados uno con otro ya que las opciones que se presentan son dependientes entre sí; esto se explicará mas adelante

e).- Temas afines a la Hidráulica.

Este programa maneja en su mayoría problemas de Hidrología a excepción de uno que es el de Análisis Espectral. La estructura es la siguiente:



Al igual que en los casos anteriores, los programas se manejan por un directorio al cual pueden regresar una vez que así se requiera y, también existe una salida para regresar al programa de control.

En la siguiente parte se van a describir las variables que intervienen en cada programa así como lo que se puede obtener haciendo uso de ellos.

4.2. Documentación.

En forma breve se describirán las variables de cada programa así como las diferentes opciones que presentan.

4.2.1 Programa de Control.

Es el programa a través del cual se maneja todo el paquete; en él se encuentra el archivo que esta compuesto de -- los programas presentados anteriormente para seleccionar la - opción deseada.

En todos los programas se manejan dos variables para - preguntar si se desea otro cálculo y/o para impresión de re-- sultados.

En este programa solo se maneja una variable que sirve para seleccionar el programa deseado.

4.2.2 Solución de ecuaciones con una sola variable de orden n

Consta de cuatro métodos para resolver una ecuación del tipo:

$$A_1x^n + A_2x^{n-1} + A_3x^{n-2} + \dots + A_{(n-1)} = 0$$

Se maneja una variable para seleccionar el método deseado.

Los métodos de los que se dispone son Bisección, Regu-- la-Falsi, Newton-Raphson y el método de la Secante.

Para los cuatro casos las variables que intervienen son

N .- Grado de la Ecuación.

A y B .- Intervalo dentro del cual se encuentra la posible solución.

FA y FB .- Funciones valuadas en el punto A y B del intervalo.

C .- Solución

FC .- Función valuada en el punto C.

X .- Variable que corresponde a la incógnita y que se iguala con C cuando se tiene la solución.

T .- Tolerancia.

A(I) .- Coeficientes del polinomio.

En el Método de Newton-Raphson no se introduce como rango de solución un intervalo sino que solamente un valor que sea aproximado a la solución.

4.2.3 Regresiones no lineales, ajustes y sistemas de ecuaciones.

Se presentan cuatro métodos para ajustar curvas:

Exponencial, Logarítmica, Polinómica y No Lineal.

Para la solución de sistemas de ecuaciones lineales se aplica el método de Gauss-Jordan.

Al igual que en el programa anterior se maneja una variable para seleccionar el método deseado.

Las variables que intervienen en los programas para el ajuste de curvas son las siguientes:

N .- Número de pares ordenados de datos.

X(I) .- Absisas.

Y(I) .- Ordenadas.

L1, L2, L3, L4, L5.- Operadores.

J1, J2, J3, J4 .- Operadores.

Para el Método de Gauss-Seidel las variables son:

N, M .- Para dar el orden de la matriz.

$A(I, J)$.- Elementos de la matriz.

Todas las demás variables dentro del programa son operadores.

4.2.4 Flujo en Conductos Cerrados.

Consta de cuatro programas que se manejan a través de una sola variable para seleccionar a cada uno de ellos.

a) Diseño del diámetro de Conducción.

Este programa calcula el diámetro de conducción de una sola línea con accesorios de entrada, locales y con o sin máquinas hidráulicas (bomba o turbina). Las variables son las siguientes:

Q.- Gasto en la conducción.

L.- Longitud de conducción.

Z_1 .- Nivel del agua inicial.

Z_2 .- Nivel del agua final.

P.- Potencia de la máquina.

KE, KC, KV, coeficientes de pérdidas locales.

V.- Velocidad.

F.- Factor de ficción para cálculo de pérdidas por ficción.

EF.- Eficiencia de la máquina hidráulica.

RE.- Número de Reynolds.

A.- Area de la Conducción.

D.- Diámetro.

GA.- Peso específico del agua

Todas las demás variables son operadores.

b) Golpe de Ariete.

Calcula los valores de presión en el punto de la maniobra debidos al Golpe de Ariete. Así mismo proporciona los esfuerzos que se generan en la tubería. Se manejan cinco opciones - dependiendo del tipo de maniobra.

- Cierre Gradual.
- Cierre Parcial.
- Apertura Gradual.
- Apertura Parcial.
- Cierre Brusco.

Las variables que intervienen son:

- H_0 .- Carga en el embalse.
- L.- Longitud de la conducción.
- Q.- Gasto conducido.
- D.- Diámetro de la conducción.
- E_s .- Módulo de elasticidad de la tubería.
- E.- Espesor de la tubería.
- G.- Aceleración de la gravedad.
- GA.- Peso específico del agua.
- T.- Periodo.
- C.- Celeridad.
- DH.- Sobrecarga máxima (efecto de Joukovsky).
- EW.- Módulo de elasticidad del agua.
- TE.- Pasos programados en la maniobra.
- TI.- Pasos cerrados o abiertos en la maniobra.
- V.- Velocidad.

Todas las demás variables son operadores.

c) Cámaras de Oscilación.

Con este programa se obtienen las oscilaciones en una Cámara debidas a una maniobra de cierre, que puede ser:

- Total 6
- Parcial.

Las Variables son:

- DG.- Diámetro de la Galería de Conducción.
- DC.- Diámetro de la Cámara de Oscilación.
- Q.- Gasto en la Conducción.
- V.- Velocidad en la Conducción.
- AG.- Area de la Galería de Conducción.
- AC.- Area de la Cámara de Oscilación.
- L.- Longitud de la conducción.
- N.- Coeficiente de Manning.
- R.- Radio Hidráulico.
- Z_O.- Pérdidas debidas a la fricción.
- H_B.- Carga de Generación.
- EF.- Eficiencia de Generación.
- PF.- Potencia.
- T.- Incremento de tiempo.
- PC.- Porcentaje de cierre.

Todas las demás variables son Operadores dentro del programa.

d) Redes de Agua Potable.

A partir de una distribución inicial de gastos y suponiendo el sentido de los mismos en una red, este programa calcula los gastos que circulan por la red y la carga que se tiene en cada nudo y además indicar el sentido de cada gasto en los tubos. Las Variables son :

N1.- Número de tubos.

N.- Número de nudos.

Q.- Gasto en los tubos.

D.- Diámetro de los tubos.

L.- Longitud.

Q1.- Gasto requerido en cada nudo.

Q2.- Gasto supuesto en cada nudo.

H.- Carga supuesta en cada nudo.

A(I,J).- Elementos de la matriz ampliada para método de Gauss-Jordan.

V.- Velocidad.

K.- Pérdidas por fricción.

N.- Coeficiente de Manning.

Todas las demás variables funcionan como operadores dentro del programa.

4.2.5 Flujo a Superficie libre.

Este programa consta de seis opciones las cuales están relacionadas entre sí. Las seis opciones requieren del uso de tres subrutinas que son:

-Cálculo de las características hidráulicas para una sección dada.

-Cálculo del tirante Crítico.

-Cálculo del tirante Normal.

Los cálculos de que se dispone son:

a) Flujo Uniforme.

Con este programa se proponen 5 opciones:

- a.1) Cálculo del Gasto.
- a.2) Cálculo de la pendiente.
- a.3) Cálculo del tirante normal.

Y se pueden realizar para una sección triangular, rectangular, trapecial o circular.

Las dos opciones restantes son:

- a.4) Diseño de un Canal Trapecial por el método de la velocidad permisible.
- a.5) Diseño de un Canal Trapecial por el método de la -- fuerza tractiva.

Para los casos a.1, a.2 y a.3 se parte de la ecuación --- (3.26) descrita en la sección 3.2.1 y consiste en valuar una incongnita.

Para el caso a.4 el programa consiste en diseñar un canal no revestido por el método de la velocidad permisible siendo ésta función del tipo de suelo dependiendo si es cohesivo o -- no cohesivo. El método consiste en resolver un sistema de -- ecuaciones con dos incognitas, teniendo al área hidráulica y al perímetro mojado ambos en función del ancho de plantilla y del tirante.

Las variables que intervienen para éstas 5 opciones son:

Q.-Gasto.

- R.- Radio Hidráulico.
 - P.- Perímetro mojado.
 - A.- Area Hidráulica.
 - BO.- Ancho de plantilla.
 - Y1.- Tirante hidráulico de la sección.
 - y.- Tirante.
 - K.- Talud.
 - S.- Pendiente.
 - N.- Coeficiente de Manning.
 - YC.- Tirante Crítico.
 - D.- Diámetro (para sección circular).
 - V.- Velocidad Media.
 - V_p.- Velocidad permisible.
 - BL.- Bordo Libre.
 - F1.- Angulo de reposo del material (para método de la --- fuerza tractiva).
 - EN.- Relación de vacios.
 - D9.- Diámetro D₇₅
 - E.- Energía mínima.
 - G.- Aceleración de la Gravedad.
- Todas las demás variables son operadores.

b) Flujo Crítico.

Sirve para calcular el tirante crítico en una sección --- triangular, rectangular, trapecial o circular. El método con siste en resolver la ecuación (3.35) de régimen crítico por iteraciones sucesivas.

Las variables son las mismas que para flujo uniforme in--cluyéndose:

- B.- Ancho de superficie libre.

También con este programa se puede obtener el Gasto y -- Pendiente Críticos.

c) Energía Específica.

Con este programa se puede obtener como primera opción -- los tirantes alternos para una energía dada y un gasto constante para tres secciones: Triangular, rectangular y trape-- cial.

Con la segunda opción se puede obtener el tirante en un canal con un escalón ascendente o descendente conocidas las - características aguas arriba del escalón. Las secciones del canal en este caso son dos: Rectangular y trapecial.

La tercera opción permite determinar el tirante en un ca - nal rectangular con una ampliación o reducción partiendo de que se conocen las características aguas arriba del cambio.

Para las tres opciones se obtiene un polinomio de grado n - teniendo como incognita el tirante y se resuelve por el méto - do de bisección, fijando los límites a partir del tirante crí - tico.

Las variables que intervienen en este programa tienen el mismo significado que en el programa de Flujo Uniforme, por tanto a continuación solo se describen las variables que no - se han presentado:

- T.- Tolerancia.
- FR.- Número de Froude.
- B1.- Ancho mínimo para contracción.
- Z.- Altura de escalón.
- AZ.- Escalón máximo ascendente.

d) Salto Hidráulico.

Este programa permite calcular los conjugado mayor o me--

nor para una sección triangular, rectangular o trapezoidal conociendo las condiciones en régimen subcrítico o supercrítico

El método consiste en resolver un polinomio de grado n teniendo como única incógnita el tirante, ya sea en régimen subcrítico o supercrítico, por el método de bisección.

Las variables que se manejan siguen siendo las mismas que en el programa de flujo uniforme además de:

M.- Función Momentum.

MM.- Función Momentum Mínima.

e) Flujo Gradualmente Variado.

Este programa sirve para calcular el perfil del flujo que se presenta para distintas condiciones de escurrimiento, es necesario conocer el tipo de sección, el gasto a conducir, la pendiente del canal, el coeficiente de rugosidad de Manning y la distancia entre las cuales se desean los tirantes del perfil. El método que se aplica es el de Incrementos Finitos y se parte de un tirante conocido.

Las variables siguen siendo las mismas que hasta ahorita se han usado en flujo a superficie libre.

Se tiene como única variable nueva:

N.- Que para este caso es el número de secciones en el cálculo.

f) Flujo Espacialmente Variado.

Sirve para obtener el perfil de un flujo espacialmente variado en un canal colector de un vertedor lateral. El problema

La se resuelve por medio de diferencias finitas.

La variable que interviene además de las ya mencionadas - en este programa es:

LC.- Longitud de la Cresta Vertedora.

Todas las demás variables que se utilizan en todo el programa de flujo a superficie libre sirven como operadores.

4.2.6 Temas Afines a la Hidráulica.

Las opciones que este programa presenta con las siguientes:

a) Tránsito de Avenidas.

Con él, se puede transitar una avenida discretizada en N intervalos de tiempo y se dispone de dos estructuras de salida, que pueden ser: Un Túnel de Desvío o un Vertedor de Excedencias.

El problema se resuelve haciendo uso del Método de Euler para resolver ecuaciones diferenciales.

Las variables que intervienen son:

L.- Longitud de Cresta del Vertedor.

C.- Coeficiente de descarga del Vertedor.

HC.- Altura de la Cresta.

CT y M.- Constantes de la ley de descargas para el caso del túnel.

HU.- Altura del umbral también para el caso del túnel.

K y N.- Constantes de la curva elevaciones capacidades.

D.- Incremento de tiempo.

N1.- Número de incrementos.

H(I).- Nivel del agua en el embalse.

E(I).- Gastos de entrada.

O(I).- Gastos de Salida.

Todas las demás variables que no se describen trabajan como operadores del método.

b) Análisis Espectral.

Es la aplicación a registros del análisis de la transformada de Fourier para obtener el espectro de un registro utilizando el criterio de densidad espectral. Las variables son:

N1.- Número de datos del registro.

R(I).- Datos del registro.

D.- Incremento de tiempo entre datos.

a.- Parte Real.

i.- Parte Imaginaria.

S_n .- Densidad Espectral.

A_n .- Amplitud.

F_n .- Frecuencia.

ΔF .- Incremento de frecuencia.

Al igual que en los demás programas las otras variables que intervienen trabajan como operadores.

c) Avenida de Diseño.

Genera la avenida de diseño a partir del gasto pico y el tiempo pico, datos que se deben conocer. El gasto pico se puede determinar para un periodo de retorno conocido y a partir de los registros históricos. Según sea el caso se hace por el método de Gumbel o por el método del hidrograma del SCS.

Las variables que intervienen son:

- TP.- Tiempo Pico.
- M.- Número de años de registro.
- Q1(M).- Gastos máximos históricos.
- PE.- Periodo de Retorno.
- QP.- Gasto Pico.
- DT.- Intervalo de tiempo.
- Q.- Gasto en cada intervalo.

Todas las demás variables trabajan como operadores dentro -- del programa.

d) Método Simplex.

Es para la solución de problemas de programación lineal, en nuestro caso aprovechamientos hidráulicos u optimización en riego. La solución al problema consiste en aplicar el método simplex descrito en el capítulo 3.

Las variables que intervienen son:

- N.- Número de variables que intervienen en el problema
 - M.- Número de restricciones.
 - A(I,J).- Elementos de la matriz ampliada.
 - X(I).- Valor de las variables que se calculan con el programa (holgura, superflua, artificial)
- Todas las demás variables son operadores del programa.

e) Funcionamiento de Vaso.

Determina la variación de los niveles en un vaso de almacenamiento. Considera los efectos de evaporación o no para problemas de riego.

Se debe conocer las curvas elevaciones-áreas y elevaciones-capacidades del vaso. Así mismo es necesario conocer los

registros históricos o sintéticos y la demanda para el mismo periodo de tiempo.

Las variables que intervienen son:

- K1,N1.- Constantes de la curva elevaciones-áreas.
- K2,N2.- Constantes de la curva elevaciones-capacidades
- M.- Periodo de tiempo a simular.
- N.- Número de años de registro.
- CZ.- Capacidad de azolves.
- E(J,I).- Entradas.
- S(J,I).- Salidas.
- D9(J,I).- Derrames.
- D8(J,I).- Déficit.
- V(J,I).- Volúmenes.
- DS.- Total demandado.
- E8.- Total de entradas.
- E9.- Total evaporado.
- E7.- Total extraído.
- D9.- Total derramado.
- D8.- Total déficit.
- C.- Capacidad supuesta.
- V(0,1).- Capacidad Inicial.
- H(I).- Alturas de evaporación.
- D(I).- Demandas.

El resto de las variables trabajan como operadores del Método.

4.3 Manual del Usuario.

En esta parte del trabajo se persigue el presentar una guía para el uso de los programas. Como primera parte se describen las características de la microcomputadora para la cual fueron creados, después, el instructivo de uso.

4.3.1 Características de la Máquina.

La máquina con la que se trabajó fué una microcomputadora Radio Shack TRS II-80, con las siguientes características:

- Un Microprocesador Z-80 A
- 62 K bytes de RAM.
- Un Disk Drive de 8"
- Una salida seriada RS 232 C para impresora
- Un Display de 40 columnas y 24 líneas.

4.3.2 Instructivo de Uso.

De la figura 4.1 en la cual está representada la máquina el usuario deberá colocar el botón marcado con el número I en la posición "ON" ; aparecerá en el centro de la pantalla: INSERT DISKETTE con lo que se está indicando que se introduzca el disco de trabajo. Para ello es necesario presionar el botón señalado en la figura 4.1 con el número II y se abrirá el compartimento para el disco marcado en la figura con el número III, se procede a introducir el disco de tal forma que la etiqueta quede a la derecha del usuario y la etiqueta de protección hacia arriba. (Ver figura 4.2)

Una vez que el disco ha sido introducido, se debe cerrar el compartimento (marcado con el número III) y en ese momento se encenderá la luz roja (marcada en la figura 4.1 con el número IV); inmediatamente después aparecerá en la pantalla lo siguiente: En el ángulo superior izquierdo: Initializing, y en el centro: 64 K Memory; de no aparecer esto, en la pantalla se indicaría que el disco está mal colocado y se tiene que presionar el botón marcado con el número II para colocarlo de nuevo. Antes de ello se debe presionar el botón marcado con el número V en la figura 4.1 en la posición

"ON" y entonces se procede a introducir el disco de la manera como se indicó.

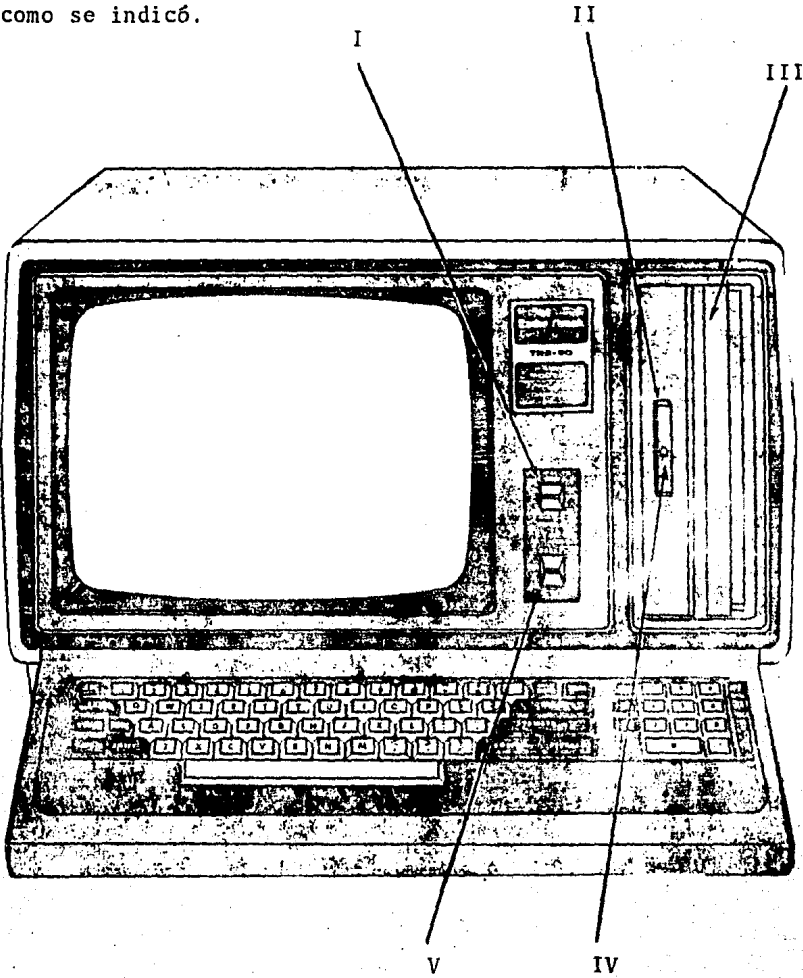


Fig. 4.1. Microcomputadora TRS II 80 Radio Shack.

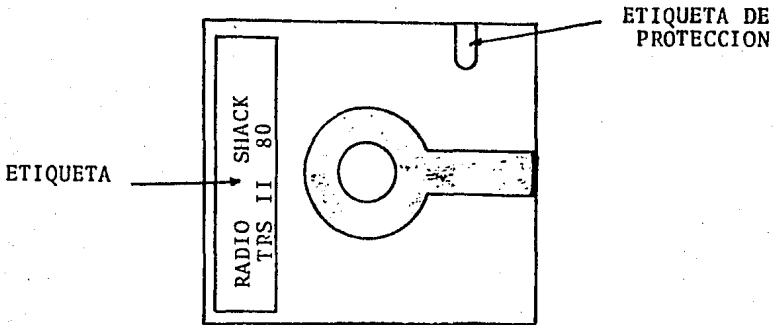
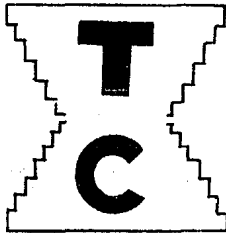


Fig. 4.2 Disco de Trabajo.

Si el disco no fué rechazado, después de unos instantes en la pantalla aparecerá lo siguiente:



TRS- 80 Model II TRSDOS version 2.0a January (1981)
(c) (p) 1980, 1981 TANDY CORPORATION. All Rights reserved
Unauthorized reproduction of this software is prohibited
and is in violation of United States copyright laws
Enter Date (MM/DD/YYYY).....

Y el usuario debe introducir la fecha de la siguiente manera: Primero el número del mes, diagonal, el número del día, diagonal, y por último el año, por ejemplo, si es el 6 de mayo de 1986 se debe introducir: 05/06/1986 y se debe apretar la tecla "ENTER" marcada con el número 1 en la figura 4.3. Una vez que se ha hecho esto, en la pantalla aparecerá debajo de -

la fecha: Enter Time (HH.MM.SS).... , lo cual indica que se debe introducir la hora (s), punto, minuto (s) , segundo (s), por ejemplo si son las 16:00:32, se debe introducir 16.00.32 y presionar la tecla "ENTER". Después, aparecerá en la pantalla lo siguiente:

TRSDOS READY

.

Con lo que se está solicitando introducir el sistema en el cual se quiere trabajar. En nuestro caso es en BASIC, por lo que se debe introducir la palabra BASIC en mayúsculas. Se aprieta nuevamente la tecla "ENTER". Si la palabra BASIC no fué introducida en mayúsculas después de apretar la tecla --- "ENTER" aparecerá en la pantalla la palabra ERROR con un fondo blanco y es necesario volver a introducir BASIC en la forma correcta. De existir un error al escribir antes de apretar la tecla "ENTER" se puede presionar la tecla "BACK SPACE" marcada con el número III en la figura 4.3, con lo que el cursor se regresa y borra el error, siendo posible corregirlo.

Realizando correctamente lo anterior aparecerá entonces lo siguiente:

```
TRS-80 Model II BASIC-80 Rev. 1.2
Copyright 1979,1980 by Tandy Corp Licensed from Microsoft
Created: 10-Jun-80
33608 Bytes free 0 Files
Ready
>
```

Con lo que está listo el sistema y ya solo es necesario introducir la siguiente instrucción:

RUN"MENU y se aprieta la tecla "ENTER"

Instantes después aparecerá lo siguiente:

DIVISION DE INGENIERIA CIVIL, TOPOGRAFICA Y
GEODESICA
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE HIDRAULICA

El presente paquete de programas contiene una serie de opciones de acuerdo al problema hidráulico a resolver. A continuación aparecerá el menú de control para seleccionar el tema deseado.

Oprimir "¡ ENTER" para continuar

Se puede observar que en la pantalla se indica oprimir el número 1 y la tecla ENTER, y al hacerlo aparecerá lo siguiente:

LABORATORIO DE HIDRAULICA

PROGRAMAS DISPONIBLES

- 1.- SOLUCION DE ECUACIONES DE UNA SOLA VARIABLE DE ORDEN (N)
- 2.- REGRESIONES NO LINEALES, AJUSTES Y SISTEMAS DE ECUACIONES
- 3.- FLUJO EN CONDUCTOS CERRADOS (Tuberías a presión)
- 4.- FLUJO A SUPERFICIE LIBRE (Canales)
- 5.- TEMAS AFINES A LA HIDRAULICA (Varios)
- 6.- SALIDA DEL MENU

PROGRAMA DESEADO?

Y como se indica, de acuerdo al programa que se quiera, el usuario solo debe introducir el número del programa y oprimir la tecla "ENTER"

Cuando se requiera impresión de resultados, primero el usuario se debe asegurar que la impresora está encendida, de no ser así se marcará error; esto debe ser antes de indicar el si con el número uno y la tecla "ENTER" . Una vez que ya se revisó que la impresora está encendida se puede continuar como ya se indicó, y entonces aparecerá lo siguiente:

```
FORMS SET P=51 L=47 W=132 C=0  
Printer ready? (Y/Q)...
```

Se esta preguntando si está encendida la impresora, si es afirmativo y se quiere continuar se debe introducir "Y" y oprimir "ENTER" . Si no se quiere continuar se introduce "Q" y se presiona "ENTER" y el programa continua. Si se sigue -- con los pasos para impresión aparecerá en la pantalla lo siguiente:

```
Align paper to Top of Page  
Press ANY Key to continue
```

Instrucción que indica que se debe alinear el papel en la impresora al nivel de la cabeza de impresión con el pié de hoja. Después se presiona cualquier tecla para continuar y entonces aparecerá en la pantalla:

```
Top, Repeat, or Quit?  
Enter (T/R/Q)
```

Si los pasos se han seguido correctamente se introduce Q y se oprime "ENTER" para iniciar la impresión. Si existe algún error el procedimiento se puede repetir introduciendo R y presionando "ENTER". Si se quiere que la impresión se inicie en otra hoja se introduce T y se oprime "ENTER".

De aquí en adelante dependiendo del programa que se seleccione en la pantalla irán apareciendo los cálculos de los que se dispone en cada uno de ellos y se seleccionan de igual forma, introduciendo el número que corresponda al cálculo y oprimiendo la tecla "ENTER".

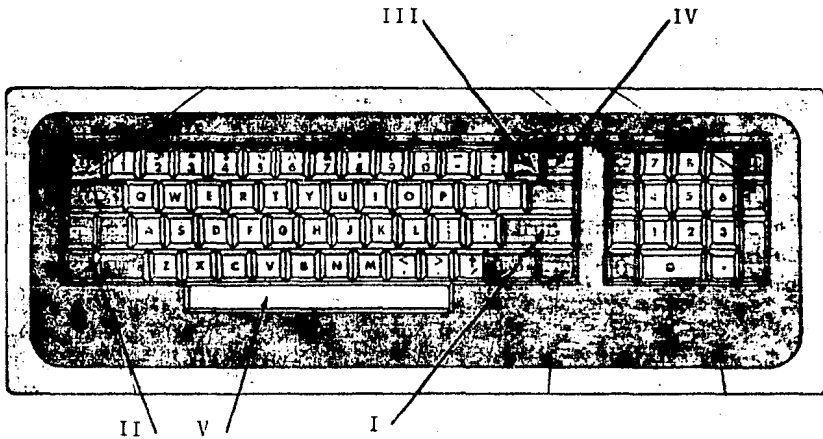


Fig. 4.3 Tablero de Control.

Para introducir los datos, solo basta con introducir los valores que se piden e ir presionando la tecla "ENTER".

Todos los programas tienen un programa de salida para regresar al menú de control.

También en todos los programas al final del cálculo aparecen dos preguntas: Una es si se desea impresión de resultados, la otra si se desea otro cálculo con el programa que se está utilizando. La respuesta a ambas preguntas se da a través de introducir el valor 1 si la respuesta es si y 2 si es no, para después apretar la tecla "ENTER" cualquiera que sea el caso.

Si al estar introduciendo los datos en un programa, el usuario se da cuenta que existe un error y ya ha apretado la tecla "ENTER", para corregirlo puede apretar la tecla "BREAK" marcada con el número IV en la figura 4.3, con lo que en la pantalla aparecerá la palabra BREAK acompañada de un número que indica la instrucción en la que se quedó el programa y, debajo de esto la palabra Ready con lo que solo basta introducir la palabra RUN y oprimir "ENTER", el programa entonces volverá a empezar. Si después de que se ha introducido RUN y se oprimió "ENTER" sigue apareciendo la palabra Ready en la pantalla, será necesario entonces introducir RUN"MENU y presionar "ENTER" con lo que se vuelve al menú de control.

Cuando se ha terminado de trabajar se procede a seleccionar en el programa que se esté, el número que corresponda al fin del programa con lo que se regresa al menú de control y solo resta introducir el número que corresponda a la salida del menú, que es el número 6; se oprime el botón señalado con el número II en la fig. 4.1 para retirar el disco y, por último, el botón señalado con el número I en la figura 4.1 se debe colocar en la posición "OFF" con lo que la máquina queda apagada.

C A P I T U L O - V

V.0.0. EJEMPLOS RESUELTOS.

5.1. AJUSTE DE CURVAS.

5.2. FLUJO EN CONDUCTOS
CERRADOS.

5.3. FLUJO A SUPERFICIE
LIBRE.

5.4. TEMAS AFINES.

V.O.O. EJEMPLOS RESUELTOS

Este capítulo tiene como finalidad presentar algunos ejemplos haciendo uso de los métodos y programas propuestos, es decir, se presenta una guía para quien así lo requiera, hacer uso del naquete de programas además de contar con el manual del usuario.

Cabe mencionar que no hay un ejemplo para cada método, ya que algunos de ellos (solución de ecuaciones de grado N por el método de bisección, solución de sistemas de ecuaciones lineales por el método de Gauss-Seidel, ajuste de curvas logarítmicas y exponenciales, por ejemplo) se usan dentro de otros programas. Cuando sea el caso, se hará mención del método que se usa.

5.1.- AJUSTE.

En la estación "Canton" ubicada sobre el río Papaloanense se realizaron los siguientes aforos.

LECTURA DE LA ESCALA EN m.	GASTO Q EN m ³ /seg	LECTURA DE LA ESCALA EN m.	GASTO Q EN m ³ /seg
0.90	15.70	7.96	628.30
0.83	10.70	10.40	757.80
0.82	11.90	8.36	566.00
0.81	9.30	5.78	396.20
1.10	26.60	4.18	311.80
0.43	3.30	9.42	880.40
3.23	250.10	2.68	215.60
2.03	95.00	9.80	884.60
1.67	57.10	12.52	1146.80
8.63	755.70	12.19	984.30
12.45	1023.50	9.84	711.60
7.58	575.90	2.02	102.50
8.63	627.90	1.59	52.10
12.45	1434.10	2.92	224.40
13.60	1646.80	11.50	1115.10
12.22	1041.20	10.26	801.50
7.99	544.10	1.50	48.20
4.28	332.30	2.06	102.30

Calcule la curva que mejor se ajuste a los datos anteriores.
Haga una comparación entre lo calculado y lo medido.

La Solución es:

LABORATORIO DE HIDRAULICA

LA ECUACION DEL AJUSTE LOGARITMICO ES

$$Y = 22.7155 * x + (1.56795)$$

X DATO	Y DATO	Y CALC	ERROR (%)
.9	15.7	19.2565	-22.6529
.83	18.7	16.9606	-38.5184
.82	111.9	16.6413	-39.8429
.81	9.3	16.3242	-75.3291
1.1	26.6	26.377	.838452
.43	3.3	6.8481	-83.2757
3.23	258.1	142.8	-42.9828
2.83	95	68.9386	27.433
1.67	57.1	58.7612	11.1812
8.65	755.7	669.145	11.4536
11.45	1823.5	1838.68	-1.48288
7.58	575.9	544.886	5.33816
8.43	627.9	666.722	-6.18275
12.45	1434.1	1184.4	17.4118
13.6	1646.8	1368.38	17.3927
12.22	1841.2	1158.27	-18.4755
7.99	544.1	598.846	-8.59144
4.28	339.3	222.823	33.1861
7.96	628.3	587.371	6.51418
18.4	757.8	893.272	-17.877
8.36	566	634.387	-12.8684
5.78	396.2	355.623	10.2414
4.18	311.8	213.943	31.3845
9.42	888.4	764.873	13.1221
2.68	215.6	186.566	58.5724
9.8	884.6	813.883	8.88325
12.52	1146.8	1194.86	-4.19837
12.19	984.3	1145.85	-16.4122
9.84	711.6	819.817	-13.8952
2.87	182.5	68.4869	33.2614
1.59	52.1	47.8887	9.7875
2.92	224.4	121.985	45.6751
11.5	1115.4	1045.8	6.2481
18.26	881.5	874.491	-9.18673
1.5	48.2	42.8969	11.8823
2.84	182.3	78.5427	31.8433

Dual Routine now OFF

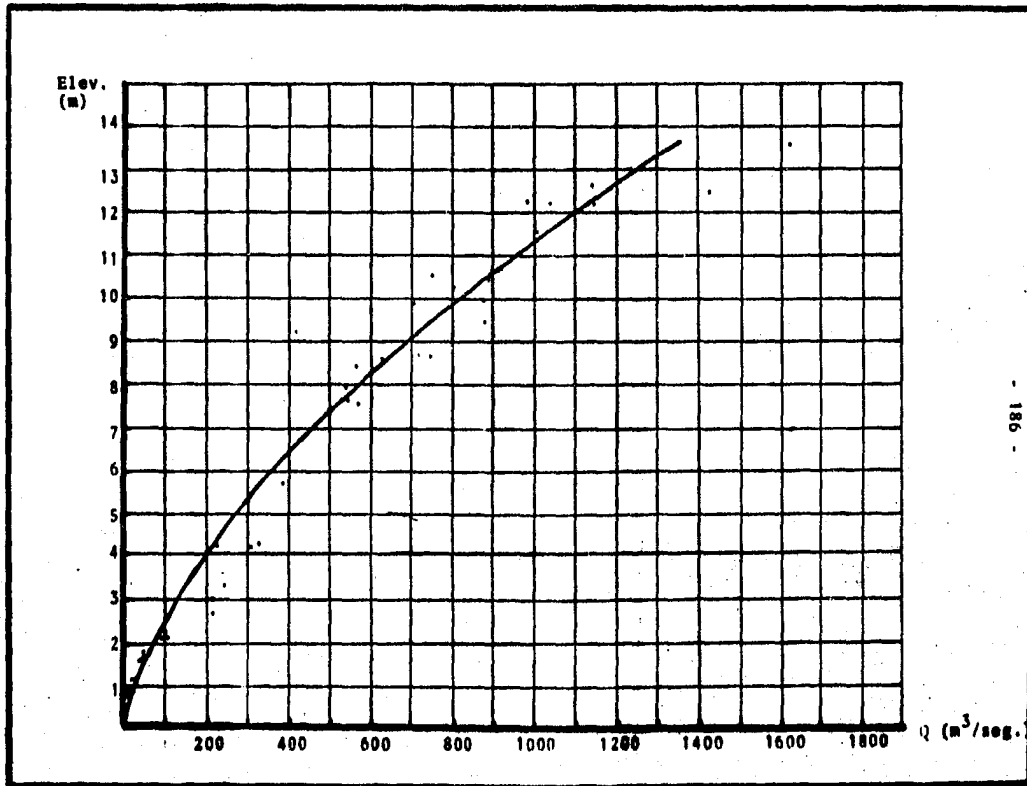


Fig. (5.1) Curva Elevaciones-Gastos del ejem. (S.1)

5.2. - FLUJO EN CONDUCTOS CERRADOS.

5.2.1. Diseño del Diámetro de Conducción.

Calcular el diámetro para la tubería que se muestra en la figura bajo las siguientes condiciones:

- Gasto $Q = 0.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$
- Longitud de la tubería $L = 5 \text{ Km.}$
- Tubería de hierro fundido nuevo.
- Se consideran los siguientes accesorios locales:
 - 1 Válvula check.
 - 1 Válvula esférica.
 - 1 Válvula de compuerta.
 - 3 Codos bridados de 90° de radio regular.
- Se considera una bomba con eficiencia $\eta = 75 \%$ y Potencia $P_h = 75 \text{ C.V.}$

Entrada con redondeo elipsoidal que de acuerdo a la figura 8.8 del libro de Hidráulica General Tomo I, del Ing. Sotelo- (1) el coeficiente de pérdida $K_e = 0.07$.

Elevación sección inicial $Z_1 = 100 \text{ m.}$

Elevación sección final $Z_2 = 50 \text{ m.}$

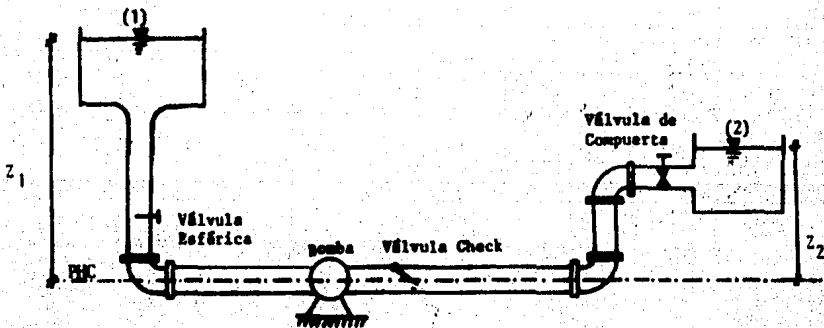


Fig. (5.2) Diseño Diámetro de Conducción.

LABORATORIO DE HIDRAULICA

DISEÑO DEL DIAMETRO DE CONDUCCION

DATOS :

ELEVACION SECCION INICIAL (m) 100

ELEVACION SECCION FINAL (m) 50

LONGITUD DE CONDUCCION (m) 5000

DIAMETRO DE CONDUCCION

DIAMETRO m	GASTO m ³ /s	AREA m ²	VELOCIDAD m/s
.490159	.5	.188697	2.64975

5.2.2. Golpe de Ariete.

Calcular los efectos producidos por el golpe de ariete en una tubería con las siguientes características:

- Gasto $Q = 4.05 \text{ m}^3/\text{seg.}$
- Carga $H_0 = 90 \text{ m.}$
- Longitud $L = 1500 \text{ m.}$
- Diámetro tubería = $D_0 = 40'' = 1.016 \text{ m.}$
- Espesor tubería: $e = 1.277 \text{ cm} = 1/2''$
- Esfuerzo de trabajo $\tau = 1500 \text{ Kg/cm}^2$
- Módulo Elasticidad del agua $E_w = 20\,000 \text{ Kg/cm}^2$
- Módulo Elasticidad del acero $E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$

Las condiciones que se piden son las siguientes:

- a).- Cierre brusco.
- b).- Cierre gradual para $\theta = 4$
- c).- Cierre parcial para $\theta = 4$ hasta $i = 2$
- d).- Apertura gradual para $\theta = 3$
- e).- Apertura parcial para $\theta = 3$ hasta $i = 2$

La solución es:

- a).- Celeridad 1055.26 m/seg.
- Sobregarca 537.36 m
- Carga máxima 627.36 m

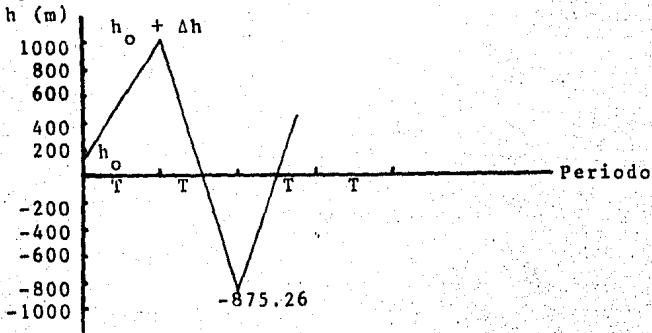


Fig. (5.4.a) Cierre Brusco

La solución es:

b) Cierre Gradual.

LABORATORIO DE HIDRAULICA

GOLPE DE ARIETE

RESULTADOS

CELERIDAD [m/s] 1055.26
 SOBRECARGA MÁXIMA [m] 97.0954
 PERIODO ENTRE PASOS [s] 2.84291

PASO	TIEMPO	CARGA	SOBREPRESION	ESFUERZO
←	s	m	kg/cm ²	kg/cm ²
0	0	90	0	360
1	2.84291	134.563	4.4563	538.252
2	5.68582	169.506	7.9506	678.074
3	8.52873	186.064	9.60637	744.255
4	11.3716	187.096	9.70956	748.382

Dual Routine now OFF

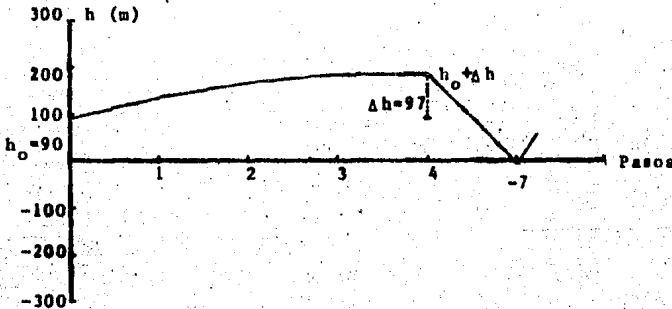


Fig. (5.4.b) Cierre Gradual.

La solución es:

c) Cierre Parcial.

LABORATORIO DE HIDRAULICA

GOLPE DE ARIETE

RESULTADOS
 CELERIDAD [m/s] 1055.26
 SOBRECARGA MAXIMA [m] 1.54379
 PERIODO ENTRE PASOS [s] 2.84291

PASO	TIEMPO	CARGA	SOBREPRESION	ESFUERZO
s	m	kg/cm2	kg/cm2	
0	0	90	0	360
1	2.84291	134.563	4.4563	538.252
2	5.68582	169.506	7.9506	678.024
3	8.52873	98.3521	.83521	301.408
4	11.3716	91.5438	.154379	366.175

Dual Routing now OFF

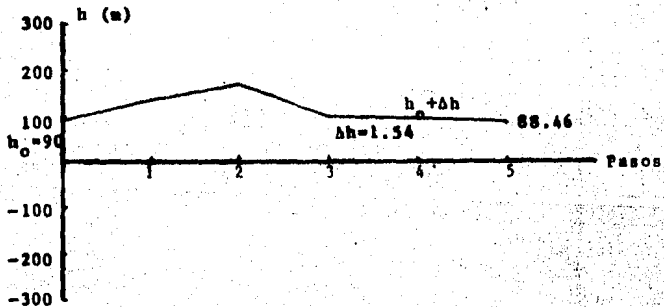


Fig. (5.4.c) Cierre Parcial.

La solución es:

d) Apertura Gradual.

LABORATORIO DE HIDRAULICA

GOLPE DE ARLETE

RESULTADOS

CELERIDAD [m/s] 1055.26
SOBRECARGA MAXIMA [m] -57.0709
PERIODO ENTRE PASOS [s] 2.84291

PASO	TIEMPO	CARGA	SOBREPRESION	ESFUERZO
←	s	m	kg/cm ²	kg/cm ²
0	0	90	0	360
1	2.84291	15.5488	-7.44512	62.1952
2	5.68582	30.4673	-5.95327	121.869
3	8.52873	32.9291	-5.70709	131.717

Dual Routing now OFF

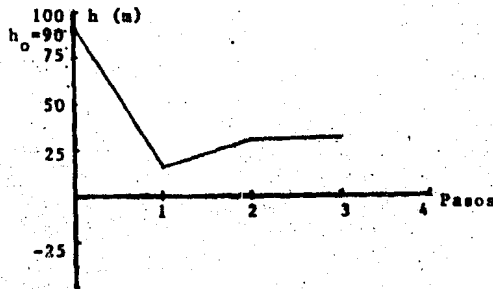


Fig.(5.4.d) Apertura Gradual

La solución es:

e) Apertura Parcial.

LABORATORIO DE HIDRAULICA

GOPE DE ARTETE

RESULTADOS

VELOCIDAD [m/s] 1055.26
SOBRECARGA MAXIMA [m] -2R.4026
PERIODO ENTRE PASOS [s] 2.84291

PASO	TIEMPO	CARGA	SOBREPRESION	ESFUERZO
+	s	m	kg/cm2	kg/cm2
0	0	98	0	360
1	2.84291	15.5488	-7.44512	62.1952
2	5.68582	30.4673	-5.95327	121.869
3	8.52873	41.5974	-2.84026	246.39

Dual Routing now OFF

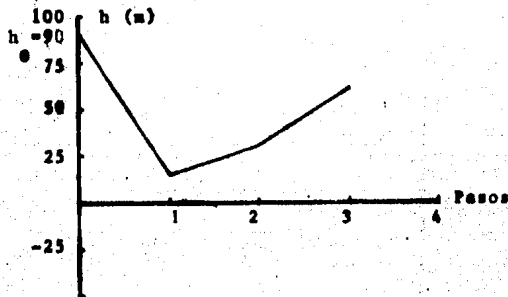


Fig. (5.4.e) Apertura Parcial.

5.2.3 Cámaras de Oscilación.

Obtener las variaciones del nivel del agua en una cámara de oscilación que tiene las siguientes características:

- Diámetro de la galería de conducción: $D_g = 3 \text{ m}$
- Diámetro de la cámara de oscilación : $D_c = 12 \text{ m}$
- Velocidad en la galería de conducción: $V_g = 5 \text{ m/seg}$
- Gasto : $Q = 35.34 \text{ m}^3/\text{s}$
- Longitud de la conducción : $L = 680 \text{ m}$

Las condiciones que se piden son las siguientes:

- a).- Cierre brusco con un incremento de tiempo de 5 seg.
- b).- Cierre parcial con un porcentaje de cierre del 50 %, incremento de tiempo de 5 seg.

Carga de generación $H_B = 150 \text{ m.}$

Eficiencia de generación $\eta = 85 \%$

La solución es:

L A B O R A T O R I O D E H I D R A U L I C A

CAMARAS DE OSCILACION

OSILACIONES EN LA CAMARA

INTERVALO #	TIFMPO seg.	NIVEL (Z) m	VELOCIDAD CONDUCCION m/s
0	0	-8.08175	4.99958
1	5	-6.51938	4.99958
2	10	-4.99223	4.88688
3	15	-3.5266	4.69001
4	20	-2.14179	4.43139
5	25	-.851823	4.1279
6	30	.333161	3.79195
7	35	1.40584	3.43257
8	40	2.36095	3.05637
9	45	3.19477	2.66821
10	50	3.90468	2.27172
11	55	4.48897	1.86971
12	60	4.94658	1.46438
13	65	5.27707	1.05756
14	70	5.48045	.650826
15	75	5.55721	.245629
16	80	5.50827	-.156633
17	85	5.33533	-.553385
18	90	5.04437	-.931092
19	95	4.64601	-1.27474
20	100	4.15477	-1.57197
21	105	3.58789	-1.81403
22	110	2.96411	-1.99608
23	115	2.30256	-2.11697
24	120	1.62176	-2.17854
25	125	.939004	-2.18483
26	130	.269867	-2.14124
27	135	-.371937	-2.05377
28	140	-.974616	-1.92857
29	145	-1.52822	-1.77153
30	150	-2.0245	-1.5881
31	155	-2.45676	-1.38325
32	160	-2.81971	-1.16141
33	165	-3.10926	-.926561
34	170	-3.32246	-.682261
35	175	-3.45738	-.431748
36	180	-3.51301	-.178011
37	185	-3.48922	.0761299
38	190	-3.38682	.327681
39	195	-3.20886	.569476
40	200	-2.96093	.793375
41	205	-2.65085	.992274
42	210	-2.28818	1.16052
43	215	-1.88376	1.29416
44	220	-1.44907	1.39098
45	225	-.995829	1.45038
46	230	-.535468	1.47315
47	235	-.0788543	1.46116
48	240	.363977	1.41706

49	245	.783969	1.34397 - 196
50	250	1.17312	1.2453
51	255	1.92453	1.12451
52	260	1.83236	.98505
53	265	2.09181	.830248
54	270	2.29909	.663284
55	275	2.45134	.487185
56	280	2.5466	.304829
57	285	2.58377	.11897
58	290	2.56261	-.0677342
59	295	2.48371	-.252474
60	300	2.34929	-.430143
61	305	2.16326	-.595288
62	310	1.93105	-.743064
63	315	1.65934	-.869478
64	320	1.35574	-.971539
65	325	1.02845	-1.04732
66	330	.685973	-1.09592
67	335	.336788	-1.11739
68	340	-.0108885	-1.11256
69	345	-.349298	-1.08291
70	350	-.671288	-1.03037
71	355	-.970408	-.957184
72	360	-1.24098	-.865810
73	365	-1.47811	-.758821
74	370	-1.67772	-.638772
75	375	-1.83655	-.508238
76	380	-1.95209	-.369739
77	385	-2.02264	-.225742
78	390	-2.04722	-.0786558
79	395	-2.0256	.0691589
80	400	-1.95837	.215159
81	405	-1.84732	.355341
82	410	-1.69556	.485648
83	415	-1.50729	.602452
84	420	-1.28769	.702712
85	425	-1.04267	.784079
86	430	-.778622	.844952
87	435	-.502227	.884465
88	440	-.220212	.902447
89	445	.0608312	.899338
90	450	.334608	.876087
91	455	.595249	.83405
92	460	.837402	.774889
93	465	1.0563	.700482
94	470	1.24782	.612845
95	475	1.40847	.514077
96	480	1.53544	.406318
97	485	1.6266	.291713
98	490	1.68047	.172398
99	495	1.69625	.0504878
100	500	1.67378	-.0719263
101	505	1.61361	-.192539
102	510	1.51734	-.308068
103	515	1.38755	-.415303
104	520	1.22775	-.511368
105	525	1.04218	-.59383
106	530	.835685	-.660781
107	535	.613536	-.710877
108	540	.381239	-.743347

109	545	.144377	-.75796
110	550	-.0915531	-.754976
111	555	-.321265	-.739078
112	560	-.539797	-.699303
113	565	-.742598	-.648961
114	570	-.925589	-.585573
115	575	-1.099522	-.510811
116	580	-1.21848	-.426447
117	585	-1.32296	-.334313
118	590	-1.39679	-.236279
119	595	-1.43874	-.134223
120	600	-1.44812	-.0300231
121	605	-1.42485	.0744542
122	610	-1.36951	.177103
123	615	-1.28352	.275157
124	620	-1.16915	.365975
125	625	-1.02941	.447185
126	630	-.867917	.516775
127	635	-.698807	.573151
128	640	-.496565	.615175
129	645	-.295887	.642168
130	650	-.0915456	.653893
131	655	.111743	.650524
132	660	.309429	.632595
133	665	.497224	.600942
134	670	.671178	.556654
135	675	.827745	.501013
136	680	.963823	.435452
137	685	1.07679	.361507
138	690	1.16454	.280787
139	695	1.22546	.194947
140	700	1.25848	.105666
141	705	1.26305	.0146279
142	710	1.23915	-.076484
143	715	1.18736	-.165731
144	720	1.10901	-.250737
145	725	1.00611	-.329266
146	730	.881325	-.399311
147	735	.737837	-.459164
148	740	.579253	-.507469
149	745	.409488	-.543246
150	750	.232644	-.5659
151	755	.0528904	-.575213
152	760	-.125644	-.571311
153	765	-.298968	-.554636
154	770	-.463311	-.525896
155	775	-.615194	-.484026
156	780	-.751488	-.436142
157	785	-.869457	-.377499
158	790	-.966788	-.311459
159	795	-1.04162	-.23946
160	800	-1.09255	-.162988
161	805	-1.11867	-.0835605
162	810	-1.11951	-2.70562E-03
163	815	-1.09512	.0780475
164	820	-1.04609	.156899
165	825	-.973659	.231782
166	830	-.879671	.300761
167	835	-.766513	.362104
168	840	-.637033	.414337

169	845	-.494444	.456284
170	850	-.342227	.487093
171	855	-.194026	.506246
172	860	-.0235434	.513543
173	865	.135547	.50909
174	870	.289694	.493269
175	875	.435537	.466698
176	880	.569975	.430202
177	885	.690216	.384772
178	890	.79382	.331532
179	895	.878729	.271708
180	900	.943292	.206602
181	905	.986281	.137565
182	910	1.0069	.0659804
183	915	1.00479	-6.75117E-03
184	920	.980031	-.079228
185	925	.933227	-.149774
186	930	.86555	-.216566
187	935	.778704	-.277907
188	940	.674868	-.332275
189	945	.556624	-.37838
190	950	.426877	-.415192
191	955	.288764	-.441963
192	960	.145565	-.458237
193	965	6.14896E-04	-.463839
194	970	-.142781	-.458866
195	975	-.281423	-.443656
196	980	-.412288	-.418766
197	985	-.53258	-.384937
198	990	-.639788	-.343065
199	995	-.731716	-.29417
200	1000	-.80652	-.239372
201	1005	-.862726	-.179859
202	1010	-.899249	-.116874
203	1015	-.915403	-.0516907
204	1020	-.910902	.0144017
205	1025	-.89587	.0801024
206	1030	-.860916	.143853
207	1035	-.777155	.204027
208	1040	-.696184	.259115
209	1045	-.600007	.307766
210	1050	-.490996	.348837
211	1055	-.371803	.381416
212	1060	-.24529	.404842
213	1065	-.114442	.418713
214	1070	.0177073	.422879
215	1075	.148155	.417431
216	1080	.273992	.40268

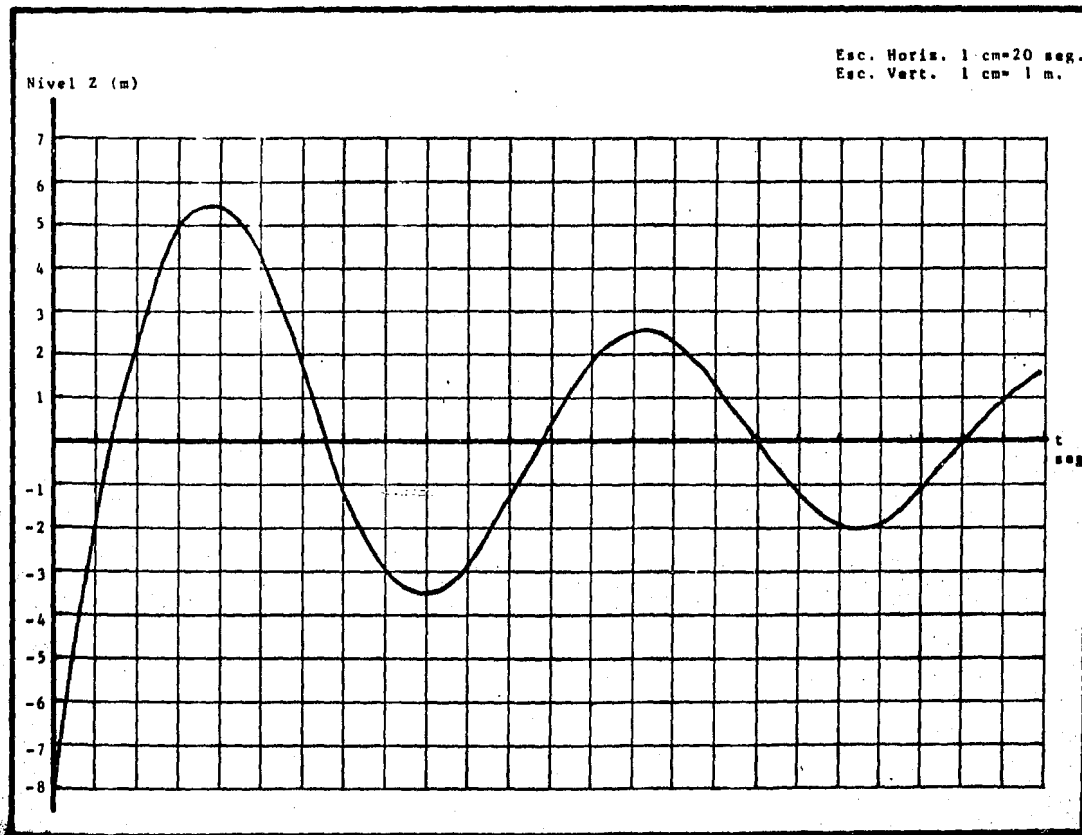


Fig. (3.5.a) Oscilaciones para Cierre Brusco

b) Cierre Parcial.

LABORATORIO DE HIDRAULICA

CAMARAS DE OSCILACION

OSILACIONES EN LA CAMARA

INTERVALO #	TIEMPO seg.	NIVEL (Z) m	VELOCIDAD CONDUCCION m/s
0	0	-8.08175	4.99958
1	5	-7.30057	4.99958
2	10	-6.53271	4.94323
3	15	-5.79154	4.84456
4	20	-5.08689	4.71495
5	25	-4.42587	4.56341
6	30	-3.81338	4.39698
7	35	-3.25264	4.22115
8	40	-2.74555	4.04021
9	45	-2.29294	3.85756
10	50	-1.89479	3.6759
11	55	-1.55039	3.49744
12	60	-1.25845	3.324
13	65	-1.01721	3.15709
14	70	-.824473	2.998
15	75	-.677699	2.84785
16	80	-.574026	2.70759
17	85	-.510329	2.57802
18	90	-.483252	2.45983
19	95	-.489245	2.35357
20	100	-.524612	2.25967
21	105	-.585542	2.17843
22	110	-.668163	2.10999
23	115	-.76858	2.05435
24	120	-.882931	2.01136
25	125	-1.00743	1.9807
26	130	-1.13844	1.96187
27	135	-1.27249	1.95422
28	140	-1.40637	1.95694
29	145	-1.53712	1.96907
30	150	-1.66214	1.98952
31	155	-1.77917	2.0171
32	160	-1.88634	2.05055
33	165	-1.98218	2.08855
34	170	-2.06561	2.1298
35	175	-2.13596	2.17301
36	180	-2.19294	2.21695
37	185	-2.23659	2.26051
38	190	-2.26729	2.30266
39	195	-2.28568	2.34255
40	200	-2.29264	2.37944
41	205	-2.28921	2.41277
42	210	-2.2766	2.44213
43	215	-2.25607	2.46725
44	220	-2.22894	2.48801
45	225	-2.19655	2.50442
46	230	-2.16002	2.51659
47	235	-2.12112	2.5247
48	240	-2.08049	2.52905

49	245	-2.03938	2.52995
50	250	-1.99873	2.92778
51	255	-1.95939	2.52293
52	260	-1.92207	2.51581
53	265	-1.88737	2.50684
54	270	-1.85376	2.49642
55	275	-1.82257	2.48494
56	280	-1.80304	2.47275
57	285	-1.78232	2.4602
58	290	-1.76542	2.44761
59	295	-1.75231	2.43523
60	300	-1.74285	2.42332
61	305	-1.73686	2.41208
62	310	-1.73409	2.40167
63	315	-1.73426	2.39223
64	320	-1.73704	2.38386
65	325	-1.7421	2.37662
66	330	-1.74908	2.37055
67	335	-1.75763	2.36566
68	340	-1.76739	2.36192
69	345	-1.77801	2.3593
70	350	-1.78918	2.35773
71	355	-1.80059	2.35715
72	360	-1.81196	2.35745
73	365	-1.82305	2.35853
74	370	-1.83365	2.3603
75	375	-1.84356	2.36264
76	380	-1.85266	2.36543
77	385	-1.86082	2.36858
78	390	-1.86796	2.37196
79	395	-1.87403	2.37548
80	400	-1.87902	2.37904
81	405	-1.88293	2.38259
82	410	-1.88579	2.38602
83	415	-1.88765	2.38927
84	420	-1.88857	2.3923
85	425	-1.88864	2.39505
86	430	-1.88794	2.3975
87	435	-1.88657	2.39962
88	440	-1.88464	2.40141
89	445	-1.88225	2.40286
90	450	-1.87949	2.40399
91	455	-1.87647	2.40477

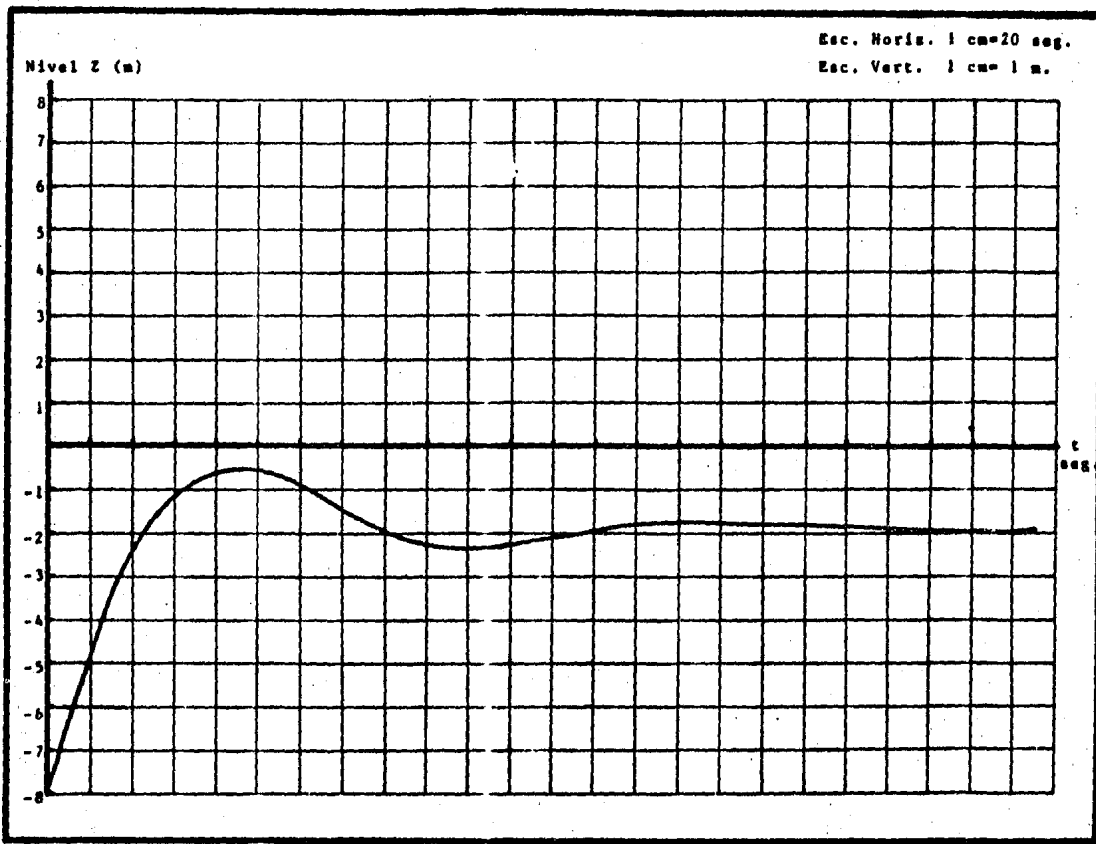
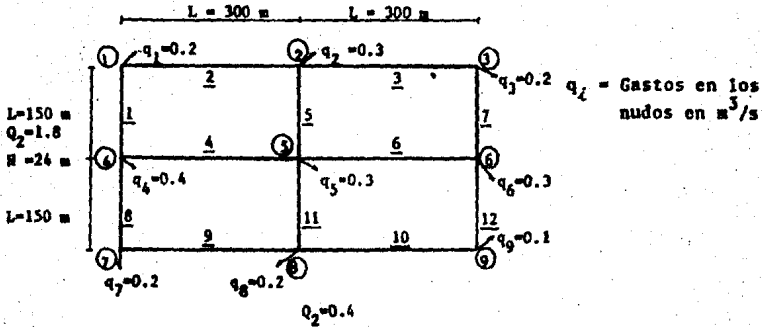


Fig. (5.5.b) Oscilaciones para Cierre Parcial.

5.2.4. Redes.

Resolver la siguiente red de agua potable.



Con estos datos y la numeración de la red se procede a darle sentido a los gastos que circulan por la red, suponiendo una distribución inicial.

Número total de tubos 12

Número total de Nudos 9

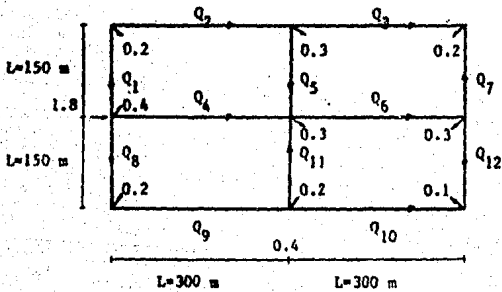


Fig. (5.3) Red de Distribución del Ejem. (5.2.4)

Tomando en cuenta que se debe cumplir continuidad en los nudos, lo que entra tiene que salir, se construye la siguiente tabla de donde se introducen los datos del programa.

TUBO N°	GASTO SUPUESTO lt/seg.	DIAMETRO PULGADAS	LONGITUD	NUDO INICIAL	NUDO, FINAL
1	800	39.37	150	4	1
2	600	33.46	300	1	2
3	100	33.46	300	2	3
4	300	23.62	300	4	5
5	200	19.68	150	2	5
6	450	29.52	300	5	6
7	100	13.78	150	6	3
8	100	23.62	150	4	7
9	100	13.78	300	7	8
10	500	9.84	300	8	9
11	250	21.68	150	8	5
12	50	9.84	150	6	9

Para los nudos se tendrán las siguientes condiciones:

NUDO N°	GASTO SUMINISTRO lt/seg	GASTRO DE ENTR. lts/s	CARGA SUPUESTA m
1	200	0.0	15
2	300	0.0	15
3	200	0.0	15
4	400	1,800	24
5	300	0.0	15
6	300	0.0	15
7	200	0.0	15
8	200	400	15
9	100	0.0	15

La solución es:

RED DE AGUA POTABLE

PROYECTO.-EJEMPLO 5.2.4 TESIS LICENCIATURA

GASTOS REQUERIDOS POR LA RED.- 2200

GASTOS DE ENTRADA A LA RED.- 2200

TRAMOS

TURFIA #	GASTO l/s	DIAMETRO m	VELOCIDAD m/s	VAL. DE K -	PER. CARGA m	DIF. DE CARGA m
1	842.312	.999998	1.07247	1.02931E-03	.109543	.109543
2	642.417	.849884	1.13242	2.4507E-03	.303421	.303421
3	255.352	.849884	.450121	2.4507E-03	.0479393	.0479393
4	312.546	.599948	1.1056	.0157013	.460137	.460136
5	86.9931	.499872	.443278	.0415555	.0471726	.0471726
6	299.379	.749808	.678001	4.78092E-03	.12854	.12854
7	-55.3509	.350012	-.575265	.278035	.127773	-.127773
8	245.147	.599948	.867179	.0157013	.141541	.141541
9	45.1437	.350012	.469181	.278035	.169987	.169987
10	45.2681	.249936	.922664	1.67541	1.02998	1.02998
11	199.873	.550672	.839223	.0247997	.148609	.148609
12	54.732	.249936	1.11556	1.67541	.752827	.752827

CARGAS EN NUDOS

NUDO #	Q req l/s	Q ent l/s	CARGA m
1	200	0	52.7288
2	300	0	52.4254
3	200	0	52.3774
4	400	1800	52.8383
5	300	0	52.3782
6	300	0	52.2497
7	200	0	52.6968
8	200	400	52.3248
9	100	0	51.4968

5.3. - FLUJO A SUPERFICIE LIBRE.

5.3.1. Cálculo del tirante normal.

Calcular el tirante normal que se presenta con un gasto de $2.5 \text{ m}^3/\text{seg}$, pendiente $S_0 = 0.0015$ y coeficiente de rugosidad de Manning $n = 0.018$ para las siguientes secciones:

- a).- Triangular con talud $K = 1.5'$
- b).- Rectangular con ancho de plantilla $b = 4.5 \text{ m}$.
- c).- Trapecial con ancho de plantilla $b = 2.75 \text{ m}$ y talud $K = 1$.
- d).- Circular con diámetro $d = 3.2 \text{ m}$.

La solución es la siguiente:

a) Sección Triangular

L A B O R A T O R I O D E H I D R A U L I C A

FLUJO UNIFORME

Y NORMAL m	GASTO m^3/s	PENDIENTE -	AREA m^2	VELOCIDAD m/s
1.13141	2.5	$1.5\text{E}-03$	1.92015	1.30198

b) Sección Rectangular

L A B O R A T O R I O D E H I D R A U L I C A

FLUJO UNIFORME

Y NORMAL m	GASTO m^3/s	PENDIENTE -	AREA m^2	VELOCIDAD m/s
1.479435	2.5	$1.5\text{E}-03$	2.15746	1.15877

c) Sección Trapecial.

LABORATORIO DE HIDRAULICA

FLUJO UNIFORME

Y NORMAL m	GASTO m ³ /s	PENDIENTE -	AREA m ²	VELOCIDAD m/s
.593475	2.5	1.5E-03	1.98427	1.25991

d) Sección Circular.

LABORATORIO DE HIDRAULICA

FLUJO UNIFORME

Y NORMAL m	GASTO m ³ /s	PENDIENTE -	AREA m ²	VELOCIDAD m/s
.98062	2.5	1.5E-03	2.0899	1.19623

5.3.2. Diseño de un Canal no Revestido por el Método de la Velocidad Permissible.

Diseñar la sección de un canal trapecial excavado en grava. El material es no cohesivo con diámetro $d_{50} = 20$ mm, pendiente $S_o = 0.0015$, gasto $Q = 15$ m³/seg y coeficiente de rugosidad de Manning $n = 0.025$.

Para poder hacer uso del programa, es necesario obtener primero la velocidad permisible. Para ello se supondrá un tirante igual a 2 m y partiendo de que es un suelo no cohesivo, se entra a la figura 2.18 del libro de Hidráulica General Tomo II del Ing. Sotelo (12).

Por lo tanto para suelo no cohesivo, con $d_{50} = 20$ mm y $Y = 2$ m, la velocidad permisible es:

$$V_p = 1.3 \text{ m/seg}$$

Ahora bien, de la tabla 7.1 del libro Hidráulica de los Canales Abiertos de Ven Te Chow (14) por tratarse de grava el talud es:

$$K = 2$$

Con estos datos la solución que se obtiene es la siguiente:

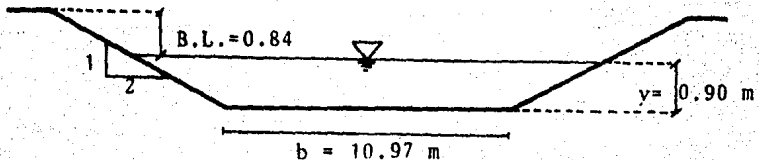


Fig. (5.6) Canal no Revestido por el método de la Velocidad Permissible.

L A B O R A T O R I O D E H I D R A U L I C A

DISEÑO POR VELOCIDAD PERMISIBLE

GASTO DE DISEÑO [m³/s] 15
PENDIENTE 1.5E-03
RUGOSIDAD MANNING .025
TRAPEZOID (Trapezoidal) 2

SECCION CON:

TIRANTE	SEGUNDO DISEÑO	ANCHO PLANTILLA BORDO LIBRE
m	m	m
.902991	10.9721	.845297

5.3.3. Diseño de un Canal no Revestido por el Método de la Fuerza Tractiva.

Diseñar la sección de un canal trapecial para conducir un gasto $Q = 15 \text{ m}^3/\text{seg}$, sin tener arrastre. El canal será excavado en material que contiene gravas y guijarros con diámetro $D_{75} = 32 \text{ mm}$ y de elementos muy redondeados. La pendiente es $S_0 = 0.0015$ y el coeficiente de rugosidad de Manning es $n = 0.025$.

La solución es la siguiente:

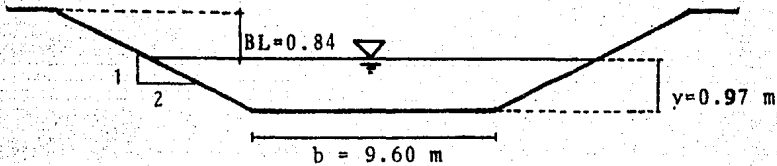


Fig. (5.7) Canal no Revestido por el Método de la Fuerza Tractiva.

LABORATORIO DE HIDRAULICA

DISEÑO POR FUERZA TRACTIVA

GASTO DE DISEÑO	[m ³ /s]	15
TALUD		2
TIRANTE	[m]	.970184
ANCHO	[m]	9.60826
BORDO LIBRE	[m]	.845297

5.3.4. Cálculo del Tirante Crítico.

Calcular el tirante crítico que se presenta con un gasto $Q = 2.5 \text{ m}^3/\text{seg}$ para las siguientes secciones:

- a). Triangular con talud $K = 1.5$
- b). Rectangular con ancho de plantilla $b = 4.5 \text{ m}$.
- c). Trapecial con ancho de plantilla $b = 2.75 \text{ m}$ y talud $K = 1$.
- d). Circular con diámetro $d = 3.2 \text{ m}$.

La solución es la siguiente:

a) Sección Triangular.

L A B O R A T O R I O D E H I D R A U L I C A

FIUJO CRITICO

Y CRITICO m	PFNDIENTE CRITICA GASTO m^3/s	AREA m^2	VELOCIDAD m/s	ENERGIA MIN. m
.188505	2.5	1.8645	1.34084	.280139

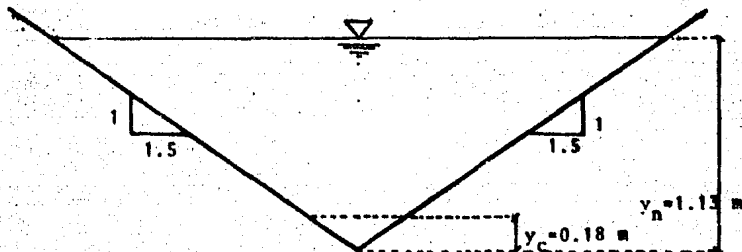


Fig. (5.8.a) Características Hidráulicas para Sección Triangular Ejem. (5.3.1 y 5.5.)

b) Sección Rectangular.

LABORATORIO DE HIDRAULICA

FLUJO CRITICO

Y CRITICO m	PENDIENTE CRITICA GASTO m ³ /s	AREA m ²	VELOCIDAD m/s	ENERGIA MIN. m
0.304802	0.5	1.51097	1.65457	0.444332

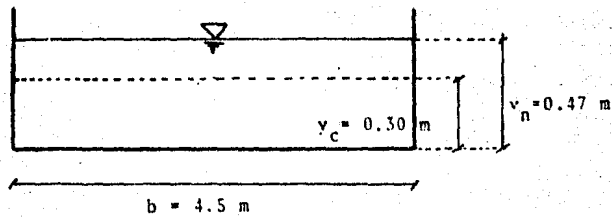


Fig. (5.8.b) Características Hidráulicas para Sección Rectangular Ejems. (5.3.1 y 5.3.4)

c) Sección Trapecial.
LABORATORIO DE HIDRAULICA

FLUJO CRITICO

Y CRITICO m	PENDIENTE CRITICA GASTO m ³ /s	1.5E-03 AREA m ²	VELOCIDAD m/s	ENERGIA MIN. m
.415856	2.5	1.31656	1.89889	.599637

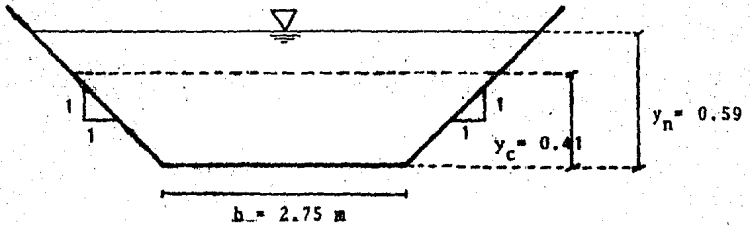


Fig. (5.8.c) Características Hidráulicas para una Sección Trapecial Ejem. (5.3.1 y 5.3.4)

= 215 -

d) Sección Circular.

LABORATORIO DE HIDRAULICA

FLUJO CRITICO

Y CRITICO m	PENDIENTE CRITICA GASTO m ³ /s	AREA m ²	VELOCIDAD m/s	ENERGIA MIN. m
.607942	2.5	.252769	9.89061	5.59388

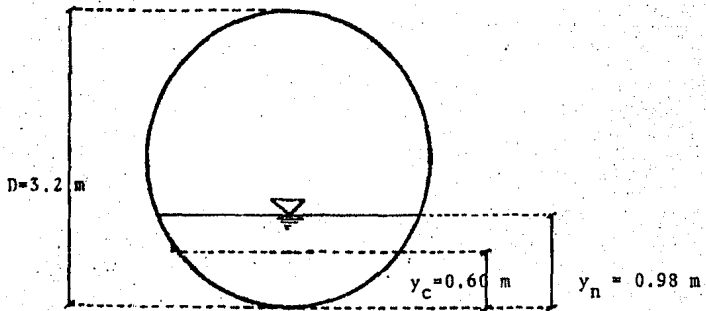


Fig. (5.8.d) Características Hidráulicas para una Sección Circular Ejem. (5.3.1 y 5.3.4)

5.3.5. Tirantes Alternos.

Calcular la magnitud de los tirantes con que puede -
escurrir un gasto $Q = 1.25 \text{ m}^3/\text{seg}$, si la energía específica
es de 1.20 m en:

- a). Un canal rectangular con ancho de plantilla.
 $b = 1.80 \text{ m}$.
- b). Un canal trapecial con ancho de plantilla.
 $b = 1.50 \text{ m}$ y talud $K = 1$.
- c). Un canal triangular con talud $K = 2$.

La solución es la siguiente:

a) Sección Rectangular.

LABORATORIO DE HIDRAULICA

ENERGIA ESPECIFICA

CONDICIONES:

GASTO [m³/s] 1.25
 ENERGIA [m] 1.2

REGIMEN SUBCRITICO

TIRANTE m	VELOCIDAD m/s	FROUDE -	ENERGIA m
1.18241	.587312	.172445	1.19999

REGIMEN SUPERCRITICO

.153292	4.53021	3.69423	1.1993
---------	---------	---------	--------

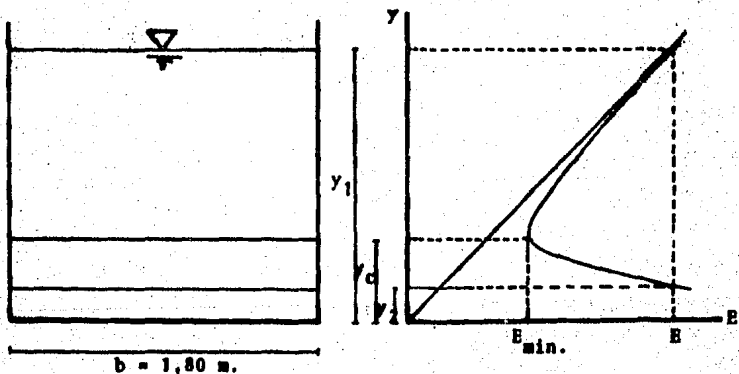


Fig. (5.9.a) Tirantes Alternos para una sección rectangular. Ejem. (5.3.5).

b) Sección Trapecial.

LABORATORIO DE HIDRAULICA

ENERGIA ESPECIFICA

CONDICIONES:

GASTO [m³/s] 1.25

ENERGIA [m] 1.2

REGIMEN SUBCRITICO

TIRANTE m	VELOCIDAD m/s	FROUDE -	ENERGIA m
1.19228	.389416	.136773	1.20001

REGIMEN SUPERCRITICO

.166524	4.50424	3.69598	1.20058
---------	---------	---------	---------

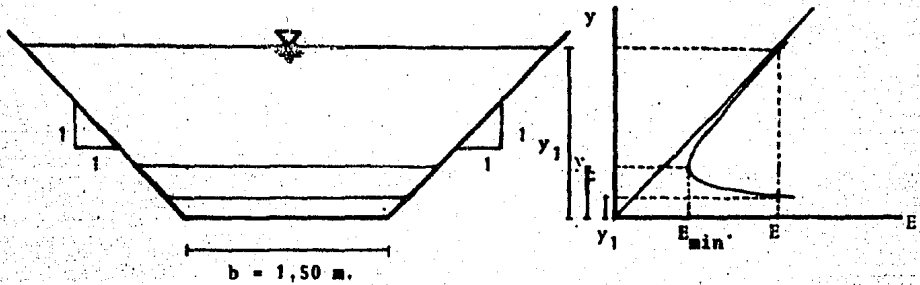


Fig. (5.9.b.) Tirantes Alternos para Sección Trapecial. Ejem. (5.3.5).

c) Sección Triangular
LABORATORIO DE HIDRAULICA

ENERGIA ESPECIFICA

CONDICIONES:

GASTO [m³/s] 1.25
ENERGIA [m] 1.2

REGIMEN SUBCRITICO

TIRANTE m	VELOCIDAD m/s	FROUDE -	ENERGIA m
1.19006	.441305	.182656	1.19999

REGIMEN SUPERCRITICO

.396814	3.96923	2.84508	1.19981
---------	---------	---------	---------

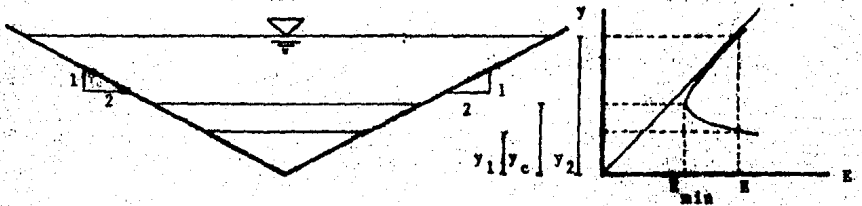


Fig. (5.9.c.) Tirantes Alternos para Sección Triangular, Ejes, (5,3,5)

5.3.6. Obtención de los Tirantes en un Canal con un Escalón.

El agua fluye en un canal rectangular con ancho de planta $b = 3$ m y gasto $Q = 27.9$ m³/seg. Encontrar el cambio en el tirante debido a:

- a). Un escalón suave hacia arriba con una altura de:
0.305 m.
- b). Un escalón suave hacia abajo con una altura de:
0.305 m.
- c). Encontrar el escalón máximo posible hacia arriba para que no se modifique el escurrimiento aguas arriba.

El tirante antes del escalón es de 3.05 m.

La solución es la siguiente:

a) Escalón Ascendente.

LABORATORIO DE HIDRAULICA

ENERGIA ESPECIFICA

CONDICIONES AGUAS ARRIBA

TIRANTE m	ENERGIA m	VELOCIDAD m/s	FROUDE -	GASTO m ³ /s
3.05	3.52388	3.04918	.557441	27.9

REGIMEN SUBCRITICO

TIRANTE m	VELOCIDAD m/s	FROUDE -	ENERGIA m
2.53041	3.6753	.737671	3.21888

REGIMEN SUPERCRITICO

1.70828	5.44408	1.32988	3.21888
---------	---------	---------	---------

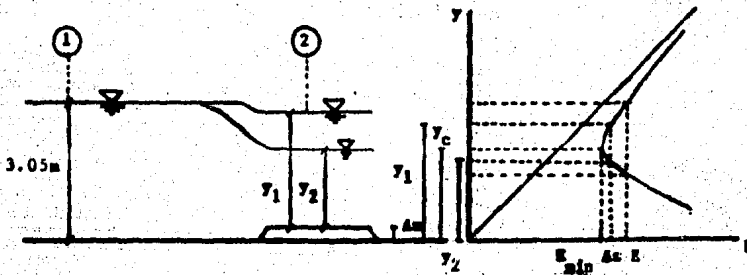


Fig. (5.10.a) Tirantes Alternos en un canal con escalón Ascendente. Kjem. (5.3.6)

b) Escalón Descendente.
LABORATORIO DE HIDRAULICA

ENERGIA ESPECIFICA

CONDICIONES AGUAS ARRIBA

TIRANTE m	ENERGIA m	VELOCIDAD m/s	FROUDE -	GASTO m ³ /s
3.05	3.52388	3.04918	.557441	27.9

REGIMEN SUBCRITICO

TIRANTE m	VELOCIDAD m/s	FROUDE -	ENERGIA m
3.46883	2.68722	.461188	3.82888

REGIMEN SUPERCRITICO

1.32754	7.00545	1.94123	3.82888
---------	---------	---------	---------

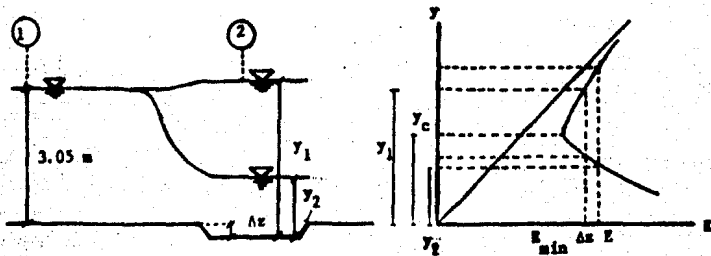


Fig. (5.10.b.) Tirantes Alternos en un Canal con Escalón Descendente. Ejem. (5.3.6)

c) El escalón máximo posible hacia arriba es de:
0.4251 m.

5.3.7. Obtención de los Tirantes en un canal con Ampliación o Reducción.

El agua fluye en un canal rectangular con un gasto $Q = 27.9 \text{ m}^3/\text{seg}$. Obtener la variación en el tirante debido a:

- a). Una ampliación con ancho de plantilla $b = 4 \text{ m}$.
- b). Una reducción con ancho de plantilla $b = 2.6 \text{ m}$.
- c). Obtener el ancho mínimo para que no se modifique el escurrimiento antes del cambio.

Para todos los casos el ancho de plantilla antes del cambio es $b = 3 \text{ m}$ y el tirante también antes del cambio es $Y = 3.05 \text{ m}$.

La solución es la siguiente:

- a) y b) en las siguientes hojas.
- c) El ancho mínimo posible es: 2.525 m .

a) Ampliación.

LABORATORIO DE HIDRAULICA

ENERGIA ESPECIFICA

CONDICIONES AGUAS ARRIBA

TIRANTE m	ENERGIA m	VELOCIDAD m/s	FROUDE -	GASTO m ³ /s
3.05	3.52388	3.04918	.557441	27.9

REGIMEN SUBCRITICO

TIRANTE m	VELOCIDAD m/s	FROUDE -	ENERGIA m
3.29557	2.11648	.372233	3.52388

REGIMEN SUPERCritICO

.989057	7.05218	2.26401	3.52388
---------	---------	---------	---------

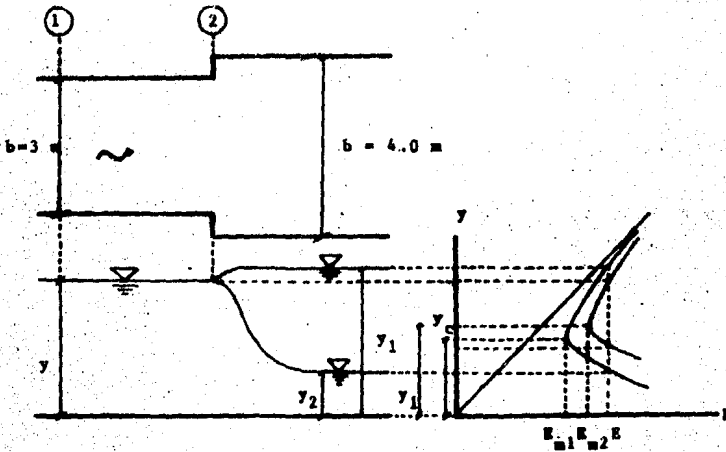


Fig. (5.11.a.) Tirantes Alternos en un canal con Ampliación.
Ejem. (5.3.7)

b) Reducción.
LABORATORIO DE HIDRAULICA

ENERGIA ESPECIFICA

CONDICIONES AGUAS ARRIBA

TIRANTE m	ENERGIA m	VELOCIDAD m/s	FROUDE -	GASTO m ³ /s
3.05	3.52388	3.04918	.557441	27.9

REGIMEN SUBCRITICO

TIRANTE m	VELOCIDAD m/s	FROUDE	ENERGIA m
2.74496	3.90926	.753341	3.52388

REGIMEN SUPERCRITICO

1.90265	5.6399	1.30544	3.52388
---------	--------	---------	---------

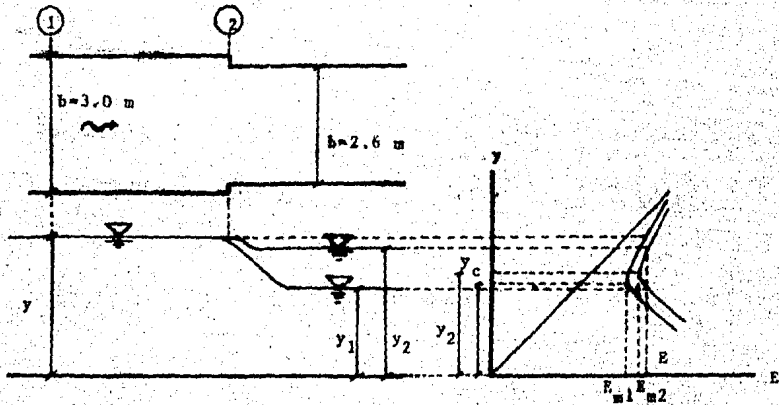


Fig. (5.11.b) Tirantes Alternos en un canal con Reducción.
Ejem. (5.3.7)

5.3.8. Salto Hidráulico.

Se produce un salto hidráulico en un canal trapecial - con ancho de plantilla $b = 6.1$ m, talud $K = 2$, y conduce un - gasto $Q = 28.31$ m³/seg.

Se conoce un tirante $Y = 2.44$ m.

Obtener:

- El régimen al que corresponde el tirante $Y = 2.44$ m.
- El conjugado correspondiente al tirante conocido.
- La función momentum.
- La función momentum mínima.

La solución es la siguiente:

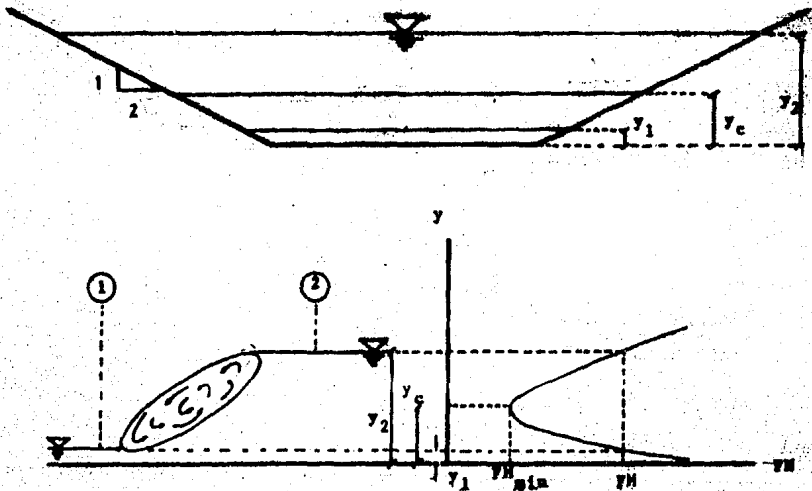


Fig. (5.12) Función Momentum para el Ejem. (5.3.8)

LABORATORIO DE HIDRAULICA

BALTO HIDRAULICO

TIRANTE m	VELOCIDAD m/s	GASTO m ³ /s	FROUDE -	MOMENTUM m ³
	a) REGIMEN SUBCRITICO			
2.44	1.05669	28.31	.259579	48.577
	b) REGIMEN SUPERCRITICO			c)
.382631	13.9512	28.31	8.45444	48.577
	d) La función momentum mínima es 14.49 m ³ .			

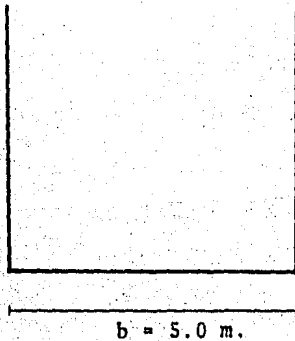
5.3.9. Flujo Gradualmente Variado.

En un canal rectangular con ancho de plantilla es $b = 5$ m, se presenta un gasto $Q = 15.66$ m³/seg; el canal tiene una pendiente $S_o = 0.00101$ y un coeficiente de rugosidad de Manning $n = 0.038$.

Calcular:

- a). El tirante normal y crítico. Identificar el perfil.
- b). El perfil que se tiene para 15 secciones.
- c). La distancia a la que se presenta el tirante normal.
- d). Dibujar el perfil que se obtiene en el inciso (b).

La solución se presenta en la siguiente hoja:



LABORATORIO DE HIDRAULICA
 PERFIL DE FLUJO VARIADO EN EL CANAL

GASTO [m³/s] 15.66
 PENDIENTE 1.01F-03
 RUGOSIDAD .038

RESULTADOS DEL FLUJO VARIADO

TIRANTE NORMAL [m] 3.0348
 TIRANTE CRITICO [m] .99998

Dual Routing SECCION #	now OFF TIRANTE m	REGIMEN SUBCRITICO PERFIL M-2		
		AREA m ²	VELOCIDAD m/s	DISTANCIA m
0	1	5	3.132	0
1	1.11969	5.59847	2.79719	-1.02628
2	1.23939	6.19494	2.52785	-4.6298
3	1.35908	6.79541	2.3045	-11.4904
4	1.47878	7.39389	2.11797	-22.4179
5	1.59847	7.99236	1.95937	-38.3946
6	1.71817	8.59083	1.82287	-60.6354
7	1.83786	9.1893	1.70416	-90.6779
8	1.95755	9.78777	1.59996	-130.519
9	2.07725	10.3862	1.50776	-182.831
10	2.19694	10.9847	1.42562	-251.325
11	2.31664	11.5832	1.35196	-341.388
12	2.43633	12.1817	1.28554	-461.302
13	2.55603	12.7801	1.22534	-624.808
14	2.67572	13.3786	1.17053	-857.317
15	2.79541	13.9771	1.12041	-1214.45
16	2.91511	14.5755	1.0744	-1861.62
17	3.0348	15.174	1.03203	-3021.15

la distancia se toma de la seccion inicial con su signo

Esc. Hor. 1 cm = 200m
Esc. Ver. 2.5cm = 1m

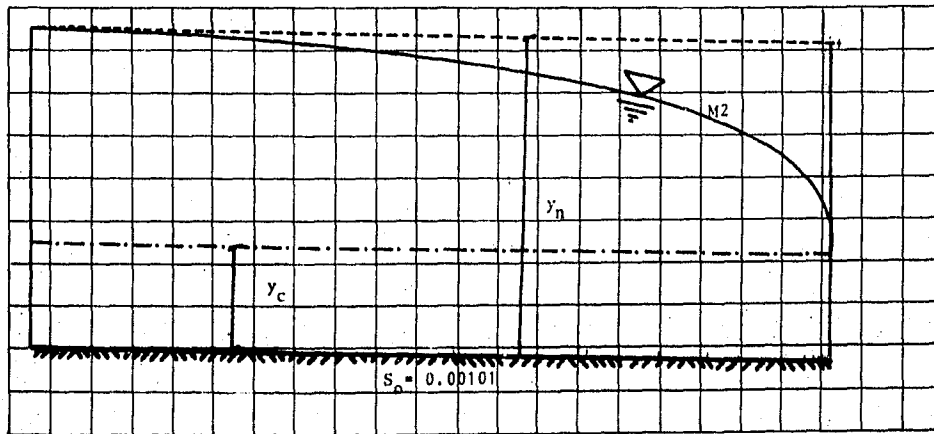


Fig. (5.13) Perfil del Ejem. (5.3.9) para Flujo Gradualmente Variado.

5.3.10. Flujo Espacialmente Variado.

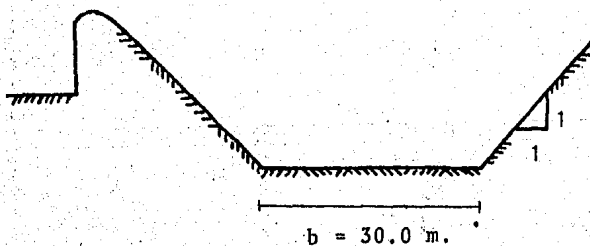
Revisión del canal colector del vertedor lateral de la Presa Solis, Gto. Los datos con los que se cuenta son:

- Sección trapecial con ancho de plantilla:
 $b = 30 \text{ m}$ y talud $K = 1$.
- Gasto $Q = 1380 \text{ m}^3/\text{seg.}$
- Longitud de cresta del vertedor $L_c = 135 \text{ m.}$
- Coeficiente de rugosidad de Manning $n = 0.015$
- La pendiente del canal colector es $S = 0.000$

No hay escalón entre el final del canal colector y la rápida por lo que se genera una sección de control debido al cambio de pendiente.

Se van a revisar 9 secciones a cada 15 metros.

La revisión es la siguiente:



LABORATORIO DE HIDRAULICA

FLUJO ESPACIALMENTE VARIADO

RESULTADOS DEL FLUJO ESPACIALMENTE VARIADO

SECCION	DISTANCIA	TIRANTE	GASTO	VELOCIDAD
m	m	m	m ³ /s	m/s
0	0	5.61643	1380	6.89872
1	15	7.43381	1226.67	4.39449
2	30	8.82462	1073.33	3.51759
3	45	8.40327	920	2.85063
4	60	8.67563	766.667	2.2849
5	75	8.87536	613.333	1.77761
6	90	9.01931	460	1.30709
7	105	9.11691	306.667	0.859913
8	120	9.17356	153.333	0.426684

Dual Routing now OFF

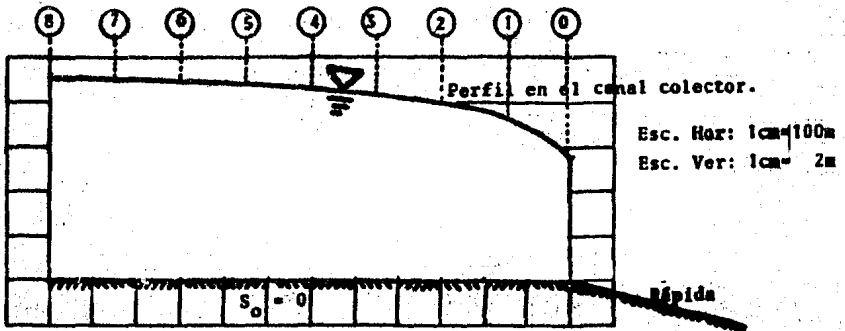


Fig. (5.14) Perfil del Canal Colector del Ejem. (5.3.10)

5.4. - TEMAS AFINES.

5.4.1- Tránsito de Avenidas.

Transitar la avenida de diseño con gasto pico de -
25907 m³/seg y tiempo pico de 1.5 días. El vertedor tiene -
una longitud de cresta de 120 m, la altura de la cresta está
en la elevación 260 m.s.n.m.

La curva de capacidades se enlista a continuación:

ELFVACIONES M.s.n.m.	VOLUMENES 10 ⁶ / m ³
180	0
206	300
221	600
231	900
239	1200
245	1500
256	1800
257	2100
262	2400
267	2700
270	3000
275	3300
279	3600
283	3900
286	4200
290	4500

El coeficiente de descarga del vertedor $c = 2$

Aplicando el programa de ajuste logarítmico se obtiene
la ecuación de la curva elevaciones-capacidades:

$$V = 475960 H^{1.9362}$$

Con el programa de avenida de diseño se obtiene el si-
guiente hidrograma: para un tiempo pico de 36 horas.

La solución al tránsito se presenta después del hidro-
grama de entradas.

LABORATORIO DE HIDRAULICA

AVENIDA DE DISEÑO

GASTO PICO [m³/s]= 25907

TIEMPO PICO [T]= 36

INTERVALO #	TIEMPO [T]	GASTO m ³ /s
1	3.6	1943.03
2	7.2	3886.05
3	10.8	5829.08
4	14.4	7772.1
5	18	12064.9
6	21.6	16357.7
7	25.2	20650.5
8	28.8	23419.9
9	32.4	24663.5
10	36	25907
11	39.6	24767.1
12	43.2	23627.2
13	46.8	21787.8
14	50.4	19248.9
15	54	16710
16	57.6	14171.1
17	61.2	11632.2
18	64.8	9689.23
19	68.4	8342.06
20	72	6994.9
21	75.6	6217.68
22	79.2	5440.47
23	82.8	4663.26
24	86.4	3886.05
25	90	3108.84
26	93.6	2797.96
27	97.2	2487.07
28	100.8	2176.19
29	104.4	1865.31
30	108	1554.42
31	111.6	1476.7
32	115.2	1398.98
33	118.8	1321.26
34	122.4	1243.54
35	126	1165.82
36	129.6	1088.09
37	133.2	1010.37
38	136.8	932.653
39	140.4	854.932
40	144	777.21
41	147.6	699.489
42	151.2	621.768
43	154.8	544.047
44	158.4	466.326
45	162	388.605
46	165.6	310.884
47	169.2	233.162

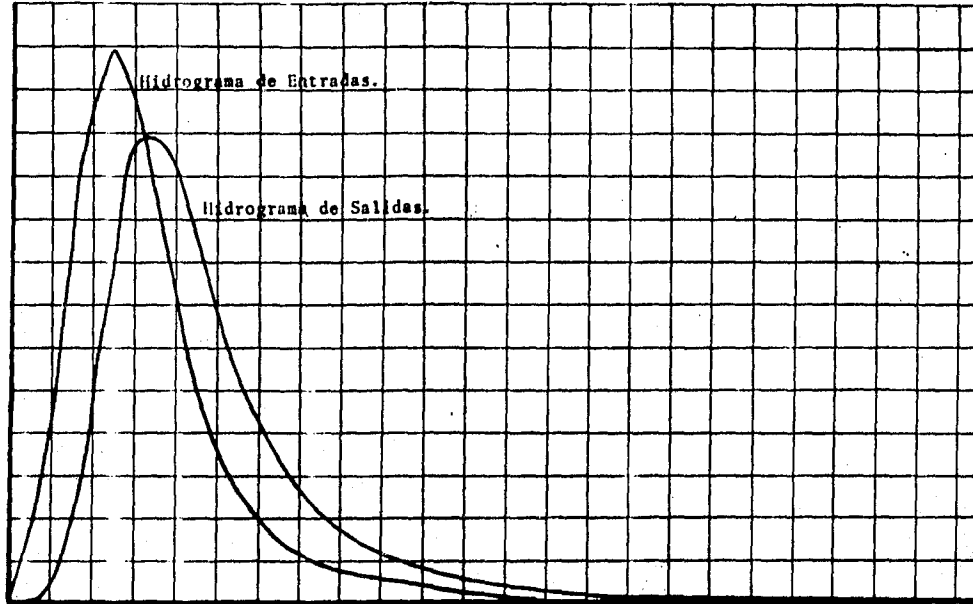
RESULTADO DEL TRANSITO DE AVENIDAS POR VASO

INTERVALO #	TIEMPO seg	NIVEL AGUA m	ENTRADA m ³ /s	SALIDA m ³ /s
0	0	80	0	0
1	12960	80	1943.03	0
2	25920	80.4518	3886.05	72.8702
3	38880	81.3336	5829.08	369.626
4	51840	82.0834	7772.1	996.561
5	64800	84.1125	12034.9	2001.57
6	77760	86.3449	16357.9	3835.74
7	90720	89.0555	20650.5	6540
8	103680	92.0227	23419.9	10005
9	116640	94.7585	24663.5	13607.3
10	129600	96.9522	25907	16751.3
11	142560	98.7303	24767.1	19454.9
12	155520	99.7446	23627.2	21056.3
13	168480	100.231	21707.8	21838.9
14	181440	100.221	19248.9	21823.3
15	194400	99.7365	16710	21043.4
16	207360	98.9169	14171.1	19746.3
17	220320	97.8543	11632.2	18126.1
18	233280	96.6079	9689.23	16243.8
19	246240	95.3307	8342.06	14486.4
20	259200	94.1342	6994.9	12753.2
21	272160	92.9846	6217.68	11229.3
22	285120	91.9725	5440.47	9942.29
23	298080	91.0057	4463.25	8820.36
24	311040	90.1565	3886.05	7768.35
25	324000	89.3495	3108.84	6861.06
26	336960	88.5629	2797.96	6013.66
27	349920	87.8831	2487.07	5311.99
28	362880	87.2817	2176.19	4715.8
29	375840	86.7374	1865.31	4197.14
30	388800	86.2348	1554.42	3736.36
31	401760	85.762	1476.7	3319.46
32	414720	85.3605	1398.90	2978.68
33	427680	85.0149	1321.26	2695.29
34	440640	84.7131	1243.54	2455.7
35	453600	84.446	1165.82	2249.92
36	466560	84.2054	1088.09	2070.52
37	479520	83.9887	1010.37	1911.87
38	492480	83.7884	932.653	1769.71
39	505440	83.6021	854.937	1640.74
40	518400	83.4268	777.21	1522.43
41	531360	83.2607	699.489	1412.77
42	544320	83.1024	621.768	1310.22
43	557280	82.946	544.047	1213.57
44	570240	82.7955	466.326	1121.76
45	583200	82.6479	388.605	1034.12
46	596160	82.5024	310.884	950.022
47	609120	82.358	233.162	869.007
48	622080	82.2141	155	790.702
49	635040	82.0689	50	714.21
50	648000	81.9181	0	637.574
51	660960	81.7722	0	566.672

52	673920	81.6441	0	505.937
53	688880	81.5287	0	453.61
54	699840	81.4251	0	408.284
55	712800	81.3317	0	368.824
56	725760	81.2473	0	334.308
57	738720	81.1707	0	303.986
58	751680	81.1009	0	277.229
59	764640	81.0373	0	253.552
60	777600	80.9791	0	232.5
61	790560	80.9256	0	213.725
62	803520	80.8765	0	196.928
63	816480	80.8311	0	181.853
64	829440	80.7893	0	168.286
65	842400	80.7505	0	156.042
66	855360	80.7145	0	144.961
67	868320	80.6811	0	134.909
68	881280	80.65	0	125.769
69	894240	80.621	0	117.441
70	907200	80.5939	0	109.835
71	920160	80.5685	0	102.875
72	933120	80.5448	0	96.4946
73	946080	80.5225	0	90.6322
74	959040	80.5015	0	85.3376
75	972000	80.4818	0	80.5752
76	984960	80.4633	0	75.8735
77	997920	80.4458	0	71.4259
78	1.01088E+06	80.4292	0	67.4928
79	1.02384E+06	80.4136	0	63.8448
80	1.03680E+06	80.3989	0	60.4557
81	1.04976E+06	80.3849	0	57.3075
82	1.06272E+06	80.3716	0	54.3568
83	1.07568E+06	80.359	0	51.6277
84	1.08864E+06	80.3471	0	49.0705
85	1.1016E+06	80.3357	0	46.681
86	1.11456E+06	80.3249	0	44.4443
87	1.12752E+06	80.3146	0	42.3492
88	1.14048E+06	80.3048	0	40.3836
89	1.15344E+06	80.2954	0	38.5389
90	1.1664E+06	80.2865	0	36.8055
91	1.17936E+06	80.278	0	35.1742
92	1.19232E+06	80.2698	0	33.639
93	1.20528E+06	80.262	0	32.1915
94	1.21824E+06	80.2546	0	30.8264
95	1.2312E+06	80.2474	0	29.537
96	1.24416E+06	80.2405	0	28.3201
97	1.25712E+06	80.234	0	27.1681
98	1.27008E+06	80.2277	0	26.0781
99	1.28304E+06	80.2217	0	25.0457
100	1.296E+06	80.2159	0	0

Eso. Hor.: 1cm = 51840 seg.
Esc. Ver.: 1cm = 2000 m³/seg.

I, O (m³/seg.)



Tiempo (seg.)

Fig. (5.15) Hidrogramas de Entrada y Salida del Ejem. (5.4.1).

5.4.2. Análisis Espectral.

Visualizar una forma analítica para considerar la acción del viento en el tiempo y determinar su espectro.

Los datos se han obtenido de un registro del anemógrafo instalado en el laboratorio de Hidráulica de la Facultad.

Los datos corresponden al registro del anemógrafo del 30 de julio de 1980.

El incremento de tiempo $\Delta t = 3600$.

H O R A	VELOCIDAD (Km / hr)
9:00	5.200
10:00	4.800
11:00	6.00
12:00	6.800
13:00	6.200
14:00	6.600
15:00	6.400
16:00	9.200
17:00	6.000
18:00	6.200
19:00	2.800
20:00	2.600
21:00	1.800
22:00	5.000
23:00	4.200
24:00	6.400
1:00	6.400
2:00	5.000
3:00	1.800
4:00	2.800
5:00	4.500
6:00	2.100
7:00	5.800
8:00	7.100

La solución es la siguiente:

LABORATORIO DE HIDRAULICA

ANALISIS ESPECTRAL

Xn		Sn	An	fn
a	+ b i			
5.07083	0	25.7134	10.1417	-.5
-.29174	.617449	.466355	1.3658	-.498333
-.28753	.33143	.192519	.877541	-.416667
.589621	-.483263	.581196	1.92472	-.375
-.237502	1.78814E-04	.056407	.475003	-.333333
-.104759	-.115713	.0243638	.312178	-.291667
.129164	-.216665	.0636271	.504488	-.25
-.0291585	-.355224	.127034	.712838	-.208333
-.241666	.0368898	.059705	.488692	-.166667
-.164624	7.80076E-05	.027101	.329248	-.125
0.362861 -03	.0644087	4.21841E-03	.129899	-.0833333
.26717	.190295	.107593	.656026	-.0416667
-.3125	5.2431E-06	.0976563	.625	0
.267167	-.190296	.187591	.656021	.0416667
0.36295E-03	-.064398	4.21704E-03	.129877	.0833333
-.164626	-6.56992E-05	.0271018	.329252	.125
-.241665	-.0360737	.0597035	.488686	.166667
-.0291416	.355235	.127041	.712856	.208333
.129175	.216668	.0636311	.504504	.25
-.10475	.115717	.024363	.312173	.291667
-.237489	7.15256E-06	.056401	.474978	.333333
.589643	.483246	.581206	1.92474	.375
-.287529	-.331422	.192514	.877528	.416667
.291765	-.617449	.46637	1.36583	.498333

EL INCREMENTO DE FRECUENCIA ES: 1.15741E-05

V (Km/hr.)

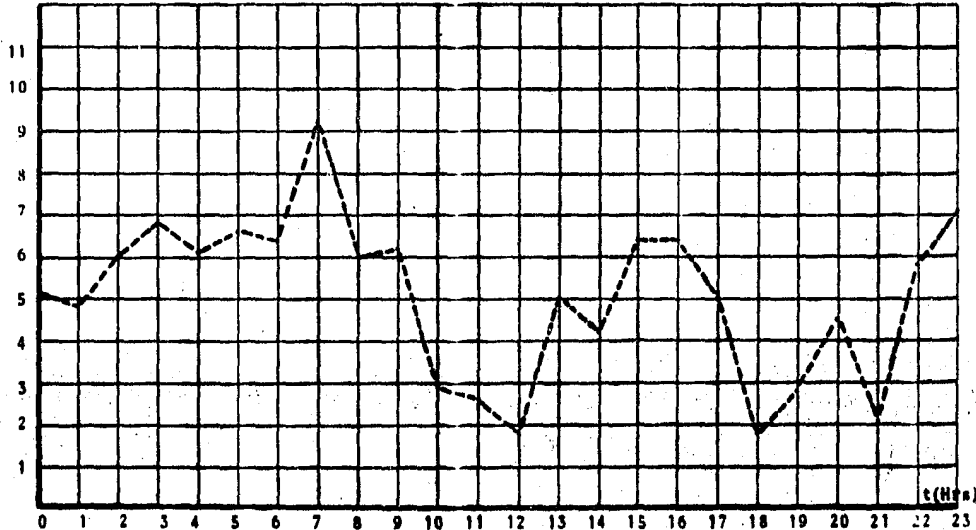
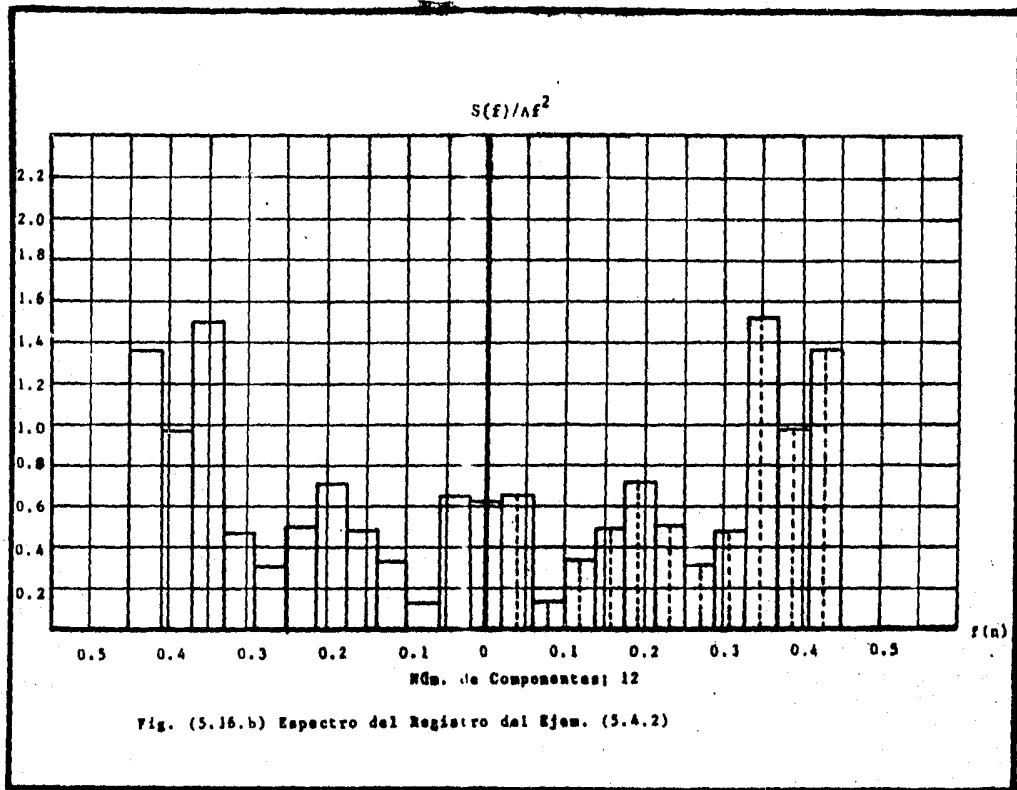


Fig.(5.16.a.) Gráfica de datos del Registro del Ejem. (5.4.2).



5.4.3. Optimización en Riego.

En una zona de riego de 1000 Ha, se dispone de $8 \times 10^6 \text{ m}^3$ por medio de un embalse. Encontrar la superficie de cada cultivo para maximizar el beneficio, si se conoce:

CULTIVO	RENDIMIENTO (Ton/Ha)	UTILIDAD (\$/Ton)	USO CONSUNTIVO (m/ha.)	PRODUCCION MAX. (Ton)
Aguacate	4.74	4,000	1.20	1 800
Ajonjolí	1.10	3,000	0.60	-----
Cacahuate	3.20	3,750	0.90	1 300

Para poder hacer uso del programa es necesario armar la tabla simplex por lo que se procede a ello.

Llamando a las cantidades por sembrar como:

- X_1 — Ha. de Aguacate.
- X_2 — Ha. de Ajonjolí.
- X_3 — Ha. de Cacahuate.

La función objetivo será entonces el costo de utilidad:

$$\text{Ton. de Producto} = \text{Rendimiento} \times \text{Ha.}$$

$$\begin{aligned} \text{Aguacate : } T_{\text{Ag.}} &= 4.74 \times X_1 \\ \text{Ajonjolí : } T_{\text{Aj.}} &= 1.10 \times X_2 \\ \text{Cacahuate : } T_{\text{Cac.}} &= 3.20 \times X_3 \end{aligned}$$

y la utilidad será el tonelaje por la columna \$/Ton, por lo que la utilidad total será:

$$4000 (4.74 X_1) + 3000 (1.10 X_2) + 3750 (3.20 X_3)$$

que es la función objetivo.

Las restricciones serán:

- 1).- Por espacio : $X_1 + X_2 + X_3 \leq 1000$.
- 2).- Por uso de agua.

Como el uso consuntivo son m/Ha de agua requerida y
1 Ha = 10 000 m² la restricción será:

$$12\ 000 X_1 + 6000 X_2 + 9000 X_3 \leq 8\ 000\ 000$$

- 3).- Por máxima producción $4.74 X_1 \leq 1\ 800$
 $3.20 X_3 \leq 1\ 300$

- 4).- Todas las variables.

$$X_1 \geq 0; \quad X_2 \geq 0; \quad X_3 \geq 0.$$

Por lo que el problema se expresa:

$$\text{Max. (Z = } 18\ 960 X_1 + 3\ 300 X_2 + 12\ 000 X_3)$$

Sujeto a:

$$\begin{array}{rcll} X_1 & + & X_2 & + & X_3 & \leq & 1000 \\ 12000 X_1 & + & 6000 X_2 & + & 9000 X_3 & \leq & 8\ 000\ 000 \\ 4.74 X_1 & & & & & \leq & 1800 \\ 3.20 X_3 & & & & & \leq & 1300 \end{array}$$

Con todas las variables no negativas.

En forma estándar:

$$\text{F.O. (Z = } 18960 X_1 + 3300 X_2 + 12000 X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7)$$

$$\begin{array}{rcll} X_1 & + & X_2 & + & X_3 & + & X_4 & = & 1\ 000 \\ 12000 X_1 & + & 6000 X_2 & + & 9000 X_3 & & & + & X_5 & = & 8\ 000\ 000 \\ 4.74 X_1 & & & & & & & & & + & X_6 & = & 1\ 800 \\ & & & & 3.20 X_3 & & & & & & + & X_7 & = & 1\ 300 \end{array}$$

En forma matricial:

$$X^T = [X_1 \quad X_2 \quad X_3 \quad X_4 \quad X_5 \quad X_6 \quad X_7]$$

$$C = [18960, 3300, 12000, 0, 0, 0, 0]$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 12000 & 6000 & 9000 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 4.74 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 3.20 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 1\ 000 \\ 8\ 000\ 000 \\ 1\ 800 \\ 1\ 300 \end{bmatrix}$$

$$X_0 = [X_4 \quad X_5 \quad X_6 \quad X_7]$$

y armando la tabla simplex:

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	
	18960	3300	12000	0	0	0	0	
X_4	0	1	1	1	0	0	0	1 000
X_5	0	12000	6000	9000	0	1	0	8 000 000
X_6	0	4.74	0	0	0	0	1	1 800
X_7	0	0	0	3.20	0	0	0	1 300
-	18960	- 3300	- 12000	0	0	0	0	

y aplicando el programa del método simplex, se obtiene la solución.

LABORATORIO DE HIDRAULICA

METODO SIMPLEX

PROBLEMA. - EJEMPLO 5.4.3 TESIS LICENCIATURA

No. de Variables (Molera, Artificial y Superflua) = 7
No. de Restricciones = 4

TODAS LAS VARIABLES NO NEGATIVAS

RESULTADOS

X(4) = 237.693
X(3) = 382.56
X(1) = 379.747
X(7) = 75.0997

Todas las demas variables valen cero

Analizando Resultados:

Con los valores de las variables del problema:

$$X_1 = 379.747 \text{ Has.} \quad X_2 = 0 \quad X_3 = 382.56 \text{ Has.}$$

Función objetivo: Utilidad = \$ 11,790,723.12

1.- Por espacio $X_1 + X_2 + X_3 < 1000$

$$379.747 + 0 + 382.56 = 762.307 < 1000$$

2.- Por uso de agua:

$$12\ 000 X_1 + 6\ 000 X_2 + 9\ 000 X_3 = 8\ 000\ 000$$

$$12\ 000 (379.747) + 0 + 9\ 000 (382.56) = 8\ 000\ 000$$

3.- Por Producción:

$$4.74 X_1 = 1\ 800$$

$$4.74 (379.747) = 1\ 800$$

$$3.20 X_3 < 1\ 300$$

$$3.20 (382.56) = 1\ 224.192 < 1\ 300$$

5.4.4. Funcionamiento de Vaso.

Simular el funcionamiento del vaso cuyas entradas se enlistan a continuación:

	AÑOS					
	1	2	3	4	5	
Enero	125	125	253	215	125	
Febrero	135	142	254	241	560	
Marzo	350	253	145	251	584	
Abril	200	546	285	251	452	
Mayo	600	248	652	257	123	En millones de metros cúbicos
Junio	250	845	742	258	154	
Julio	123	263	851	123	251	
Agosto	215	215	265	213	123	
Septiembre	900	258	231	0	862	
Octubre	102	124	258	0	745	
Noviembre	230	156	142	0	452	
Diciembre	251	187	632	152	126	

No se considera evaporación, con períodos mensuales y 5 años de registro. Capacidad de azolves de $2000 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Las demandas son constantes de $450 \times 10^6 \text{ m}^3$ al mes.

El funcionamiento se pide para las siguientes capacidades supuestas:

- a) $5000 \times 10^6 \text{ m}^3$
- b) $10000 \times 10^6 \text{ m}^3$
- c) $15000 \times 10^6 \text{ m}^3$

Condición inicial de capacidad en todos los casos es : $1000 \times 10^6 \text{ m}^3$ menos que la capacidad supuesta.

La solución es la siguiente:

a) Capacidad Supuesta $5\ 000 \times 10^6 \text{ m}^3$

RESULTADO DEL FUNCIONAMIENTO

CAPACIDAD SUPUESTA (MM3) 5000
CAPACIDAD DE AZOLVES (MM3) 2000
CAPACIDAD INICIAL (MM3) 4000

TOTAL DEMANDADO (MM3)	27000		
TOTAL ENTRADAS (MM3)	18436	PORCENTAJE CON DEMANDA	68.2815
TOTAL EVAPORADO (MM3)	0	PORCENTAJE CON DEMANDA	0
TOTAL EXTRAIDO (MM3)	20051	PORCENTAJE CON DEMANDA	74.263
TOTAL DEFICIT (MM3)	6949	PORCENTAJE CON DEMANDA	25.737
TOTAL DERRAMADO (MM3)	0	PORCENTAJE CON DEMANDA	0

DESEA TODO EL DESGLOSE DEL FUNCIONAMIENTO (SI=1/NO=2)? 2
Dual Routing now OFF

b) Capacidad Supuesta $10\ 000 \times 10^6 \text{ m}^3$

RESULTADO DEL FUNCIONAMIENTO

CAPACIDAD SUPUESTA (MM3) 10000
CAPACIDAD DE AZOLVER (MM3) 2000
CAPACIDAD INICIAL (MM3) 9000

TOTAL DEMANDADO (MM3)	27000		
TOTAL ENTRADAS (MM3)	18436	PORCENTAJE CON DEMANDA	68.2815
TOTAL EVAPORADO (MM3)	0	PORCENTAJE CON DEMANDA	0
TOTAL EXTRAIDO (MM3)	20051	PORCENTAJE CON DEMANDA	74.2815
TOTAL DEFICIT (MM3)	1949	PORCENTAJE CON DEMANDA	7.21852
TOTAL DERRAMADO (MM3)	0	PORCENTAJE CON DEMANDA	0

DESEA TODO EL DESGLOSE DEL FUNCIONAMIENTO (SI=1/NO=2)? 2
Dual Routing now OFF

c) Capacidad Supuesta 15 000 X 10⁶ m³

R E S U L T A D O D E L F U N C I O N A M I E N T O

CAPACIDAD SUPUESTA (MM3) 15000
CAPACIDAD DE AZOLVES (MM3) 2000
CAPACIDAD INICIAL (MM3) 14000

TOTAL DEMANDADO (MM3)	27000		
TOTAL ENTRADAS (MM3)	18436	PORCENTAJE CON DEMANDA	68.2815
TOTAL EVAPORADO (MM3)	0	PORCENTAJE CON DEMANDA	0
TOTAL EXTRAIDO (MM3)	27000	PORCENTAJE CON DEMANDA	100
TOTAL DEFICIT (MM3)	0	PORCENTAJE CON DEMANDA	0
TOTAL DERRAMADO (MM3)	0	PORCENTAJE CON DEMANDA	0

DESEA TODO EL DERGLOSE DEL FUNCIONAMIENTO (SI=1/NO=2)? 2
Dual Routing now OFF

CAPITULO - VI

VI.0.0. CONCLUSIONES.

VI.0.0. CONCLUSIONES.

La solución de un determinado problema va ligada a la complejidad del mismo, pero en términos generales se puede plantear una secuencia de solución:

- i) Análisis del problema y ecuaciones que lo rigen.
- ii) Planteamiento de un algoritmo de solución.
- iii) Cálculo de la solución (computadora como herramienta).
- iv) Interpretación de los resultados.

El aplicar los Métodos Numéricos, no solamente a problemas hidráulicos sino que también en otras ramas, simplifican el cálculo de la solución de los problemas. La computadora es una herramienta y hay que recordar que es una ayuda para los diseñadores, experimentadores y realizadores -- que deben existir en la Ingeniería.

Los métodos de solución que se han presentado son solo algunos, ya que existen otras alternativas, y resta entonces incluir otros métodos más y/o comparar la compatibilidad entre los ya existentes.

El paquete que se ha elaborado tiene como fin el ser usado por quien lo requiera. Dicho paquete está cargado en un disco para microcomputadora Radio-Shack TRS II-80 y quedó a disposición en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería. Cabe mencionar que este laboratorio no cuenta con la microcomputadora y que la formación del paquete se hizo en la máquina propiedad del Departamento de

Mecánica de Fluidos de la misma Facultad. En consecuencia para facilitar el uso, la segunda etapa (a futuro), es el pasar del sistema Radio-Shack al sistema VAX, facilitando el acceso para alumnos de la Facultad. Además, también --- existe una tercera etapa que es la elaboración de un manual de usuario.

Los resultados obtenidos con los métodos propuestos en cuanto a exactitud, rapidez y facilidad de uso son satisfactorios y, como ya se mencionó, se da lugar a seguir buscando nuevas soluciones y seguir usando como herramienta la -- computadora.

Se han presentado solo algunos problemas de Hidráulica y de Hidrología de tal forma que aún existen muchos más para los cuales se pueden elaborar algoritmos que simplifi--- quen la solución; y de ninguna manera se pretende presentar a la computadora como algo indispensable.

Recordando lo que se mencionó al principio del trabajo de que el desarrollo de la Hidráulica está íntimamente liga do con el desarrollo de la técnica, la forma de resolver -- los problemas y la aplicación de nuevos métodos irá cambian do conforme a los resultados que se obtengan de nuevas in-- vestigaciones y teorías junto con las nuevas herramientas - que se tengan.

De los métodos que se propusieron en el segundo Capítu lo como en el caso de la solución de sistemas de ecuaciones, solución de ecuaciones de una sola variable de orden n y, los métodos de ajuste de valores son métodos que se presen taron como complemento además de que se utilizaron para la solución de diferentes problemas en el tercer Capítulo.

Finalmente, este trabajo tiene la intención de fomentar el interés hacia los Métodos Numéricos aplicados a la Hidráulica cambiando la tendencia actual; simplificando el tiempo de cálculo e incrementándolo para la interpretación de los resultados, actividad mucho más Ingenieril.

C A P I T U L O - V I I

VII.0.0. APENDICES.

IMPRESION TESIS

```
10 REM TESIS DE LICENCIATURA JAVIER BOLAÑOS NAVA 1985 (OK)
20 REM MENU QUE CONTROLA TODOS LOS PROGRAMAS DEL PAQUETE (MENU)
30 C1$:PRINT:PRINT,"DIVISION DE INGENIERIA CIVIL, TOPOGRAFICA Y":PRINT,,"GFODESI
CA":PRINT:PRINT:PRINT," FACULTAD DE INGENIERIA":PRINT," LABORATORI
O DE HIDRAULICA":PRINT
40 PRINT"*****"
*****
50 PRINT:PRINT:PRINT" El presente paquete de programas contiene una serie de
opciones de acuerdo":PRINT:PRINT" al problema hidraulico a resolver. A continu
acion aparecera el menu de":PRINT:PRINT" control para seleccionar el tema desead
o."
60 PRINT:PRINT"*****"
*****
70 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:INPUT "Oprimir '1 ENTER' para continuar":R
80 IF R<>1 THEN 20
90 C1$:PRINT:PRINT,"LABORATORIO DE HIDRAULICA":PRINT
,"*****"
100 PRINT:PRINT:PRINT"PROGRAMAS DISPONIBLES:"
110 PRINT:PRINT"1.- SOLUCION DE ECUACIONES DE UNA SOLA VARIABLE DE ORDEN (N)":PR
INT:PRINT"2.- REGRESIONES NO LINEALES, AJUSTES Y SISTEMAS DE ECUACIONES":PRINT:
PRINT"3.- FLUJO EN CONDUCTOS CERRADOS (TUBERIAS A PRESION)":PRINT
120 PRINT"4.- FLUJO A SUPERFICIE LIBRE (CANALES)":PRINT:PRINT"5.- TEMAS AFINES
A LA HIDRAULICA (VARIOS)":PRINT:PRINT"6.- SALIDA DEL MENU":PRINT:PRINT
130 PRINT:INPUT "PROGRAMA Deseado":Y
140 PRINT:PRINT"CARGANDO EL PROGRAMA, ESPERE....."
150 ON Y GOTO 160,170,180,190,200,210
160 RUN"SOI.POL
170 RUN"AJUSTE
180 RUN"FLUTUB
190 RUN"FLUCAN
200 RUN"VARIOS
210 RUN"ADIOS
```


IMPRESION TESIS

```
10 REM ***** PROGRAMA TESIS LICENCIATURA          JAVIER BOLAÑOS NAVA    (OK)
20 REM ***** SOLUCION DE ECUACIONES DE UNA SOLA VARIABLE    (SOL.POL.)
30 REM ***** AGOSTO DE 1985
40 CLR:PRINT:PRINT:PRINT,"UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO":PRINT:PRINT,"
SOLUCION DE ECUACIONES DE UNA SOLA VARIABLE":PRINT,"LABORATORIO DE HIDRAULICA":P
RINT:PRINT:PRINT
50 PRINT "METODOS DISPONIBLES:":PRINT:PRINT "1.- BISECCION":PRINT"2.- REGULA-FAL
SI":PRINT"3.- NEWTON-RAPHSON":PRINT"4.- SECANTE":PRINT"5.- FIN PROGRAMA":PRINT:P
RINT"TOLFRANCIA ASIGNADA T=.00001":T=.00001
60 PRINT:INPUT "No. DEL METODO DESEADO":Y
70 ON Y GOTO 80,420,760,1010,1330
80 CLR:PRINT:PRINT,"M E T O D O   D E   B I S E C C I O N"
90 PRINT:PRINT:PRINT "LA FUNCION A RESOLVER ES DEL TIPO:":PRINT:PRINT,"F(X)=A1(X
)^N + A2(X)^N-1 + A3(X)^N-2 + . . . + A(N+1) = 0":PRINT
100 INPUT "INTRODUCE EL GRADO N=":N
110 DIM A(N+1):PRINT
120 PRINT"INTRODUCE LOS VALORES DE LOS COEFICIENTES:":PRINT
130 FOR I=1 TO N+1
140 PRINT "A(":I:"):=":
150 INPUT A(I)
160 NEXT I
170 PRINT:INPUT "RANGO DE POSIBLE SOLUCION (A,B)":A,B
180 AB=A:BB=B
190 PRINT:PRINT,,"INICIO CALCULO, ESPERE....."
200 X=A
210 GOSUB 1370
220 FA=F
230 X=B
240 GOSUB 1370
250 FB=F
260 IF FA*FB<0 THEN GOTO 290
270 IF FA<0 THEN INPUT "AUMENTA VALOR DE B":B:BB=B:GOTO 230
280 INPUT "DISMINUYE VALOR DE A":A:AB=A:GOTO 200
290 C=(A+B)/2
300 X=C
310 GOSUB 1370
320 FC=F
330 IF ABS(FC)<=T THEN GOTO 360
340 IF FC>0 THEN A=C:GOTO 200
350 B=C:GOTO 230
360 PRINT:PRINT,,"UNA RAZA ES X=":C
370 PRINT:INPUT"DESEA IMPRIMIR RESULTADOS (SI=1 / NO=2)":R9
380 IF R9=1 THEN GOSUB 1550
390 PRINT:INPUT"DESEA BUSCAR OTRA RAZA (SI=1 / NO=2)":R
400 IF R=0 THEN 170
410 RUN
420 CLR:PRINT:PRINT,"M E T O D O   D E   R E G U L A   F A L S I"
430 PRINT:PRINT:PRINT "LA FUNCION A RESOLVER ES DEL TIPO:":PRINT:PRINT,"F(X)=A1(
X)^N + A2(X)^N-1 + A3(X)^N-2 + . . . + A(N+1) = 0":PRINT
440 INPUT "INTRODUCE EL GRADO N=":N
450 DIM A(N+1):PRINT
460 PRINT"INTRODUCE LOS VALORES DE LOS COEFICIENTES:":PRINT
470 FOR I=1 TO N+1
480 PRINT "A(":I:"):=":
490 INPUT A(I)
500 NEXT I
510 PRINT:INPUT "RANGO DE POSIBLE SOLUCION (A MENOR QUE B) (A,B)":A,B
520 AB=A:BB=B
```

```
530 PRINT:PRINT, "INICIO DE CALCULO; ESPERE . . . . ."  
540 X=A  
550 GOSUB 1370  
560 FA=FB  
570 X=B  
580 GOSUB 1370  
590 FB=FA  
600 IF FA*FB<0 THEN GOTO 630  
610 IF FA<0 THEN INPUT "AUMENTA EL VALOR DE B";B:BB=B:GOTO 570  
620 INPUT "DISMINUYE EL VALOR DE A";A:AA=A:GOTO 540  
630 C=B-((B-A)*FB/(FB-FA))  
640 X=C  
650 GOSUB 1370  
660 FC=F  
670 IF ABS(FC)<=T THEN GOTO 700  
680 IF FC<0 THEN A=C: GOTO 540  
690 B=C:GOTO 570  
700 PRINT:PRINT, "UNA RAIZ ES X=";C  
710 PRINT:INPUT "DESEA IMPRIMIR RESULTADOS (SI=1 / NO=2)";R9  
720 IF R9=1 THEN GOSUB 1550  
730 PRINT:INPUT "DESEAS BUSCAR OTRA RAIZ (SI=1 / NO=2)";R  
740 IF R=1 THEN 510  
750 RUN  
760 CLS:PRINT:PRINT, "M E T O D O   D E   N E W T O N - R A P H S O N"  
770 PRINT:PRINT:PRINT "LA FUNCION A RESOLVER ES DEL TIPO:"; PRINT:PRINT, "F(X)=A1  
(X)^N + A2(X)^N-1 + A3(X)^N-2 + . . . + A(N+1) = 0";PRINT  
780 INPUT "INTRODUCE EL GRADO N=";N  
790 DIM A(N+1):PRINT  
800 PRINT:INTRODUCE LOS VALORES DE LOS COEFICIENTES:";PRINT  
810 FOR I=1 TO N+1  
820 PRINT "A(";I;")=";  
830 INPUT A(I)  
840 NEXT I  
850 PRINT:INPUT "INTRODUCE EL VALOR INICIAL (DISTINTO DE CERO)";X  
860 PRINT:PRINT, "INICIO DE CALCULO; ESPERE....."  
870 GOSUB 1370  
880 GOSUB 1430  
890 GOSUB 1490  
900 C=X-(F/F1)/2*3  
910 S=F*F2/F1+2  
920 IF S>1 THEN INPUT "NO CONVERGE; AUMENTA X (DISTINTO DE CERO)";X:GOTO870  
930 IF ABS(C-X)<=T THEN GOTO 950  
940 X=C:GOTO870  
950 PRINT:PRINT, "UNA RAIZ ES X=";C  
960 PRINT:INPUT "DESEA IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1 / NO=2)";R9;AB=C-1:BB=C+1  
970 IF R9=1 THEN GOSUB 1550  
980 PRINT:INPUT "DESEAS BUSCAR OTRA RAIZ (SI=1 / NO=2)";R  
990 IF R=1 THEN 850  
1000 RUN  
1010 CLS:PRINT:PRINT, "M E T O D O   D E   L A   S E C A N T E"  
1020 PRINT:PRINT:PRINT "LA FUNCION A RESOLVER ES DEL TIPO:";PRINT:PRINT, "F(X)=A1  
(X)^N + A2(X)^N-1 + A3(X)^N-2 + . . . + A(N+1) = 0";PRINT  
1030 INPUT "INTRODUCE EL GRADO N=";N  
1040 DIM A(N+1): PRINT  
1050 PRINT:INTRODUCE LOS VALORES DE LOS COEFICIENTES:";PRINT  
1060 FOR I=1 TO N+1  
1070 PRINT "A(";I;")=";  
1080 INPUT A(I)  
1090 NEXT I  
1100 PRINT:INPUT "RANGO DE POSIBLE SOLUCION (A MENOR QUE B) (A,B)";A,B
```

```
1110 AB=A:BB=B
1120 PRINT:PRINT, "INICIO DE CALCULO, ESPERE....."
1130 X=A
1140 GOSUB 1370
1150 FA=F
1160 X=B4
1170 GOSUB 1370
1180 FB=F
1190 S=FB*(B-A)/(FB-FA)
1200 C=R-S
1210 X=C
1220 GOSUB 1370
1230 FC=F4
1240 IF ABS(FC)<=T THEN GOTO 1270
1250 IF S<0 THEN A=C:GOTO 1130
1260 B=C:GOTO 1160
1270 PRINT:PRINT, "UNA RAIZ ES X=":C
1280 PRINT:INPUT "DESEA IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1 / NO=2)":R9
1290 IF R9=1 THEN GOSUB 1550
1300 PRINT:INPUT "DESEAS BUSCAR OTRA RAIZ (SI=1 / NO=2)":R
1310 IF R=1 THEN 1100
1320 RUN
1330 CLS:PRINT "PROGRAMA FINALIZADO"
1340 PRINT:PRINT:PRINT "CARGANDO EL MENU....."
1350 FOR I=1 TO 150:NEXT I
1360 RUN "MENU"
1370 REM SUBROUTINA DE CALCULO DE LA FUNCION PARA TODOS LOS METODOS
1380 F=0
1390 FOR I=1 TO N+1
1400 F=F+A(I)*(X↑(N+1-I))
1410 NEXT I
1420 RETURN
1430 REM SUBROUTINA DE CALCULO DE LA PRIMERA DERIVADA
1440 F1=0
1450 FOR I=1 TO N+1
1460 F1=F1+A(I)*(N+1-I)*(X↑(N-I))
1470 NEXT I
1480 RETURN
1490 REM SUBROUTINA DE CALCULO DE LA SEGUNDA DERIVADA
1500 F2=0
1510 FOR I=1 TO N+1
1520 F2=F2+A(I)*(N+1-I)*(N-I)*(X↑(N-1-I))
1530 NEXT I
1540 RETURN
1550 REM SUBROUTINA DE IMPRESION
1560 CLS:PRINT "DATOS NECESARIOS PARA IMPRESION":PRINT
1570 SYSTEM "FORMS P=51 L=47"
1580 SYSTEM "T"
1590 LPRINT:LPRINT, "LABORATORIO DE HIDRAULICA":LPRINT
, "*****"
1600 LPRINT:LPRINT:LPRINT "LA FUNCION A RESOLVER ES DEL TIPO":LPRINT:LPRINT, "F(X)
)=A1(X)↑N + A2(X)↑N-1 + A3(X)↑N-2 + . . . + A(N+1) = 0":LPRINT
1610 LPRINT, "GRADO DEL POLINOMIO =" :N
1620 LPRINT, "COEFICIENTES:"
1630 FOR I=1 TO N+1
1640 LPRINT, "A(" :I; ")" = " :A(I)
1650 NEXT I
1660 LPRINT:LPRINT "ENTRE EL RANGO" :AB, BB
1670 LPRINT "UNA RAIZ ES X =" :C
1680 RETURN
```

IMPRESION TESIS

```
10 REM xxxxxx PROGRAMA TESIS LICENCIATURA JAVIER BOLAÑOS NAVA (OK)
20 REM xxxxxx REGRESIONES NO LINEALES, AJUSTES Y SISTEMAS DE ECUACIONES (AJUSTE)
30 REM xxxxxx OCTUBRE DE 1985
40 CLS:PRINT:PRINT," UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO ":PRIN
T:PRINT,"REGRESIONES NO LINEALES, AJUSTES Y SISTEMAS DE ECUACIONES":PRINT:PRINT,
" LABORATORIO DE HIDRAULICA ":PRINT:PRINT
50 PRINT "METODOS DISPONIBLES:";PRINT:PRINT "1.- EXPONENCIAL";PRINT"2.- LOGARITM
ICA";PRINT"3.- POLINOMICA";PRINT"4.- NO LINEAL";PRINT"5.- GAUSS";PRINT"6.- FIN
PROGRAMA":PRINT:PRINT:CLR
60 PRINT:INPUT "No. DEL METODO DEBADO":Y
70 ON Y GOTO 80,270,460,1210,1570,2310
80 REM AJUSTE EXPONENCIAL
90 CLS:PRINT:PRINT,"A J U S T E E X P O N E N C I A L":PRINT:PRINT:PRINT
100 PRINT "El ajuste sera del tipo: ";PRINT:PRINT," Y = A ekx ":PRINT
110 INPUT "INTRODUCE No. DE DATOS":N
120 DIM X(N),Y(N),XX(N),YY(N)
130 PRINT:PRINT"INTRODUCE LOS PARES DE DATOS X,Y"
140 FOR I=1 TO N
150 PRINT "(X";I";,Y";I";) = ";
160 INPUT X(I),Y(I):X(I)=X(I):Y(I)=Y(I)
170 Y(I)=LOG(Y(I))
180 NEXT I
190 GOSUB 1490
200 CLS:PRINT:PRINT,"LA ECUACION DE AJUSTE ES:";PRINT:PRINT" Y=";A;"e(k;x)"
210 GOSUB 2410
220 PRINT:INPUT"DESEAS IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1 /NO=2)":WB
230 IF WB=1 THEN GOSUB 2540
40 PRINT:INPUT"DESEAS OTRO AJUSTE EXPONENCIAL (SI=1 / NO=2)":TB
250 IF TB<>1 THEN GOTO 10
260 CLEAR:GOTO 80
270 REM AJUSTE LOGARITMICO
280 CLS:PRINT:PRINT:PRINT,"A J U S T E L O G A R I T M I C O":PRINT:PRINT
290 PRINT "El ajuste sera del tipo: ";PRINT:PRINT," Y = A xk":PRINT
300 INPUT "INTRODUCE No. DE DATOS":N
310 DIM X(N),Y(N),XX(N),YY(N)
320 PRINT:PRINT"INTRODUCE LOS PARES DE DATOS X,Y"
330 FOR I=1 TO N
340 PRINT "(X";I";,Y";I";) = ";
350 INPUT X(I),Y(I):XX(I)=X(I):YY(I)=Y(I)
360 Y(I)=LOG(Y(I)):X(I)=LOG(X(I))
370 NEXT I
380 GOSUB 1490
390 CLS:PRINT:PRINT,"LA ECUACION DE AJUSTE ES:";PRINT:PRINT"Y =";A;"x(k;)"
400 GOSUB 2350
410 PRINT:INPUT"DESEAS IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1 / NO=2)":WB
420 IF WB=1 THEN GOSUB 2610
430 PRINT:INPUT"DESEAS OTRO AJUSTE LOGARITMICO (SI=1 / NO=2)":TB
440 IF TB<>1 THEN GOTO 10
450 CLEAR:GOTO 270
460 REM AJUSTE POLINOMICO
470 CLS:PRINT:PRINT,"A J U S T E P O L I N O M I C O":PRINT:PRINT
480 PRINT"El ajuste sera del tipo:";PRINT:PRINT,"Y = A0 + A1 x + A2 x2":PRINT
490 INPUT"INTRODUCE EL No. DE DATOS":N9
500 PRINT:PRINT"INTRODUCE LOS PARES DE DATOS X,Y":DIM X9(N9),Y9(N9)
510 FOR I=1 TO N9
520 PRINT "X(";I";,Y";I";) = ";
530 INPUT X9(I),Y9(I)
540 NEXT I
```

```
550 FOR I=1 TO N9
560 L1=L1+X9(I)*8*X(I)
570 L2=L2+(X9(I)^2)
580 L3=L3+Y9(I):L4=L4+X9(I)^3
590 L5=L5+(X9(I)*Y9(I)):L6=L6+X9(I)^4
600 L7=L7+((X9(I)^2)*Y9(I))/X(I)
610 NEXT I
620 M=3:N=4
630 DIM A(M,N):DIM B(M,N):DIM X(M)
640 A(1,1)=N9:A(1,2)=L1:A(1,3)=L2:A(1,4)=L3:A(2,1)=L1:A(2,2)=L2:A(2,3)=L4:A(2,4)
=L5:A(3,1)=L2:A(3,2)=L4:A(3,3)=L6:A(3,4)=L7
650 REM QUEDA INTRODUCIDA LA MATRIZ DEL SISTEMA
660 REM INICIA LA REACOMODACION DE LA MATRIZ, SIN CEROS EN LA DIAGONAL
670 K=0:T=M*N
680 I=0:K=K+1
690 I=I+1
700 IF K>T THEN GOTO 1110
710 J=I
720 IF I>M THEN GOTO 850
730 IF A(I,J)<>0 THEN GOTO 690
740 P=J
750 FOR L=1 TO M
760 IF A(L,P)=0 THEN GOTO 830
770 FOR J=1 TO N
780 B(I,J)=A(J,I)
790 A(I,J)=A(L,I)
800 A(L,J)=B(I,J)
810 NEXT J
820 GOTO 680
830 NEXT L
840 GOTO 680
850 REM MATRIZ REACOMODADA SIN CEROS EN LA DIAGONAL TERMINADA
860 REM INICIA EL ALGORITMO DE GAUSS
870 FOR I=1 TO M-1
880 FOR J=I+1 TO M
890 C=A(J,I)/A(I,I)
900 FOR S=I TO N
910 A(J,S)=A(J,S)-(C*A(I,S))
920 NEXT S
930 NEXT J
940 NEXT I
950 FOR I=1 TO M
960 IF A(I,I)>0 THEN GOTO 1110
970 NEXT I
980 REM MATRIZ TRIANGULAR TERMINADA
990 REM INICIA METODO DE VUELTA ATRAS
1000 I=M
1010 J=M
1020 D=0
1030 IF I=J THEN GOTO 1070
1040 D=D-(A(I,J)*X(J))
1050 J=J-1
1060 GOTO 1030
1070 X(I)=(A(I,N)+D)/A(I,I)
1080 IF I=1 THEN GOTO 1120
1090 I=I-J
1100 GOTO 1010
1110 PRINT"NO HAY SOLUCION AL SISTEMA":GOTO 1180
1120 REM GAUSS TERMINADO
1130 C1$:PRINT:PRINT"LA ECUACION DE AJUSTE ES: ":PRINT
```

```
1140 PRINT,"Y = ("X(1);" ) + ("X(2);" x ) + ("X(3);" x^2):PRINT
1150 GOSUB 2470
1160 PRINT:INPUT"DESEAS IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1 / NO=2)":WB
1170 IF WB=1 THEN GOSUB 2480
1180 INPUT "DESEAS OTRO AJUSTE POLINOMICO (SI=1 / NO=2)":TB
1190 IF TB<>1 THEN GOTO 10
1200 CLEAR:GOTO 460
1210 REM AJUSTE POR REGRESION NO LINEAL
1220 CLR:PRINT:PRINT:PRINT;"A J U S T E   N O   L I N E A L":PRINT:PRINT
1230 PRINT"La ecuacion de ajuste sera del tipo:"PRINT:PRINT;"Y = A x^b)"
1240 PRINT:INPUT "INTRODUCE No. DE DATOS":N
1250 DIM X(N),Y(N)
1260 PRINT:PRINT"INTRODUCE LOS PARES DE DATOS X,Y"
1270 FOR I=1 TO N
1280 PRINT"X";I;"Y";I;"=":
1290 INPUT X(I),Y(I)
1300 Y(I)=LOG(Y(I)):X(I)=LOG(X(I))
1310 NEXT I
1320 GOSUB 1490
1330 B=C
1340 F1=0:F2=0:F3=0:F4=0:F5=0:F6=0:C=B
1350 FOR I=1 TO N
1360 X=EXP(X(I)):XB=X+B:Y=EXP(Y(I)):X2=XB^2:AX=A*XB
1370 F=(Y-AX)*XB:G=XB*LX*(Y-2*AX)
1380 F1=F1+F:F3=F3-X2:F4=F4+G:F5=F5-X2*LX:F6=F6+G*LX
1390 NEXT I
1400 B1=-F1+A*F3+B*F4:B2=-F2+A*F5+B*F6
1410 D=F3*F6-F4*F5:B=-B1*F5-B2*F3/D:A=(B1-B*F4)/F3
1420 IF ABS(B-C)<0.000001 THEN 1440
1430 GOTO 1340
1440 PRINT:PRINT"LA ECUACION DE AJUSTE ES:"PRINT
1450 PRINT," Y ="A;" x^";B
1460 PRINT:INPUT"DESEAS OTRO AJUSTE NO LINEAL (SI=1 / NO=2)":TB
1470 IF TB<>1 THEN 10
1480 CLEAR:GOTO 1210
1490 REM SUBROUTINA DE COEFICIENTES
1500 FOR I=1 TO N
1510 J1=J1+X(I)^2:J2=J2+Y(I):J3=J3+X(I)
1520 NEXT I
1530 ALF=((J1*J2)-(J3*J4))/((N*J1)-(J3^2))
1540 K=((N*J4)-(J3*J2))/((N*J1)-(J3^2))
1550 A=EXP(ALF)
1560 RETURN
1570 CLR:PRINT:PRINT "      ALGORITMO DE GAUSS PARA RESOLVER MATRICES CUADRADAS
":PRINT:PRINT:PRINT "      INTRODUCIR EL VECTOR INDEPENDIENTE, HACIENDOLA AUMENTADA"
:PRINT "      ES DECIR QUE Col=Ren+i"
1580 PRINT:PRINT:PRINT,"      INTRODUCIR EL ORDEN DE LA MATRIZ Ren,Col "
1590 INPUT M,N:DIM A(M,N):DIM B(M,N):DIM X(M)
1600 PRINT:PRINT,"INTRODUCE LOS ELEMENTOS POR RENGLONES":PRINT
1610 FOR I=1 TO M
1620 PRINT "      INTRODUCIR EL RENGLON No.":I
1630 FOR J=1 TO N
1640 PRINT "A(";I;" ";J;" )=":
1650 INPUT A(I,J)
1660 NEXT J
1670 NEXT I
1680 REM QUEDA INTRODUCIDA LA MATRIZ DEL SISTEMA
1690 REM INICIA LA REACOMODACION DE LA MATRIZ, SIN CEROS EN LA DIAGONAL
1700 K=0:T=M*N
1710 I=0:K=K+1
```

```
1720 I=I+1
1730 IF K>T THEN GOTO 2240
1740 J=I
1750 IF I>M THEN GOTO 1800
1760 IF A(I,J)<>0 THEN GOTO 1720
1770 P=J
1780 FOR L=1 TO M
1790 IF A(L,P)=0 THEN GOTO 1800
1800 FOR J=1 TO N
1810 B(I,J)=A(I,J)
1820 A(I,J)=A(L,J)
1830 A(L,J)=B(I,J)
1840 NEXT J
1850 GOTO 1710
1860 NEXT L
1870 GOTO 1710
1880 REM MATRI7 RFACOMODADA SIN CEROS EN LA DIAGONAL TERMINADA
1890 REM INICIA EL ALGORITMO DE GAUSS
1900 FOR I=1 TO M-1
1910 FOR J=I+1 TO M
1920 C=A(J,I)/A(I,I)
1930 FOR S=I TO N
1940 A(J,S)=A(J,S)-(C*A(I,S))
1950 NEXT J
1960 NEXT S
1970 NEXT I
1980 FOR I=1 TO M
1990 IF A(I,J)=0 THEN GOTO 2240
2000 NEXT I
2010 REM MATRI7 TRIANGULAR TERMINADA
2020 REM INICIA METODO DE VUELTA ATRAS
2030 I=M
2040 J=M
2050 D=0
2060 IF I=J THEN GOTO 2100
2070 D=D-(A(I,J)*X(J))
2080 J=J-1
2090 GOTO 2060
2100 X(I)=(A(I,N)+D)/A(I,I)/A(I,I)*B(I)
2110 IF I=1 THEN GOTO 2140
2120 I=I-1
2130 GOTO 2040
2140 PRINT:PRINT,"LAS RAICES DEL SISTEMA SON ":PRINT
2150 FOR I=1 TO M
2160 PRINT,"X(":I:")=":X(I)
2170 NEXT I
2180 PRINT:INPUT"DESEAS IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1 / NO=2)":R9
2190 IF R9=1 THEN GOSUB 2250
2200 PRINT:PRINT:INPUT "DESEAS RESOLVER OTRO SISTEMA (SI=1 / NO=2)":W
2210 IF W<>1 THEN 10
2220 GOTO 1570
2230 END
2240 PRINT,"SIEMPRE EXISTE UN CERO EN LA DIAGONAL PRINCIPAL":PRINT,"POR LO QUE N
O EXISTE SOLUCION PARTICULAR PARA EL SISTEMA":PRINT:PRINT"*****
*****":GOTO 2200
2250 REM SUBROUTINA DE IMPRESION DE GAUSS
2260 SYSTEM "FORMS P=51 L=47
2270 SYSTEM "T
2280 LPRINT:LPRINT:LPRINT "LABORATORIO DE HIDRAULICA":L
PRINT:PRINT,"SOLUCION AL SISTEMA DE ECUACIONES":LPRINT
```

```
2290 FOR I=1 TO M:LPRINT,"X(";I;")=";X(I);NEXT I
2300 RETURN
2310 CLS:PRINT"PROGRAMA FINALIZADO"
2320 PRINT:PRINT:PRINT"CARGANDO EL MENU . . . . ."
2330 FOR I=1 TO 150:NEXT I
2340 RUN*MENU
2350 PRINT:PRINT"X DATO","Y DATO","Y CALC","ERROR (%)":PRINT
2360 FOR I=1 TO N
2370 Y=A*XX(I)+K:E=100*(YY(I)-Y)/YY(I)
2380 PRINT XX(I),YY(I),Y,E
2390 NEXT I
2400 RETURN
2410 PRINT:PRINT"X DATO","Y DATO","Y CALC","ERROR (%)":PRINT
2420 FOR I=1 TO N
2430 Y=A*(2.71)^(K*XX(I)):E=100*(YY(I)-Y)/YY(I)
2440 PRINT XX(I),YY(I),Y,E
2450 NEXT I
2460 RETURN
2470 PRINT "X DATO","Y DATO","Y CALC","ERROR (%)":PRINT
2480 FOR I=1 TO N9
2490 Y=X(1)+X(2)*X9(I)+X(3)*X9(I)+2:E=100*(Y9(I)-Y)/Y9(I)
2500 PRINT X9(I),Y9(I),Y,E
2510 NEXT I
2520 PRINT:PRINT
2530 RETURN
2540 SYSTEM "FORMS P=51 L=47
2550 SYSTEM "T
2560 LPRINT:LPRINT"LABORATORIO DE HIDRAULICA":LPRINT:L
LPRINT:LPRINT"LA ECUACION DE AJUSTE EXPONENCIAL ES","Y =" ;A;"*+(" ;K;"X)"
2570 SYTEM"DUAL ON
2580 GOSUB 2410
2590 SYSTEM"DUAL OFF
2600 RETURN
2610 SYSTEM "FORMS P=51 L=47
2620 SYSTEM"T
2630 LPRINT:LPRINT"LABORATORIO DE HIDRAULICA":LPRINT:
LPRINT:LPRINT"LA ECUACION DEL AJUSTE LOGARITMICO ES","Y =" ;A;"* x +(" ;K;"")"
2640 SYSTEM "DUAL ON
2650 GOSUB 2350
2660 SYSTEM "DUAL OFF
2670 RETURN
2680 SYSTEM"FORMS P=51 L=47
2690 SYSTEM"T
2700 LPRINT:LPRINT"LABORATORIO DE HIDRAULICA":LPRINT:
LPRINT:LPRINT"LA ECUACION POLINOMICA ES","Y =" ;X(1);" + (" ;X(2);" x ) + (" ;X(
3);" x+2)":LPRINT
2710 SYSTEM"DUAL ON
2720 GOSUB 2470
2730 SYSTEM "DUAL OFF
2740 RETURN
```


IMPRESION TESIS

```
10 REM xxxxxx PROGRAMA TESIS LICENCIATURA          JAVIER BOLA&OS NAVA
20 REM xxxxxx FLUJO EN TUBERIAS DE PRESION          (FLUTUB)          (OK)
30 REM xxxxxx OCTUBRE DE 1985
40 CLS:PRINT:PRINT;"          UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO ":PRIN
T:PRINT;"FLUJO EN CONDUCTOS CERRADOS (TUBERIAS A PRESION)":PRINT:PRINT;"
LABORATORIO DE HIDRAULICA ":PRINT:PRINT:PRINT
50 PRINT "PROGRAMAS DISPONIBLES:" :PRINT:PRINT "1.- DISE&O DEL DIAMETRO DE CONDUCC
ION":PRINT"2.- GOLPE DE ARIETE":PRINT"3.- CAMARAS DE OSCILACION":PRINT"4.- REDE
S CERRADAS":PRINT"5.- FIN PROGRAMA":PRINT:PRINT:CLS
60 PRINT:INPUT "No. DEL PROGRAMA DESFADO":Y
70 ON Y GOTO 80,1290,2290,2840,4130
80 CLS:CLS:REM DISF&O DEL DIAMETRO DE CONDUCCION
90 PRINT:PRINT;"          DISE&O DEL DIAMETRO DE CONDUCCION":PRINT:PRINT:PRINT;"Dise
&o del diametro de conduccion de un sistema":PRINT;"con una sola linea y accesori
os de entrada, co-":PRINT;"dos, valvulas y con o sin bomba o turbina."
100 PRINT:PRINT"          TIPOS DE TUBERIA DE CONDUCCION":PRINT:PRINT"1.- Vidrio; cobr
e; plastico; hule":PRINT"2.- Hierro fundido nuevo":PRINT"3.- Hierro fundido semio
xidado"
110 PRINT"4.- Hierro fundido oxidado":PRINT"5.- Cemento liso":PRINT"6.- Acero":PR
INT"7.- Asbesto cemento":PRINT"8.- Concreto"
120 PRINT:INPUT"TIPO DE MATERIAL":M
130 CLS:PRINT:PRINT"          ACCESORIOS LOCALES":PRINT:PRINT: INPUT"SE CONSIDERA ENTRA
DA (SI=1 / NO=2)":R
140 IF R<>1 THEN GOTO 160
150 PRINT:INPUT"Introduce el coeficiente K en funcion de la forma":KE
160 PRINT:PRINT: INPUT"SE CONSIDERA REJILLA (SI=1 / NO=2)":R
170 IF R<>1 THEN GOTO 210
180 PRINT:INPUT"Introduce area neta de paso AN":AN
190 PRINT:INPUT"Introduce area bruta de paso AB":AB
200 KR=1.45-0.45*(AN/AB)-(AN/AB)^2
210 PRINT:INPUT"SE CONSIDERAN CODOS (SI=1 / NO=2)":R
220 IF R<>1 THEN GOTO 370
230 CLS:PRINT:PRINT"          CODOS DISPONIBLES EN EL CALCULO":PRINT
240 PRINT"1.- Codo roscado regular de 90 grados"
250 PRINT"2.- Codo roscado de radio grande de 90 grados"
260 PRINT"3.- Codo regular bridado de 90 grados"
270 PRINT"4.- Codo roscado regular de 45 grados"
280 PRINT"5.- Codo grande bridado de 45 grados"
290 PRINT"6.- No mas codos"
300 PRINT:INPUT"TIPO DE CODOS":C:PRINT:PRINT
310 ON C GOTO 320,330,340,350,360,370
320 C1=1:INPUT"No. de codos rosc. reg. de 90 grados":N1:GOTO 230
330 C2=1:INPUT"No. de codos de rad. grande de 90 grados":N2:GOTO 230
340 C3=1:INPUT"No. de codos reg. brid. de 90 grados":N3:GOTO 230
350 C4=1:INPUT"No. de codos rosc. reg. de 45 grados":N4:GOTO 230
360 C5=1:INPUT"No. de codos grand. brid. de 45 grados":N5:GOTO 230
370 PRINT:PRINT:INPUT"SE CONSIDERAN VALVULAS (SI=1 / NO=2)":R
380 IF R<>1 THEN GOTO 490
390 CLS:PRINT:PRINT:PRINT"          VALVULAS DISPONIBLES EN EL CALCULO":PRINT
400 PRINT"1.- Valvula de compuerta"
410 PRINT"2.- Valvula esferica"
420 PRINT"3.- Valvula check"
430 PRINT"4.- No mas valvula "
440 PRINT:INPUT"TIPO DE VALVULA":V:PRINT:PRINT
450 ON V GOTO 460,470,480,490
460 V1=1:INPUT"No. de valvulas de compuerta":M1:GOTO 390
470 V2=1:INPUT"No. de valvulas esfericas":M2:GOTO 390
480 V3=1:INPUT"No. de valvulas check":M3:GOTO 390
```

```
490 PRINT:PRINT:INPUT"SE CONSIDERAN MAQUINAS HIDRAULICAS (SI=1 / NO=2)";R
500 IF R<>1 THEN GOTO 570
510 CLS:PRINT:PRINT:PRINT" TIPO DE MAQUINA HIDRAULICA":PRINT
520 PRINT"1.- Bomba"
530 PRINT"2.- Turbina"
540 PRINT:INPUT" TIPO DE MAQUINA":MB:PRINT
550 INPUT"INTRODUCE POTENCIA EN (C.V.)":IPO
560 INPUT"INTRODUCE EFICIENCIA EN ( % )":EF
570 CLS:PRINT:PRINT" DATOS PARA EL DISEÑO":PRINT:PRINT:PI=3.1416:G=9.81
580 NU=(E-6):GA=1000
590 PRINT:INPUT"ELEVACION SECCION INICIAL (m)":I1
600 PRINT:INPUT"ELEVACION SECCION FINAL (m)":I2
610 PRINT:INPUT"LONGITUD DE CONDUCCION (m)":L
620 PRINT:INPUT"GASTO DE DISEÑO (m3/s)":Q
630 PRINT:PRINT"INICIO DE CALCULO, ESPERE....."
640 IF MB=2 THEN GOTO 660
650 HM=(PO*EF*75)/(100*GA*Q):GOTO 670
660 HM=(PO*75*100)/(EF*GA*Q):HM=-HM
670 D=((.08*Q^2*L)/(G*(PI^2)
680 A=(PI*D^2)/4:VE=Q/A
690 RE=VE*D/NU
700 GOSUB 890
710 GOSUB 960
720 GOSUB 1090
730 SK=KE+KR+KC+KV
740 NO=(SK+(F*L/D))*B*Q^2
750 DE=(PI^2)*G
760 DD=(NO/DE)^(1/4)
770 IF ABS(D-DD)<.0001 THEN GOTO 790
780 D=DD:GOTO 680
790 CLS:PRINT:PRINT"EL RESULTADO DEL DISEÑO ES ":PRINT:PRINT
800 PRINT"DIAMETRO","GASTO","AREA","VELOCIDAD":PRINT
810 PRINT" m ","m3/s "," m2 "," m/s "
820 PRINT"-----"
830 PRINT:PRINT D,Q,A,VE
840 PRINT:INPUT"DESFAS IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1 / NO=2)";WB
850 IF WB=1 THEN GOSUB 1180
860 INPUT"DESFAS OTRO DISEÑO (SI=1 / NO=2)";W9
870 IF W9<>1 THEN GOTO 10
880 GOTO 80
890 REM SUBROUTINA DE CALCULO DE F
900 IF RE<2300 THEN GOTO 930
910 IF RE<6000 THEN GOTO 940
920 F=.180348*RE+(-.175577):GOTO 950
930 F=.64/RE:GOTO 950
940 F=.02
950 RETURN
960 REM SUBROUTINA DE CALCULO DE K DE CODO
970 KC=0
980 IF C1=0 THEN GOTO 1000
990 K1=2.42993*(D*100)^(-.537756):KC=KC+(N1*K1)
1000 IF C2=0 THEN GOTO 1020
1010 K2=1.37838*(D*100)^(-.752203):KC=KC+(N2*K2)
1020 IF C3=0 THEN GOTO 1040
1030 K3=.525411*(D*100)^(-.23545):KC=KC+(N3*K3)
1040 IF C4=0 THEN GOTO 1060
1050 K4=.382371*(D*100)^(-.139728):KC=KC+(N4*K4)
1060 IF C5=0 THEN GOTO 1080
1070 K5=.240402*(D*100)^(-.117118):KC=KC+(N5*K5)
1080 RETURN
```

```
1090 REM SUBROUTINA DE CALCULO DE K DE VALVULA
1100 KV=0
1110 IF V1=0 THEN GOTO 1130
1120 K6=2.23813*(D*100)†(-1.1125):KV=KV+(M1*K6)
1130 IF V2=0 THEN GOTO 1150
1140 K7=13.0453*(D*100)†(-.233004):KV=KV+(M2*K7)
1150 IF V3=0 THEN GOTO 1170
1160 K8=1.0523*D†(-.941301):KV=KV+(M3*K8)
1170 RETURN
1180 REM SUBROUTINA DE IMPRESION
1190 SYSTEM "FORMS P=51 L=47
1200 SYSTEM "T
1210 LPRINT:LPRINT:LPRINT"LABORATORIO DE HIDRAULICA"
LPRINT:LPRINT,"DISEÑO DEL DIAMETRO DE CONDUCCION":LPRINT:LPRINT"DATOS :":LPRINT
LPRINT"ELFVACION SECCION INICIAL (m)":Z1
1220 LPRINT:LPRINT"ELFVACION SECCION FINAL (m)":Z2
1230 LPRINT:LPRINT"LONGITUD DE CONDUCCION (m)":L
1240 LPRINT:LPRINT:LPRINT,"DIAMETRO DE CONDUCCION"
1250 LPRINT:LPRINT"DIAMETRO","GASTO","AREA","VELOCIDAD"
1260 LPRINT" m "," m3/s"," m2 "," m/s ":LPRINT
1270 LPRINT D,Q,A,Q/A
1280 RETURN
1290 CLS:CLER:REM GOLPE DE ARIETE
1300 PRINT:PRINT," GOLPE DE ARIETE":PRINT
1310 PRINT"El presente programa calculara los valores de Presion en el punto de
la manio -":PRINT"bra debidos al golpe de ariete. Asi mismo proporcionara los es
fuerzos generados":PRINT"en la tuberia"
1320 PRINT:PRINT"LAS MANIOBRAS DISPONIBLES SON: ":PRINT
1330 PRINT"1.- CIERRE GRADUAL":PRINT"2.- CIERRE PARCIAL":PRINT"3.- APERTURA GRAD
UAL":PRINT"4.- APERTURA PARCIAL":PRINT"5.- CIERRE BRUSCO"
1340 PRINT:INPUT"TIPO DE MANIOBRA ":"WB
1350 IF WB<=0 THEN GOTO 1290
1360 IF WB>5 THEN GOTO 1290
1370 CLS:PRINT:PRINT"INTRODUCE LOS SIGUIENTES DATOS":PRINT
1380 INPUT "CARGA EN EL EMPALME [m]":H0
1390 INPUT "LONGITUD DE LA CONDUCCION [m]":L
1400 INPUT "GASTO CONDUCCION [m3/s]":Q
1410 INPUT "DIAMETRO CONDUCCION [m]":D
1420 INPUT "MODULO ELASTICIDAD TUBERIA [kg/cm2]":ES
1430 INPUT "ESPESOR DE LA TUBERIA [mm]":E
1440 G=9.81:EW=2E4:GA=.001:PI=3.1416:PV=-8
1450 A=PI*(D†2)/4:VQ=Q/A:E=E/1000:GB=G*100
1460 ZR=((1/EW)+(D/(E*ES))):Z9=(GA*7R)
1470 C=C/100 :EC=(C*VQ)/(G*H0):T=2*L/C
1480 ON WB GOTO 1490,1570,1670,1750,1850
1490 CLS:PRINT," CIERRE GRADUAL":PRINT
1500 INPUT"NUMERO DE PASOS PROGRAMADOS EN EL CIERRE":TE:M=TE+1
1510 DIM F(M),N(M):DD=1/TE:N(0)=1
1520 FOR I=1 TO TE
1530 N(I)=N(I-1)
1540 NEXT I
1550 GOSUB 1940
1560 GOTO 2040
1570 CLS:PRINT," CIERRE PARCIAL":PRINT
1580 INPUT"NUMERO DE PASOS PROGRAMADOS EN EL CIERRE":TE:M=TE+1
1590 INPUT"PASOS CERRADOS":TI
1600 DIM F(M),N(M):DD=1/TE:N(0)=1
1610 FOR I=1 TO TE
1620 IF I>TI THEN N(I)=N(I-1):GOTO 1640
1630 N(I)=N(I-1)-DD
```

```
1640 NEXT I
1650 GOSUB 1940
1660 GOTO 2040
1670 CLS:PRINT,"          A P E R T U R A    G R A D U A L":PRINT
1680 INPUT"NUMERO DE PASOS PROGRAMADOS EN LA APERTARA":TE:M=TE+1
1690 DIM F(M),N(M):DD=1/TE:N(0)=0
1700 FOR I=1 TO TE
1710 N(I)=N(I-1)+DD
1720 NEXT I
1730 GOSUB 1940
1740 GOTO 2040
1750 CLS:PRINT,"          A P E R T U R A    P A R C I A L":PRINT
1760 INPUT"NUMERO DE PASOS PROGRAMADOS EN LA APERTURA":TE:M=TE+1
1770 INPUT"PASOS ARIERTOS":TI
1780 DIM F(M),N(M):DD=1/TE:N(0)=0
1790 FOR I=1 TO TE
1800 IF I>TI THEN N(I)=N(I-1):GOTO 1820
1810 N(I)=N(I-1)+DD
1820 NEXT I
1830 GOSUB 1940
1840 GOTO 2040
1850 CLS:PRINT,"          C I E R R E    B R U S C O":PRINT:PRINT"          SOBREPRESIO
N MAXIMA POR JOUKOVSKY"
1860 DH=(C*V0)/G:HM=H0+DH:SB=H0-DH:SI=(HM/10)*D/(2*E)
1870 PRINT:PRINT"CELERIDAD          [m/s]":C
1880 PRINT"SOBRECARGA          [m]":DH
1890 PRINT"CARGA MAXIMA          [m]":HM
1900 PRINT"SUBPRESION          [m]":SB
1910 IF SB<PV THEN PRINT"HAY SEPARACION DE COLUMNA DE *":SB-PV:"          [m]"
1920 PRINT"ESFUERZO MAXIMO [kg/cm2]":S1
1930 GOTO 2180
1940 REM SUBROUTINA CADENAS DE ALLIEVI
1950 F(0)=1:DIM H(M),SI(M),HS(M):H(0)=H0
1960 FOR I=0 TO TE-1
1970 BB=EC*N(I+1)
1980 CB=(F(I)+2-(EC*N(I)
1990 RA=((BB+2)-(4*CB))+.5
2000 F(I+1)=(RA-BB)/2
2010 H(I+1)=(F(I+1)+2*H0)
2020 NEXT I
2030 RETURN
2040 PRINT:PRINT"R E S U L T A D O S":DH=H(TE)-H0
2050 PRINT"CELERIDAD          [m/s]":C
2060 PRINT"SOBRECARGA MAXIMA          [m]":DH
2070 PRINT"PERIODO ENTRE PASOS          [s]":T
2080 PRINT:PRINT"PASO","TIEMPO","CARGA","SOBREPRESION","ESFUERZO"
2090 PRINT:PRINT"  e  ","  s  ","  m  ","  kg/cm2  ","  kg/cm2  ":PRINT
2100 FOR I=0 TO TE
2110 H5(I)=(H(I)-H0)/10
2120 SI(I)=(H(I)/10)*D/(2*E)
2130 PRINT I,I*T,H(I),H5(I),SI(I)
2140 NEXT I
2150 IF IM=1 THEN GOTO 2270
2160 PRINT:INPUT"DESEAS IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1/NO=2)":W9
2170 IF W9=1 THEN GOSUB 2200
2180 PRINT:INPUT"DESEAS OTRO CALCULO DE GOLPE DE ARIETE (SI=1/NO=2)":W5
2190 IF W5=1 THEN GOTO 1290ELSE GOTO 10
2200 REM SUBROUTINA DE IMPRESION
2210 SYSTEM"FORMS.P=51 L=47
2220 SYSTEM"T
```

```
2230 LPRINT:LPRINT:LPRINT,"LABORATORIO DE HIDRAULICA":
LPRINT:LPRINT"GOLPE DE ARIETE":LPRINT
2240 IM=1
2250 SYSTEM"DUAL ON
2260 GOTO 2040
2270 SYSTEM"DUAL OFF
2280 RETURN
2290 REM CAMARAS DE OSCILACION
2300 CLS:CLER:PRINT,"POZOS DE OSCILACION":PRINT
2310 PRINT"El presente programa resuelve las oscilaciones en una camara producidas por la":PRINT"maniobra de cierre":PRINT
2320 PRINT"MANIOBRAS DISPONIBLES ":"PRINT"1.- CIERRE TOTAL":PRINT"2.- CIERRE PARCIAL":PRINT:PRINT
2330 INPUT"TIPO DE MANIOBRA":WB
2340 PRINT:PRINT"INTRODUCE LOS SIGUIENTES VALORES ":"PRINT
2350 INPUT "DIAMETRO DE LA CONDUCCION [m]":DG
2360 INPUT "DIAMETRO DE LA CAMARA [m]":DC
2370 INPUT "GASTO EN LA CONDUCCION [m3/s]":Q
2380 INPUT "LONGITUD DE LA CONDUCCION [m]":L
2390 DIM V(300),Z(300):PI=3.1416:G=9.81:N=0.01B:R=(DG/4)^(2/3)
2400 AG=(PI*DG^2)/4:AC=(PI*DC^2)/4:VG=Q/AG
2410 Z0=((VG*N/R)^2)*L:Z(0)=-Z0
2420 F=Z0/(VG^2):V(0)=VG
2430 ON WB GOTO 2440,2460
2440 CLS:PRINT:INPUT "INCREMENTO DE TIEMPO [seg.]:T:K3=0:HB=1000
2450 GOTO 2520
2460 CLS:PRINT:INPUT "CARGA DE GENERACION [m]":HB
2470 INPUT "EFICIENCIA DE GENERACION [%]":EF:EF=EF/100
2480 GA=1000:PF=GA*Q*(HB-Z0)*EF
2490 INPUT "INCREMENTO DE TIEMPO [seg.]:T
2500 INPUT "PORCENTAJE DE CIERRE [%]":PC:PC=PC/100
2510 K3=(T/AC)*(PF/(GA*EF))*PC
2520 K1=-(G*T/L):K2=T*AG
2530 PE=(2*L/VG)*(4/T)
2540 IF M>299 THEN M=29B
2550 FOR I=0 TO M
2560 DV=K1*(Z(I)+(F*ABS(V(I))*V(I)))
2570 V(I+1)=V(I)+DV
2580 DZ=K2*V(I+1)-(K3*(1/(HB+Z(I))))
2590 Z(I+1)=Z(I)+DZ
2600 NEXT I
2610 CLS:PRINT:PRINT,"OSCILACIONES EN LA CAMARA":PRINT
2620 PRINT"INTERVALO","TIEMPO","NIVEL (Z)","VELOCIDAD CONDUCCION"
2630 PRINT" # "," se9. "," m. "," m/se9"
2640 PRINT:PRINT
2650 FOR I=0 TO M-1
2660 PRINT I,T*I,Z(I),V(I)
2670 NEXT I
2680 PRINT:INPUT "DESEAS IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1 / NO=2)":W9
2690 IF W9=1 THEN GOSUB 2730
2700 PRINT:INPUT "DESEA OTRO CALCULO DE CAMARAS (SI=1 / NO=2)":W7
2710 IF W7=1 THEN GOTO 2290
2720 GOTO 10
2730 REM SUBROUTINA DE IMPRESION DE RESULTADOS
2740 SYSTEM"FORMS P=51 L=47
2750 SYSTEM"
2760 LPRINT:LPRINT:LPRINT,"LABORATORIO DE HIDRAULICA":
LPRINT:LPRINT"CAMARAS DE OSCILACION":LPRINT
2770 LPRINT:LPRINT"OSCILACIONES EN LA CAMARA":LPRINT
2780 LPRINT"INTERVALO","TIEMPO","NIVEL (Z)","VELOCIDAD CONDUCCION"
```

```
2790 LPRINT " # ", " se9. ", " m ", " m/s":LPRINT
2800 FOR I=0 TO M-1
2810 LPRINT I,T*I,Z(I),V(I)
2820 NEXT I
2830 RETURN
2840 CLEAR:CLS:REM CALCULO DE REDES DE AGUA POTABLE
2850 PRINT:PRINT:PRINT,"CALCULO DE REDES DE AGUA POTABLE"
2860 PRINT:PRINT:PRINT:INPUT "NOMBRE DE LA RED PARCIAL":R#
2870 PRINT:PRINT:INTRODUCE LOS SIGUIENTES DATOS:"
2880 PRINT:INPUT"No. DE TUBOS":N1
2890 INPUT"No. DE NUDOS":N
2900 T1=1E-04:N4=9E-03:N5=.01
2910 DIM Q1(N),Q2(N),H(N),H0(N),Q(N1),D(N1),C(N1),F(N1),A(N,N),B(N),S1(N),E(N),A
1(N1),V(N1),L(N1),Q3(N1)
2920 PRINT:PRINT, N1"TRAMOS", N"NUDOS"
2930 PRINT:PRINT,"D A T O S   D E   L O S   T R A M O S":PRINT
2940 PRINT:PRINT:INTRODUCE Gasto,Diametro,Longitud,Nudo i,Nudo f":PRINT
2950 PRINT"GASTO","DIAMETRO","LONGITUD","NUDO i","NUDO f"
2960 PRINT" 1/s "," Pulg "," m "," - "," - "
2970 PRINT"-----"
2980 FOR I=1 TO N1
2990 PRINT"TRAMO":I:
3000 INPUT Q(I),D(I),L(I),C(I),F(I)
3010 PRINT Q(I),D(I),L(I),C(I),F(I)
3020 Q(I)=Q(I)/1000:D(I)=D(I)*.0254
3030 NEXT I
3040 PRINT:PRINT,"D A T O S   D E   L O S   N U D O S":PRINT
3050 PRINT:INTRODUCE Q req, Q ent, H sup":PRINT
3060 PRINT"Qreq","Qent","Hsup"
3070 PRINT"1/s","1/s"," m"
3080 PRINT"-----"
3090 FOR I=1 TO N
3100 PRINT"NUDO":I:
3110 INPUT Q1(I),Q2(I),H(I)
3120 PRINT Q1(I),Q2(I),H(I)
3130 Q1(I)=Q1(I)/1000:Q2(I)=Q2(I)/1000:S9=S9+Q1(I):S8=S8+Q2(I)
3140 NEXT I
3150 PRINT:PRINT,"GASTOS REQUERIDOS POR NUDOS = ":S9*1000
3160 PRINT,"GASTOS DE ENTRADA A LA RED = ":S8*1000:PRINT:PRINT
3170 PRINT"***** INICIO CALCULO DE LAS CONSTANTES ALFA *****"
3180 FOR I=1 TO N1
3190 IF D(I)<.11 THEN N9=N4 ELSE N9=N5
3200 K5=10.293*(N9+2)/(D(I)+(16/3))
3210 A1(I)=1/(2*K5*L(I))
3220 NEXT I
3230 R=0
3240 PRINT "***** ALFAS CALCULADAS ..... ESTRUCTURO LA MATRIZ DE CARGAS..."
:PRINT "----- NO ME APAGUES (Estoy Chambeando...)"
3250 FOR I=1 TO N
3260 B(I)=Q1(I)
3270 FOR J=1 TO N
3280 A(I,J)=0
3290 NEXTJ:NEXTI
3300 FOR I=1 TO N
3310 FOR K=1 TO N1
3320 IF C(K)=I THEN GOTO 3350
3330 IF F(K)=I THEN GOTO 3390
3340 GOTO 3420
3350 A(I,I)=A(I,I)-A1(K)
3360 A(I,F(K))=A1(K)
```

```
3370 B(I)=B(I)+Q(K)/2
3380 GOTO 3420
3390 A(I,I)=A(I,I)-A1(K)
3400 A(I,C(K))=A1(K)
3410 B(I)=B(I)-Q(K)/2
3420 NEXT K
3430 B(I)=B(I)-Q2(I)
3440 NEXT I
3450 P=0
3460 FOR I=1 TO N
3470 S1(I)=0
3480 FOR J=1 TO N
3490 IF I=J THEN GOTO 3510
3500 S1(I)=S1(I)+A(I,J)*H(J)
3510 NEXT J
3520 H0(I)=(B(I)-S1(I))/A(I,I)
3530 IF E(I)>.01 THEN P=1:EALF=E(I):NUDO=I
3540 H(I)=H0(I)
3550 NEXT I
3560 IF P=1 THEN PRINT "ERROR DE ="EALF," EN NUDO #":NUDO,"CONTINUO..."
3570 IF P=1 THEN GOTO 3450
3580 PRINT:PRINT "***** INICIO DETERMINACION DE GASTOS AJUSTE POR CARGAS"
3590 FOR I=1 TO N1
3600 Q3(I)=A1(I)*(H(C(I))-H(F(I)))+Q(I)/2
3610 T5=ABS(Q3(I)-Q(I))
3620 IF T5>T1 THEN R=1
3630 IF T5>T1 THEN TUBO=I
3640 Q(I)=Q3(I)
3650 V(I)=4*Q(I)/(3.1416*D(I)^2)
3660 NEXT I
3670 IF R=1 THEN PRINT "PROVOCO ERROR DE GASTO EN TUBO # ",TUBO
3680 IF R=1 THEN GOTO 3180
3690 PRINT:PRINT,"LA SOLUCION DEL SISTEMA DE TUBOS ES:"PRINT
3700 PRINT"TUB.", "GASTO", "VELOCIDAD", "PER. CARGA", "DIF. CARGAS"
3710 PRINT" # ", " 1/s ", " m/s ", " m ", " m "
3720 PRINT"-----"
3730 FOR I=1 TO N1
3740 IF D(I)<.11 THEN N9=N4 ELSE N9=N5
3750 K5=10.293*(N9+2)/D(I)^(16/3)
3760 PER=K5*L(I)*(Q(I)^2)
3770 A00=H(C(I))-H(F(I))
3780 A7=(3.1416*D(I)^2)/4
3790 PRINT I,Q(I)*1000,V,PER,A00
3800 NEXT I
3810 PRINT:PRINT,"LAS CARGAS EN LOS NUDOS SON:"PRINT
3820 PRINT," NUDO", " CARGA"
3830 PRINT," # ", " m "
3840 FOR I=1 TO N
3850 PRINT, I, H(I)
3860 NEXT I
3870 PRINT:PRINT:INPUT"DESEAS IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1 / NO=2)":W7
3880 IF W7=1 THEN GOSUB 3920
3890 PRINT:PRINT:INPUT"DESFAS CALCULAR OTRA RED (SI=1 / NO=2)":WB
3900 IF WB<>1 THEN GOTO 10
3910 GOTO 2840
3920 RFM SUBROUTINA DE IMPRESION
3930 SYSTEM"FORMS P=51 L=47
3940 SYSTEM"
3950 LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT,"RED DE AGUA POTABLE":LPRINT
```

```

C T O .-":R$
3750 LPRINT:LPRINT "GASTOS REQUERIDOS POR LA RED.-":IS9*1000:LPRINT"GASTOS DE ENT
3760 A LA RED.-":IS8*1000
3770 LPRINT:LPRINT " T I E R M O S"
3780 LPRINT "TUBERIA","GASTO","DIAMETRO","VELOCIDAD","VAL. DE K","PER. CARGA","D
3790 IF. DE CARGA"
3795 LPRINT " # " " " 1/2 " " " m " " " m/s " " " " " m " " "
"
3800 LPRINT:LPRINT
3810 FOR I=1 TO N1
3820 IF D(I)<0.11 THEN N9=N4 ELSE N9=N5
3830 K5=10.173*(N9*2)/(D(I)*(16/3)):PER=K5*L(I)*Q(I)*2:A00=H(C(I))-H(F(I))
3840 LPRINT I,Q(I)*1000,C(I),V(I),K5,PER,A00
3850 NEXT I
3860 LPRINT:LPRINT:LPRINT " C A R G A S E N N U D O S"
3870 LPRINT:LPRINT,"NUDO","Q des","Q ent","CARGA"
3880 LPRINT," # " " " 1/2 " " " 1/2 " " " m " " "
3890 FOR I=1 TO N
3900 LPRINT I,Q(I)*1000,C(I)*1000,H(I)
3910 NEXT I
3920 RETURN
3930 RUN "MENU"
```


IMPRESION TESIS

```
10 REM xxxxxx PROGRAMA TESIS LICENCIATURA JAVIER BOLAÑOS NAVA
20 REM xxxxxx FLUJO EN CANALES A SUPERFICIE LIBRE (FLUCAN) (OK)
30 REM xxxxxx OCTUBRE DE 1985.
40 CLS:PRINT:PRINT;" UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO ":PRIN
T:PRINT;"FLUJO A SUPERFICIE LIBRE (CANALES)":PRINT:PRINT;" LABORATOR
10 DE HIDRAULICA ":PRINT:PRINT:PRINT:PI=3.1416
50 PRINT "PROGRAMAS DISPONIBLES":PRINT:PRINT"1.- FLUJO UNIFORME":PRINT"2.- FLUJ
O CRITICO":PRINT"3.- ENERGIA ESPECIFICA":PRINT"4.- SALTO HIDRAULICO":PRINT"5.- P
ERFILES EN FLUJO VARIADO":PRINT"6.- PERFILES EN FLUJO ESPACIALMENTE VARIADO"
60 PRINT"7.- FIN DEL PROGRAMA"
70 PRINT:INPUT "No. DEL PROGRAMA DESEADO":YY
80 ON YY GOTO 100,200,240,355,432,500,542
90 /6
100 CLS:PRINT:PRINT;" F L U J O U N I F O R M E":PRINT:PRINT"CALCULOS DISPON
IBLES":PRINT:PRINT"1.- CALCULO DEL GASTO":PRINT"2.- CALCULO DE LA PENDIENTE":PR
INT"3.- CALCULO DEL TIRANTE NORMAL"
110 PRINT:PRINT;"DISÑO DE CANALES NO REVESTIDOS (Trapecial)":PRINT" 4.- VEL
OCIDAD PERMISIBLE":PRINT" 5.- FUERZA TRACTIVA":CLEAR
120 PRINT:PRINT"6.- FIN DE CALCULO"
130 PRINT:PRINT:INPUT "CALCULO DESEADO":Y
140 PI=3.1416
150 ON X GOTO 160,160,160,530,1240,10
160 CLS:PRINT:PRINT;"S E C C I O N E S D I S P O N I B L E S":PRINT
170 PRINT"1.- TRIANGULAR":PRINT"2.- RECTANGULAR":PRINT"3.- TRAPECIAL":PRINT"4.-
CIRCULAR":PRINT:PRINT:INPUT "SECCION DESEADA":SW
180 ON SW GOTO 190,200,210,220
190 PRINT:INPUT "TALUD":K:GOTO 230
200 PRINT:INPUT "ANCHO DE PLANTILLA":B0:GOTO 230
210 PRINT:INPUT "TALUD":K:INPUT "ANCHO DE PLANTILLA":B0:GOTO 230
220 PRINT:INPUT "DIAMETRO":D
230 IF FV=1 THEN GOTO 440
240 IF EV=1 THEN GOTO 500
250 IF CR=1 THEN GOTO 210
260 ON X GOTO 270,310,350
270 CLS:PRINT:PRINT;" CALCULO DEL GASTO":PRINT:INPUT"PENDIENTE":S:INPUT "C
OEF. DE MANNING":N:INPUT "TIRANTE (m)":Y
280 GOSUB 5430
290 GOSUB 5580
300 GOTO 380
310 CLS:PRINT:PRINT;"CALCULO DE LA PENDIENTE":PRINT:INPUT"GASTO (m3/s)":G:
INPUT"COEF. DE MANNING":N:INPUT "TIRANTE (m)":Y
320 GOSUB 5430
330 GOSUB 5610
340 GOTO 380
350 CLS:PRINT:PRINT;"CALCULO DEL TIRANTE NORMAL":PRINT:INPUT"GASTO (m3/s)"
:G:INPUT "COEF. DE MANNING":N:INPUT"PENDIENTE":S
360 GOSUB 5440
370 GOTO 380
380 PRINT:PRINT;"R E S U L T A D O S":PRINT:PRINT
390 PRINT"Y NORMAL","GASTO","PENDIENTE","AREA","VELOCIDAD"
400 PRINT" m "," m3/s"," - "," m2 "," m/s ":PRINT
410 PRINT Y,G,S,A,Q/A
420 PRINT:PRINT:INPUT"DESEAS IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1 / NO=2)":W9
430 IF W9=1 THEN GOSUB 470
440 PRINT:INPUT"DESEAS OTRO CALCULO (SI=1/NO=2)":W9
450 IF W9<>1 THEN GOTO 10
460 GOTO 100
470 REM SUBROUTINA DE IMPRESION
```

```
480 SYSTEM*FORMS P=51 L=47
490 SYSTEM*
500 LPRINT:LPRINT:LPRINT,"L A B O R A T O R I O   D E   H I D R A U L I C A":L
PRINT:LPRINT:"FLUJO UNIFORME":LPRINT:LPRINT
510 LPRINT*Y NORMAL", "GASTO", "PENDIENTE", "AREA", "VELOCIDAD":LPRINT*
/s ", " - ", " m2 ", " m/s ":LPRINT:LPRINT Y,Q:SA,Q/A:LPRINT:LPRINT
520 RETURN
530 REM DISEÑO CANAL NO REVESTIDO METODO DE LA VEL. PERMISIBLE
540 CLS:PRINT:PRINT," V E L O C I D A D   P E R M I S I B L E":PRINT
550 PRINT:PRINT*NOTA: Solo seccion trapecial canal no revestido. La velocidad pe
rmisible":PRINT*es funcion del tipo de suelo, si es cohesivo ver tabla 2.8 del l
ibro de"
560 PRINT"Hidraulica General del Ing. Sotelo: si es no cohesivo ver figura 2.18
de l":PRINT"mismo libro":LPRINT
570 PRINT"INTRODUCE LOS SIGUIENTES DATOS"
580 PRINT:INPUT"GASTO DE DISEÑO (en m3/s)":QD
590 PRINT:INPUT"COEFICIENTE DE MANNING":N
600 PRINT:INPUT"PENDIENTE":S
610 PRINT:INPUT"VALOR K (Ver tabla 7.1 del libro de Ven Te Chow)":K
620 PRINT:INPUT"VELOCIDAD PERMISIBLE (en m/s)":Vp
630 R=((Vp*N)/S*(1.49))^(2/3)
640 A=QD/Vp:P=A/R
650 REM SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES A=f(y,b) y P=f(y,b)
660 CLS:PRINT:PRINT"SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES":PRINT
670 PRINT"A=b*y+k*2"
680 PRINT"P=b*(K+2)/(1+2+1)+.5"
690 L1=2*(K+2)+1+.5
700 L2=L1*K
710 L3=(P+2)-(4*A*L2)
720 IF L3<0 THEN GOTO 920
730 L3=L3/2
740 Y1=(L1+L3)/(2*L2)
750 B1=P-(L1*Y1)
760 Y2=(P-L3)/(2*L2)
770 B2=P-(L1*Y2)
780 BL=.51135*QD+.185607
790 IF Y1<0 THEN GOTO 900
800 IF B1<0 THEN GOTO 900
810 GOTO 930
820 IF Y2<0 THEN GOTO 910
830 IF B2<0 THEN GOTO 910
840 PRINT:PRINT"LA SOLUCION DEL SEGUNDO DISEÑO ES ":PRINT:Z9=1
850 PRINT" TIRANTE", " ANCHO DE PLANTILLA", " BORDO LIBR
E"
860 PRINT" m ", " m ", " m"
870 PRINT"-----"
880 PRINT Y2, B2, BL
890 GOTO 990
900 PRINT:PRINT*NO HAY SOLUCION PARA EL PRIMER DISEÑO*:GOTO 820
910 PRINT:PRINT*NO HAY SOLUCION PARA EL SEGUNDO DISEÑO*:PRINT:PRINT"CAMBIAR EL V
ALOR DE K":GOTO 610
920 PRINT:PRINT*NO HAY SOLUCION CON EST DISEÑO, CAMBIAR K*:GOTO 610
930 PRINT:PRINT"LA SOLUCION DEL PRIMER DISEÑO ES ":PRINT:Z8=1
940 PRINT" TIRANTE", " ANCHO DE PLANTILLA", " BORDO LIBR
E"
950 PRINT" m ", " m ", " m"
960 PRINT"-----"
```

```
-----
970 Y,B,BL
980 GOTO 820
990 PRINT:PRINT:INPUT"DESEAS IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1 / NO=2)";WB
1000 IF WB=1 THEN GOSUB 1040
1010 PRINT:INPUT"DESFAS OTRO DISF&O (SI=1 / NO=2)";W9
1020 IF W9<>1 THEN GOTO 100
1030 GOTO 530
1040 REM SUBROUTINA DE IMPRESION
1050 SYSTEM"FORMS P=51 L=47
1060 SYSTEM"T
1070 LPRINT:LPRINT:LPRINT,"LABORATORIO DE HIDRAULICA":
LPRINT:LPRINT"DISE&O POR VELOCIDAD PERMISIBLE":LPRINT:LPRINT
1080 LPRINT"GASTO DE DISE&O [m3/s]";QD
1090 LPRINT"PENDIENTE " ;S
1100 LPRINT"RUGOSIDAD MANNING " ;N
1110 LPRINT"TAJUD (Trapezoidal) " ;K
1120 LPRINT:LPRINT,"SECCION CON: " :LPRINT:LPRINT
1130 IF Z8=0 THEN GOTO 1180
1140 LPRINT,"PRIMER DISE&O"
1150 LPRINT"TIRANTE","ANCHO PLANTILLA","BORDO LIBRE"
1160 LPRINT" m "," m "," m "
1170 LPRINT Y1,B1,BL:LPRINT:LPRINT
1180 IF Z9=0 THEN GOTO 1230
1190 LPRINT,"SEGUNDO DISE&O"
1200 LPRINT"TIRANTE","ANCHO PLANTILLA","BORDO LIBRE"
1210 LPRINT" m "," m "," m "
1220 LPRINT Y2,B2,BL
1230 RETURN
1240 CLEAR:REM DISF&O CANAL NO REVESTIDO METODO FUERZA TRACTIVA
1250 CLS:PRINT:PRINT," F U E R Z A T R A C T I V A":PRINT
1260 PRINT:"NOTA: Solo seccion trapezoidal, canal no revestido":PRINT
1270 PRINT"INTRODUCE LOS SIGUIENTES DATOS:"
1280 PRINT:INPUT"GASTO DE DISE&O (en m3/s)";Q
1290 PRINT:INPUT"PENDIENTE";S
1300 PRINT:INPUT"COEFICIENTE DE MANNING";N
1310 PRINT:PRINT"TIPO DE SUELO":PRINT"1.- COHESIVO":PRINT"2.- NO COHESIVO":PRINT
1320 PRINT:INPUT"TIPO DE SUELO";T4
1330 ON T4 GOTO 1340,1370
1340 PRINT:INPUT"CUANTO VALE LA RELACION DE VACIOS";EN
1350 PRINT:INPUT"ANGULO DE REPOSO DEL MATERIAL EN GRADOS";FI
1360 GOTO 1480
1370 CLEAR:PRINT:PRINT"TIPOS DE MATERIAL NO COHESIVO":PRINT:PRINT"1.- MUY ANGULAR":
PRINT"2.- ANGULAR":PRINT"3.- POCO ANGULAR":PRINT"4.- POCO REDONDO":PRINT"5.- RE
DONDO"
1380 PRINT"6.- MUY REDONDO"
1390 PRINT:INPUT"TIPO DE MATERIAL";T5
1400 PRINT:INPUT"INTRODUCE EL DIAMETRO 75 EN mm";D9
1410 ON T5 GOTO 1420,1430,1440,1450,1460,1470
1420 FI=30.8714*D9+.062546:GOTO 1480
1430 FI=25.8456*D9+.101397:GOTO 1480
1440 FI=23.1599*D9+.116234:GOTO 1480
1450 FI=18.7817*D9+.163483:GOTO 1480
1460 FI=16.9997*D9+.179855:GOTO 1480
1470 FI=11.5975*D9+.273556:GOTO 1480
1480 FI=FI*3.1416/180:KB=1/TAN(FI)
1490 PRINT:PRINT"INTRODUCE UN TAJUD MAYOR QUE";KB:INPUT"TAJUD";K
1500 TE=ATN(1/K)
1510 K1=(1-((SIN(TE))^2)/((SIN(FI)))
1520 IF T4=2 THEN GOTO 1610
```

```
1530 CLS:PRINT:PRINT"SUELO COHESIVO":PRINT:PRINT*1.- ARCILLA ARENOSA":PRINT*2.-
SUELO ARCILLOSO":PRINT*3.- ARCILLA"
1540 PRINT*4.- POCO ARCILLOSO":PRINT
1550 PRINT:INPUT"TIPO DE SUELO":T6
1560 ON T6 GOTO 1570,1580,1590,1600
1570 TP=.594209*EN+(-1.23954)
1580 TP=.510405*EN+(-1.29086):GOTO 1690
1590 TP=.425517*EN+(-1.39497):GOTO 1690
1600 TP=.338333*EN+(-1.29957):GOTO 1690
1610 IF D9>5 THEN GOTO 1680
1620 CLS:PRINT:PRINT"TIPO DE ACARREO":PRINT:PRINT*1.- ALTO CONTENIDO DE SEDIMENT
0":PRINT*2.- BAJO CONTENIDO DE SEDIMENTOS":PRINT*3.- AGUA LIMPIA":PRINT
1630 PRINT:INPUT"TIPO DE ACARREO":T7
1640 ON T7 GOTO 1650,1660,1670
1650 TP=.532737*D9+.224939:GOTO 1690
1660 TP=.355952*D9+.315937:GOTO 1690
1670 TP=.239891*D9+.442804:GOTO 1690
1680 TP=D9/13
1690 TS=K1*TP
1700 REM INICIA EL PROCESO
1710 YS=TS/(750*S):YP=TP/(970*S)
1720 IF YS<YP THEN Y=YS ELSE Y=YP
1730 L1=Q*N/(S+.5)
1740 B0=1
1750 GOSUB 5430
1760 L2=(L1*(P+(2/3)))^(3/5):L3=L2-L1
1770 B8=L3/Y
1780 IF ABS(B8-B0)<.00001 THEN GOTO 1810
1790 B0=B8
1800 GOTO 1750
1810 CLS:PRINT:PRINT"EL DISEÑO FINAL ES: ":PRINT
1820 PRINT"TIIRANTE","ANCHO","TALUD","GASTO","AREA"
1830 PRINT" m "," m "," <<<< "," m3/s"," m2 "
1840 PRINT"-----"
"
1850 PRINT Y,B8,K,Q,A
1860 BI=.51135*Q+.185607:PRINT:PRINT
1870 PRINT:PRINT,"VELOCIDAD","BORDO LIBRE"
1880 PRINT," m/s "," m "
1890 PRINT"-----"
1900 PRINT: Q/A,BL
1910 PRINT:INPUT"DEFAS IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1 / NO=2)":WB
1920 IF WB=1 THEN GOSUB 1960
1930 PRINT:INPUT"DEFAS CALCULAR OTRO DISEÑO (SI=1 / NO=2)":W9
1940 IF W9<>1 THEN GOTO 10
1950 GOTO 1240
1960 REM SUBROUTINA DE IMPRESION
1970 SYSTEM"FORMS P=51 L=47
1980 SYSTEM"T
1990 LPRINT:LPRINT,"L A B O R A T O R I O   D E   H I D R A U L I C A":LPRINT:
LPRINT"DISEÑO POR FUERZA TRACTIVA":LPRINT:LPRINT
2000 LPRINT"GASTO DE DISEÑO [m3/s]":Q
2010 LPRINT"TALUD "":K
2020 LPRINT"TIIRANTE [m] ":Y
2030 LPRINT"ANCHO [m] ":B8
2040 LPRINT"BORDO LIBRE [m] ":BL
2050 RETURN
2060 CLS:PRINT:PRINT,"F L U J O   C R I T I C O":PRINT:PRINT
2070 PRINT"CALCULOS DISPONIBLES:":PRINT:PRINT*1.- GASTO CRITICO":PRINT*2.- PENO
ENTE CRITICA":PRINT*3.- TIIRANTE CRITICO":PRINT
```

```
2080 PRINT:INPUT"CALCULO DESEADO";RE
2090 CR=1:GOTO 160
2100 ON RE GOTO 2110,2240,2330
2110 REM CALCULO DEL GASTO CRITICO
2120 CLS:PRINT:PRINT,"G A S T O           C R I T I C O"
2130 PRINT:INPUT"TI R A N T E CRITICO";YC
2140 GOSUB 5770
2150 PRINT:PRINT:PRINT"Y CRITICO","GASTO","AREA","VELOCIDAD","ENERGIA MIN"
2160 PRINT"  m      "," m3/s "," m2 "," m/s      "," m      "
2170 VE=Q/A:E=YC+(VE+2/19.62)
2180 PRINT:PRINT YC,Q,A,Q/A,E
2190 PRINT:PRINT:INPUT"DESEAS IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1 / NO=2)";W9
2200 IF W9=1 THEN GOSUB 2380
2210 PRINT:INPUT"DESEAS OTRO CALCULO EN FLUJO CRITICO (SI=1 / NO=2)";WB
2220 IF WB<>1 THEN GOTO 10
2230 GOTO 2060
2240 REM PENDIENTE CRITICA
2250 CLS:PRINT:PRINT,"P E N D I E N T E           C R I T I C A"
2260 PRINT:INPUT"GASTO CRITICO";Q
2270 INPUT"TI R A N T E CRITICO";YC:Y=YC
2280 INPUT"COEF. DE MANNING";N
2290 GOSUB 5430
2300 GOSUB 5610
2310 PRINT:PRINT:PRINT,"PENDIENTE CRITICA",S
2320 GOTO 2150
2330 REM TI R A N T E CRITICO
2340 CLS:PRINT:PRINT," T I R A N T E           C R I T I C O":PRINT:PRINT
2350 INPUT "GASTO [m3/s]";Q
2360 GOSUB 5810
2370 GOTO 2150
2380 REM SUBROUTINA IMPRESION CRITICO
2390 SYSTEM"FORMS P=51 L=47
2400 SYSTEM"
2410 LPRINT:LPRINT:LPRINT,"L A B O R A T O R I O   D E   H I D R A U L I C A":
LPRINT:LPRINT"FLUJO CRITICO":LPRINT:LPRINT
2420 IF S<>0 THEN LPRINT,"PENDIENTE CRITICA " ;S
2430 LPRINT"Y CRITICO","GASTO","AREA","VELOCIDAD","ENERGIA MIN."
2440 LPRINT"  m      "," m3/s "," m2 "," m/s      "," m      "
2450 LPRINT:LPRINT YC,Q,A,Q/A,E
2460 RETURN
2470 CLEAR:CLS:PRINT:PRINT,"E N E R G I A   E S P E C I F I C A":PRINT:PRINT"CA
LCULOS DISPONIBLES:" ;PRINT:PRINT"1.- TIRANTES ALTERNOS":PRINT"2.- CANAL CON ESCA
LON ASCENDENTE O DESCENDENTE":PRINT"3.- CANAL CON AMPLIACION O REDUCCION":G=9.81
2480 PRINT:PRINT:INPUT"CALCULO DESEADO";J9
2490 ON J9 GOTO 2500,2950,3210
2500 REM TIRANTES ALTERNOS PARA UNA SECCION DADA
2510 CLS:PRINT:PRINT,"T I R A N T E S   A L T E R N O S":PRINT
2520 PRINT"LA ECUACION A RESOLVER ES: E = Y + V+2/29";PRINT
2530 PRINT:PRINT"SECCIONES DISPONIBLES":PRINT:PRINT"1.- TRIA
NGULAR":PRINT"2.- RECTANGULAR":PRINT"3.- TRAPEZIAL":PRINT:PRINT:INPUT"SECCION DE
SEADA";SX
2540 ON SX GOTO 2550,2560,2570
2550 PRINT:INPUT "TAI,JD";K:GOTO 2580
2560 PRINT:INPUT "ANCHO DE PLANTILLA (en m)";B0:GOTO 2580
2570 PRINT:INPUT "TAI,JD";K:INPUT "ANCHO DE PLANTILLA (en m)";B0:GOTO 2580
2580 REM INICIO CALCULO
2590 CLS:PRINT:PRINT"INTRODUCE LOS SIGUIENTES DATOS: " ;PRINT:PRINT"1. GASTO
2600 PRINT:INPUT"GASTO (en m3/s)";Q:GOSUB 5810
2610 PRINT:INPUT"ENERGIA (en m)";E
2620 CLS:PRINT:PRINT"SOLUCION DE ENERGIA ESPECIFICA           TIRANTES ALTERNOS":PRINT
```

```
!PRINT*GASTO [m3/s] ="!Q;"ENERGIA [m] ="!E!PRINT:PRINT:Q(1)=Q!E(1)=E
2630 N=5:DIM A(N+1)
2640 A(1)=K+2:A(2)=2*B0*K-(E*K+2):A(3)=B0+2-(2*E*K*B0):A(4)=-E*B0+2:A(5)=0:A(6)=
Q+2/(2*G)
2650 A=YC:B=YC*7
2660 Y=A
2670 GOSUB 2B40
2680 FA=F
2690 Y=B
2700 GOSUB 2B40
2710 FB=F
2720 C=(A+B)/2
2730 Y=C
2740 GOSUB 2B40
2750 FC=F
2760 IF ABS(FC)<=T THEN GOTO 2790
2770 IF FC<0 THEN A=C:GOTO 2660
2780 B=C:GOTO 2690
2790 IF XX=1 THEN GOTO 2820
2800 PRINT:PRINT*REGIMEN SUBCRITICO":PRINT"-----":PRINT:Y=C:G
OSUB 5430:PRINT*TIRANTE","VELOCIDAD","FROUDE","ENERGIA":PRINT m "," m/s
"," - "," m":PRINT:V=Q/A:FR=V/(G*Y1)+.5:E=Y+(V+2)/(2*G):PRINT Y,V,FR,E:PRI
NT
2810 Y(2)=Y:V(2)=V:FR(2)=FR:E(2)=E:XX=1:A=YC:B=0:GOTO 2660
2820 PRINT*REGIMEN SUPERCRITICO":PRINT"-----":PRINT:Y=C:G
OSUB 5430:V=Q/A:FR=V/(G*Y1)+.5:E=Y+(V+2)/(2*G):PRINT Y,V,FR,E:PRINT
2830 Y(3)=Y:V(3)=V:FR(3)=FR:E(3)=E:GOTO 2900
2840 REM SURRUTINA DE CALCULO DE FUNCIONES
2850 F=0
2860 FOR I=1 TO N+1
2870 F=F+A(I)*(Y+(N+1-I))
2880 NEXT I
2890 RETURN
2900 PRINT:INPUT*DESEAS IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1 / NO=2)":W7
2910 IF W7=1 THEN GOSUB 3410
2920 PRINT:INPUT*DESEAS OTRO CALCULO DE ENERGIA ESPECIFICA (SI=1/NO=2)":WB
2930 IF WB<>1 THEN GOTO 10
2940 GOTO 2470
2950 REM CANAL CANAL CON ESCALON ASCENDENTE O DESCENDENTE
2960 CLEAR:CLS:PRINT:PRINT*"CANAL CON ESCALON ASCENDENTE O DESCENDENTE":PRINT:PR
INT*LA ECUACION A RESOLVER ES: E1 = E2 +/- Z":PRINT
2970 PRINT*Nota: Se parte de que se conocen las condiciones en la seccion antes
del escalon y la altura del mismo":PRINT:T=.00001:G=9.81
2980 PRINT*S E C C I O N E S D I S P O N I B L E S":PRINT*1.- RECTANGULAR":PRI
NT*2.- TRAPEZIAL":PRINT:INPUT*SECCION DESEADA: "":TK
2990 ON TK GOTO 3000,3010
3000 PRINT:INPUT *ANCHO DE PLANTILLA ( en m )":B0:GOTO 3020
3010 PRINT:INPUT *ANCHO DE PLANTILLA ( en m )":B0:PRINT:INPUT *ALUD":K
3020 CLS:PRINT:PRINT*INTRODUCE LOS SIGUIENTES DATOS: ":PRINT:PRINT
3030 INPUT *GASTO ( en m3/s )":Q:GOSUB 5B10
3040 INPUT *TIRANTE ANTES DEL ESCALON ( en m )":Y
3050 GOSUB 5430
3060 V=Q/A:E1=Y+V+2/(2*G):U2=((B0*YC)+(K*YC+2))+2:EM=YC+((Q+2)/(2*G*U2))
3070 AZ=E1-EM
3080 PRINT:PRINT*ESCALONES DISPONIBLES: ":PRINT:PRINT*1.- ASCENDENTE":PRINT*2.-
DESCENDENTE":PRINT:INPUT*TIPO DE ESCALON: "":JK
3090 ON JK GOTO 3100,3130
3100 PRINT:PRINT*EL ESCALON MAXIMO ASCENDENTE ES":AZ:"(m)":PRINT:INPUT *ALTURA D
EL ESCALON ( en m )":Z:E=E1-Z
3110 IF A7>Z THEN GOTO 3140
```

```
3120 PRINT:PRINT"DISMINUYE LA ALTURA DEL ESCALON":GOTO 3100
3130 PRINT:INPUT "ALTURA DEL ESCALON ( en m )":Z:E=E+Z
3140 CLS:PRINT"CONDICIONES AGUAS ARRIBA DEL ESCALON":FR=V/((G*Y1)+.5
3150 PRINT"TIIRANTE","ENERGIA","VELOCIDAD","FROUDE","GASTO"
3160 PRINT" m "," m "," m/s "," + ","m3/s "
3170 PRINT Y,E1,V,FR,Q:Y(0)=Y:E(0)=E1:V(0)=V:FR(0)=FR:Q(0)=Q
3180 PRINT"-----":PRINT
3190 PRINT"CONDICIONES SOBRE EL ESCALON":T=.0001:G=9.81
3200 GOTO 2630
3210 REM CANAL CON AMPLIACION O REDUCCION
3220 CLEAR:CLS:PRINT:PRINT"CANAL CON AMPLIACION O REDUCCION":PRINT:PRINT"NOTA :
Se parte de que se conocen las caracteristicas en la seccion antes de la amplia
cion o reduccion, asi como el ancho de plantilla en el cambio":PRINT
3230 PRINT"SOLO SECCION RECTANGULAR":T=.0001:G=9.81
3240 PRINT:PRINT"INTRODUCE LOS SIGUIENTES DATOS: ":PRINT
3250 PRINT:INPUT "ANCHO DE PLANTILLA ANTES DE LA CONTRACCION O AMPLIACION ( en m
)":B0
3260 PRINT:INPUT "GASTO ( en m3/s )":Q:GOSUB 5810
3270 PRINT:INPUT "TIIRANTE ANTES DEL CAMBIO ( en m )":Y
3280 GOSUB 5430
3290 V=Q/A:E1=Y+((V+2)/(2*G)):FR=V/((G*Y1)+.5:U3=(E1-YC)/(4+2)
3300 U4=U3*(YC+2)*2*G:BI=(1/U4)+.5
3310 PRINT:PRINT"EL ANCHO MINIMO PARA CONTRACCION ES: ":BI:"(m)"
3320 PRINT:INPUT"INTRODUCE EL ANCHO DE LA AMPLIACION O REDUCCION ( en m )":B0
3330 IF BI<B0 THEN GOTO 3350
3340 PRINT:PRINT"AUMENTA EL VALOR DEL ANCHO DE LA CONTRACCION":GOTO 3310
3350 CLS:PRINT"CONDICIONES AGUAS ARRIBA"
3360 PRINT"TIIRANTE","ENERGIA","VELOCIDAD","FROUDE","GASTO"
3370 PRINT" m "," m "," m/s "," + ","m3/s "
3380 PRINT Y,E1,V,FR,Q:Y(0)=Y:E(0)=E1:V(0)=V:FR(0)=FR:Q(0)=Q
3390 E=E1:T=.0001:G=9.81
3400 GOTO 2630
3410 REM SUBROUTINA DE IMPRESION DE RESULTADOS
3420 SYSTEM"FORMS P=51 L=47
3430 SYSTEM"T
3440 LPRINT:LPRINT:LPRINT,"L A B O R A T O R I O D E H I D R A U L I C A
":LPRINT:LPRINT"ENERGIA ESPECIFICA":LPRINT
3450 IF J9<>1 THEN GOTO 3500
3460 LPRINT"CONDICIONES":LPRINT:LPRINT "GASTO [m3/s]":Q(1):LPRINT"ENERGIA
[m]":E(1)
3470 LPRINT:LPRINT"REGIMEN SUBCRITICO":LPRINT:LPRINT"TIIRANTE","VELOCIDAD","FROUDE"
E","ENERGIA":LPRINT" m "," m/s "," - "," m":LPRINT:LPRINT Y(2),V(
2),FR(2),E(2)
3480 LPRINT:LPRINT"REGIMEN SUPERCRITICO":LPRINT:LPRINT Y(3),V(3),FR(3),E(3)
3490 GOTO 3540
3500 LPRINT"CONDICIONES AGUAS ARRIBA"
3510 LPRINT:LPRINT"TIIRANTE","VELOCIDAD","FROUDE","GASTO":LPRINT" m
"," m "," m/s "," - "," m3/s ":LPRINT:LPRINT Y(0),E(0),V(0),FR(0)
,Q(0)
3520 LPRINT:LPRINT
3530 GOTO 3470
3540 RETURN
3550 CLEAR:CLS:PRINT:PRINT,"S A L T O H I D R A U L I C O":PRINT:PRINT"OBTENCI
ON DE LOS CONJUGADOS MAYOR O MENOR PARA LAS SIGUIENTES SECCIONES":PRINT
3560 PRINT"1.- TRIANGULAR":PRINT"2.- RECTANGULAR":PRINT"3.- TRAPEZIAL":PRINT
3570 INPUT "TIPO DE SECCION: ":TP
3580 ON TP GOTO 3590,3600,3610
3590 PRINT:INPUT "TALUD":K:T=.0001:GOTO 3620
3600 PRINT:INPUT "ANCHO DE PLANTILLA ( en m )":B0:T=.0001:GOTO 3620
3610 PRINT:INPUT "ANCHO DE PLANTILLA ( en m )":B0:INPUT "TALUD":K:T=.0001:GOTO 3620
```

```
620
3620 CLS:PRINT:PRINT"INTRODUCE LOS SIGUIENTES DATOS: ":PRINT
3630 PRINT:INPUT "GASTO ( en m3/s )":Q:GOSUB 5810
3640 RT=YC*(B0+(K*YC)):G=9.81:TF=Q+2/(G*RT):TG=((4*K*YC+2)+(3*B0*YC))/((6*K*YC)+
(6*B0)):MM=TF+(TG*RT)
3650 PRINT:INPUT "CONJUGADO MAYOR O MENOR ( en m )":Y
3660 GOSUB 5430
3670 G=9.81
3680 TA=Q+2/(G*A)
3690 TB=((4*K*Y+2)+(3*B0*Y))/((6*K*Y)+(6*B0)):M=TA+(TB*A)
3700 IF M<MM THEN GOTO 4140
3710 IF Y<YC THEN GOTO 3760
3720 CLS:PRINT"CONDICIONES EN REGIMEN SUBCRITICO: "Y=Q/A:FR=V/(G*Y1)+.5:PRINT"
TIRANTE","VELOCIDAD","FROUDE","GASTO","MOMENTUM":M7=TA+(TB*A):W9=0
3730 PRINT" m "," m/s "," + ","m3/s "," m3 "A=YC:B=0
3740 PRINT Y,V,FR,Q,M7:PRINT:PRINT"EL MOMENTUM MINIMO ES: "MM:" (m3)"
3750 Y(0)=Y:V(0)=V:FR(0)=FR:GOTO 3790
3760 CLS:PRINT"CONDICIONES EN REGIMEN SUPERCRITICO: "Y=Q/A:FR=V/(G*Y1)+.5:PRINT
"TIRANTE","VELOCIDAD","FROUDE","GASTO","MOMENTUM":M7=TA+(TB*A):W9=1
3770 PRINT" m "," m/s "," + ","m3/s "," m3 "A=YC:B=7*YC
3780 PRINT Y,V,FR,Q,M7:PRINT:PRINT"EL MOMENTUM MINIMO ES: "MM:" (m3)":Y(1)=Y:V(
1)=V:FR(1)=FR
3790 N=5
3800 DIM A(N+1)
3810 A(1)=4*K+2:A(2)=7*B0*K:A(3)=3*B0+2:A(4)=-6*M*K:A(5)=-6*M*B0:A(6)=(6*Q+2)/G
3820 Y=A
3830 GOSUB 4150
3840 FA=F
3850 Y=B
3860 GOSUB 4150
3870 FB=F
3880 C=(A+B)/2
3890 Y=C
3900 GOSUB 4150
3910 FC=F
3920 IF ABS(FC)<=T THEN GOTO 3950
3930 IF FC<0 THEN A=C:GOTO 3820
3940 B=C:GOTO 3850
3950 IF W9=1 THEN GOTO 4030
3960 PRINT:PRINT"CONDICIONES EN REGIMEN SUPERCRITICO: "Y=C:GOSUB 5430:V=Q/A:FR=V
/(G*Y1)+.5:TA=(Q+2)/(G*A):TB=((4*K*Y+2)+(3*B0*Y))/((6*K*Y)+(6*B0))
3970 M7=TA+(TB*A)
3980 IF M7<MM THEN GOTO 4140
3990 PRINT:PRINT"TIRANTE","VELOCIDAD","FROUDE","GASTO","MOMENTUM"
4000 PRINT" m "," m/s "," + ","m3/s "," m3 "
4010 Y(1)=Y:V(1)=V:FR(1)=FR
4020 PRINT Y,V,FR,Q,M7:GOTO 4090
4030 PRINT:PRINT"CONDICIONES EN REGIMEN SUBCRITICO: "Y=C:GOSUB 5430:V=Q/A:FR=V
/(G*Y1)+.5:TA=(Q+2)/(G*A):TB=((4*K*Y+2)+(3*B0*Y))/((6*K*Y)+(6*B0)):M7=TA+(TB*A)
4040 IF M7<MM THEN GOTO 4140
4050 PRINT:PRINT"TIRANTE","VELOCIDAD","FROUDE","GASTO","MOMENTUM"
4060 PRINT" m "," m/s "," + ","m3/s "," m3 "
4070 Y(0)=Y:V(0)=V:FR(0)=FR
4080 PRINT Y,V,FR,Q,M7
4090 PRINT:INPUT "DESEAS IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1 / NO=2)":GR
4100 IF GR=1 THEN GOSUB 4210
4110 PRINT:INPUT "DESEAS OTRO CALCULO DE SALTO HIDRAULICO (SI=1 / NO=2)":G9
4120 IF G9=1 GOTO 3550
4130 GOTO 10
4140 PRINT:PRINT"NO HAY SOLUCION POR SER LA FUNCION MOMENTUM MENOR QUE EL MOMENT
```



```
UM MINIMO:GOTO 4110
4150 REM SUBROUTINA DE CALCULO DE FUNCIONES
4160 F=0
4170 FOR I=1 TO N+1
4180 F=F+A(I)*(Y+(N+1-I))
4190 NEXT I
4200 RETURN
4210 REM SUBROUTINA DE IMPRESION DE RESULTADOS
4220 SYSTEM*FORMS P=51 L=47
4230 SYSTEM*
4240 LPRINT:LPRINT:LPRINT,"L A B O R A T O R I O   D E   H I D R A U L I C A":
LPRINT:LPRINT"SALTO HIDRAULICO":LPRINT:LPRINT
4250 LPRINT"TIRANTE","VELOCIDAD","GASTO","FROUDE","MOMENTUM"
4260 LPRINT"  m      ","      m/s      ","      m3/s      ","      ","      m3      "
4270 LPRINT:LPRINT,"REGIMEN SUBCRITICO"
4280 LPRINT:LPRINT Y(0),V(0),Q,FR(0),M7
4290 LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT,"REGIMEN SUPERCRITICO"
4300 LPRINT:LPRINT Y(1),V(1),Q,FR(1),M7
4310 RETURN
4320 REM PERFILES EN FLUJO VARIADO
4330 CLEAR:CLS:PRINT:PRINT,"L A B O R A T O R I O   D E   H I D R A U L I C A":
:PRINT:PRINT,"PERFILES EN FLUJO VARIADO":PRINT:PRINT
4340 PRINT"El siguiente programa calculara el perfil del flujo para distintas ":
PRINT"condiciones de escurrimiento; sera necesario conocer el tipo de seccion.":
PRINT"el gasto a conducir, la pendiente del canal, la rugosidad (Manning) y la"
4350 PRINT"distancia entre las cuales se desean los tirantes del perfil.":PRINT:
PRINT"Se partira de un tirante conocido y el programa proporcionara los ele-": P
PRINT"mentos necesarios para identificar, dibujar y valorar el perfil que se "
4360 PRINT"presenta en el canal.":PRINT:PRINT
4370 INPUT"Oprima '1 ENTER' para continuar":NOG
4380 IF NOG<>1 THEN GOTO 4320
4390 FV=1:GOTO 140
4400 PRINT:PRINT,"INTRODUCE LOS SIGUIENTES VALORES":PRINT
4410 INPUT "GASTO EN EL CANAL [m3/s] " :Q
4420 INPUT "PENDIENTE DEL CANAL" " :S
4430 INPUT "COEFICIENTE DE MANNING " :N
4440 INPUT"No. DE SECCIONES " :I
4450 M=M+2:DIM A(M),D(M):DIM Y(M):DIM V(M):INPUT "TIRANTE CONOCIDO Y1 [m] ":Y(0)
)
4460 CLS:PRINT:PRINT,"RESULTADOS DEL FLUJO VARIADO":PRINT:PRINT
4470 GOSUB 5640:YN=Y
4480 GOSUB 5810:YC=Y
4490 DY=ABS(YN-Y(0))/M
4500 PRINT"TIRANTE NORMAL [m] " :YN:PRINT"TIRANTE CRITICO [m] " :YC
4510 IF YN>YC THEN S0=-1:PRINT:PRINT,"REGIMEN SUBCRITICO":GOTO 4530
4520 S0=1:PRINT:PRINT,"REGIMEN SUPERCRITICO"
4530 IF S0<0 THEN GOTO 4570
4540 IF Y(0)<YN THEN PRINT,"PERFIL S-3":S9=1:GOTO 4600
4550 IF Y(0)>YN THEN PRINT"SE PRESENTA UN SALTO HIDRAULICO EN S-1 Y NO SE CAL
CULARA PERFIL":GOTO 4800
4560 PRINT,"PERFIL S-2":S9=-1:GOTO 4600
4570 IF Y(0)<YC THEN PRINT"SE PRESENTA UN SALTO HIDRAULICO EN M-3 Y NO SE CAL
CULARA PERFIL":GOTO 4800
4580 IF Y(0)>YC THEN PRINT,"PERFIL M-1":S9=-1:GOTO 4600
4590 PRINT,"PERFIL M-2":S9=1
4600 IF IR=1 THEN GOTO 4900
4610 PRINT:PRINT,"P E R F I L   E N   E L   C A N A L":PRINT
4620 PRINT "SECCION","TIRANTE","AREA","VELOCIDAD","DISTANCIA"
4630 PRINT " No. " " m " " m2 " " m/s " " m " "
4640 FOR I=0 TO M-1
```

```
4650 Y=Y(I):GOSUB 5430
4660 V(I)=Q/A:E=Y(I)+(V(I)+2/19.62):S5=(V(I)*N/R+(2/3))+2
4670 J=I+1
4680 Y(J)=Y(I)+(S9*DY):Y=Y(J):GOSUB 5430
4690 V(J)=Q/A:E2=Y(J)+(V(J)+2/19.62):S6=(V(J)*N/R)
4700 SM=(S5+S6)/2:D=(E2-E)/(S-SM):D(J)=D
4710 NEXT I
4720 FOR I=0 TO M
4730 SD=SD+D(I)
4740 Y=Y(I):GOSUB 5430
4750 PRINT I,Y,A,Q/A,SD
4760 NEXT I
4770 PRINT:PRINT"La distancia se toma a partir del tirante conocido como origen
y con su signo."
4780 PRINT:INPUT"DEFEA IMPRESION DE RESULTADOS (S1=1/NO=2)":W9
4790 IF W9=1 THEN GOSUB 4820
4800 PRINT:INPUT"DEFEA CALCULAR OTRO PERFIL (S1=1/NO=2)":W8
4810 IF W8=1 THEN GOTO 4320E1.SE GOTO 10
4820 REM SUBROUTINA DE IMPRESION
4830 SYSTEM"FORMS P=51 L=47
4840 SYSTEM "T
4850 LPRINT:LPRINT,"L A B O R A T O R I O   D E   H I D R A U L I C A":LPRINT
NT:LPRINT,"PERFIL DE FLUJO VARIADO EN EL CANAL":LPRINT:LPRINT
4860 LPRINT"GASTO [m3/s] " :I:G:LPRINT"PENDIENTE " :S:LPRINT"RUGOSIDAD " :N
4870 LPRINT:LPRINT:IR=1.
4880 SYSTEM"DUAL ON
4890 GOTO 4460
4900 SYSTEM"DUAL OFF
4910 LPRINT:LPRINT"SECCION","TIRANTE","AREA","VELOCIDAD","DISTANCIA"
4920 LPRINT" # " , " m " , " m2" , " m/s " , " m":LPRINT:SD=0
4930 LPRINT
4935 FOR I=0 TO M
4940 Y=Y(I):GOSUB 5430
4950 A(I)=A:V(I)=Q/A:SD=SD+D(I)
4970 LPRINT I,Y(I),A(I),V(I),SD
4980 NEXT I
4985 LPRINT:LPRINT"La distancia se toma de la seccion inicial con su signo"
4990 RETURN
5000 CLS:CLEAR:PRINT:PRINT,"F L U J O   E S P A C I A L M E N T E   V A R I
A D O":PRINT:PRINT"Este programa resuelve el perfil de un flujo espacialmente v
ariado en un":PRINT"canal colector de un vertedor lateral":EV=1:PRINT:PRINT
5010 PRINT,"SECCIONES DISPONIBLES":GOTO 170
5020 INPUT"GASTO [m3/s]":I:INPUT"LONGITUD CRESTA [m]":LC:INPUT "PENDIENTE
DEL COLECTOR " :S:INPUT "COEF. DE MANNING " :N:INPUT"ESCALON EN EL CONTROL [m]
":Z:I:G=9.81
5030 INPUT "No. DE SECCIONES " :M
5040 DIM Y(M),A(M),V(M),Q(M)
5050 GOSUB 5810
5060 Y(0)=YC+Z:QU=Q/LC:D=LC/M
5070 Y=Y(0):GOSUB 5430
5080 A(0)=A:Q(0)=Q:V(0)=Q/A
5090 FOR I=0 TO M-2
5100 Y=Y(I):GOSUB 5430
5110 Y2=Y:A2=A:Q2=Q:P2=P:V2=Q2/A2
5120 Y8=1
5130 Q1=Q2-(QU*D)
5140 YI=Y8+Y2-(S*D)
5150 Y=YI:GOSUB 5430
5160 A1=A:P1=P:V1=Q1/A1
5170 VM=(V1+V2)/2:RM=((A1+A2)/(P1+P2))+(2/3):SM=(VM*N/RM)+2
```

```
5180 ZB=((V1+V2)/(Q1+Q2))*Q1/G:Z9=(Q2-Q1)*V2/Q1:Z7=(V2-V1)+Z9:Y9=(ZB*Z7)
5190 IF ABS(YB-Y9)<= 0.00001 THEN GOTO 5210
5200 YB=Y9:GOTO 5140
5210 Y(I+1)=YI:Q(I+1)=QI:A(I+1)=A1:V(I+1)=V1:Q=Q1
5220 NEXT I
5230 CLS:PRINT"RESULTADOS DEL FLUJO ESPACIALMENTE VARIADO":PRINT:PRINT
5240 PRINT"SECCION","DISTANCIA","TIRANTE","GASTO","VELOCIDAD"
5250 PRINT" #"," m"," m"," m3/s"," m/s":PRINT
5260 FOR I=0 TO M-1
5270 PRINT I,I*D,Y(I),Q(I),V(I)
5280 NEXT I
5290 IF IM=1 THEN GOTO 5400
5300 PRINT:INPUT"DEFASAS IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1/NO=2)":WB
5310 IF WB=1 THEN GOSUB 5340
5320 PRINT:INPUT"DESEAS OTRO CALCULO DE FLUJO ESP. VAR. (SI=1/NO=2)":W9
5330 IF W9=1 THEN GOTO 5000ELSE GOTO 10
5340 REM SUBROUTINA DE IMPRESION FEV
5350 SYSTEM "FORMS P=51 L=47
5360 SYSTEM "T
5370 LPRINT:LPRINT:LPRINT,"L A B O R A T O R I O   D E   H I D R A U L I C A
":LPRINT:LPRINT"FLUJO ESPACIALMENTE VARIADO":LPRINT:LPRINT
5380 SYSTEM "DUAL ON
5390 IM=1:GOTO 5230
5400 SYSTEM "DUAL OFF
5410 RETURN
5420 RUN"MENU"
5430 REM SUBROUTINA DE CARACTERISTICAS HIDRAULICAS
5440 IF SW=4 THEN GOTO 5510
5450 REM CAR. HID SFCC. TRAP. RECT Y TRIANG.
5460 A=Y*(B+(K*Y))
5470 B0=B+(2*K*Y)
5480 P=B0+(2*Y*(K+2+1)↑.5)
5490 R=A/P
5500 Y1=A/B:GOTO 5570
5510 REM CAR. HID SECC. CIRCULAR
5520 IF Y=D/2 THEN ALF=PI:GOTO 5550
5530 IF Y>D/2 THEN GOTO 10
5540 A9=1-(2*Y/D):AB=2*SQR((Y/D)-(Y+2/D+2)):ALF=ABS(2*(ATN(AB/A9)))
5550 A=ABS(A-((D+2)/B)*(ALF-SIN(ALF))):B=D*SIN(ALF/2)
5560 P=ABS(P-(D*ALF/2)):R=A/P:Y1=A/B
5570 RETURN
5580 REM SUBROUTINA DE CALCULO DEL GASTO
5590 Q=RT(2/3)*A*(S↑.5):Q=Q/N
5600 RETURN
5610 REM SUBROUTINA DE CALCULO DE PENDIENTE
5620 S=((Q*N/(A*RT(2/3)))↑2)
5630 RETURN
5640 REM SUBROUTINA DE CALCULO DEL TIRANTE NORMAL
5650 Y=1
5660 IF SW=4 THEN GOTO 5720
5670 GOSUB 5430
5680 L1=(Q*N*P↑(2/3))/S↑.5:L1=L1↑(3/5)
5690 Y5=L1/(B0+(K*Y))
5700 IF ABS(Y-Y5)<.00001 THEN GOTO 5760
5710 Y=Y5:GOTO 5670
5720 REM CIRCULAR
5730 X=(Q*N)/((S↑.5)*(D↑(8/3)))
5740 YD=1.42916*X↑.521671
5750 Y=YD*D:GOSUB 5430
5760 RETURN
```

```
5770 REM SUBROUTINA GASTO CRITICO
5780 Y=YC:GOSUB 5430
5790 NU=(A+3)/B:Q=(NU*9.81)+.5
5800 RETURN
5810 REM SUBROUTINA TIRANTE CRITICO
5820 IF SW=4 THEN GOTO 5890
5830 Y=1
5840 GOSUB 5430
5850 L1=(Q+2*B/9.81)+(1/3)
5860 YC=L1/(B0+K*Y)
5870 IF ABS(YC-Y)<0.00001 THEN GOTO 5930
5880 Y=YC:GOTO 5840
5890 REM CIRCULAR
5900 X=Q/(9.81+.5):X=X/D+.5
5910 YD=0.849943*X+.478169
5920 YC=YD*D:Y=YC:GOSUB 5430
5930 RETURN
```

IMPRESION TESIS

```
10 CLS
20 REM xxxxxx PROGRAMA TESIS LICENCIATURA          JAVIER BOLAÑOS NAVA
30 REM xxxxxx TEMAS AFINES A LA HIDRAULICA          (VARIOS)          (OK)
40 REM xxxxxx OCTUBRE DE 1985
50 CLS:PRINT:PRINT:PRINT,"          UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO ":PRINT
T:PRINT,"          TEMAS AFINES A LA HIDRAULICA":PRINT:PRINT,"          LAB
ORATORIO DE HIDRAULICA ":PRINT:PRINT:PRINT
60 PRINT "PROGRAMAS DISPONIBLES.":PRINT:PRINT*1.- TRANSITO DE AVENIDAS":PRINT*2.
- ANALISIS ESPECTRAL":PRINT*3.- AVENIDA DE DISEÑO":PRINT*4.- OPTIMIZACION EN RIE
60":PRINT*5.- FUNCIONAMIENTO DE VASO":PRINT*6.- FIN DEL PROGRAMA"
70 PRINT:INPUT "No. DEL PROGRAMA DESEADO":Y
80 ON Y GOTO 90,770,1240,1850,2940,4130
90 CLS:PRINT:PRINT:PRINT,"T R A N S I T O   D E   A V E N I D A S"
100 PRINT
110 PRINT"El presente programa transita una avenida discretizada en N intervalos
":PRINT"de tiempo; las dos estructuras de salida disponibles son":PRINT
120 PRINT*1.- VERTEDOR DE EXCEDENCIAS":PRINT*2.- OBRA DE DESVIO (TUNEL)":PRINT
130 PRINT"En ambos casos sera necesaria la curva de capacidades en la forma":PR
INT:PRINT,"V = K * (H)^N   ; V=[m3] ; H=[m]":PRINT
140 PRINT"Donde H sera la elevacion desde el pie de cortina y V el volumen del v
aso":PRINT"para ese elevacion.":PRINT
150 PRINT"En el segundo caso sera necesaria la ley de descargas del tunel en la
forma":PRINT:PRINT,"O = Ct * (H-HU)^M   ; O=[m3/s] ; HU=[m]":PRINT
160 PRINT"donde HU es la altura del umbral y O es el gasto de salida para la car
ga H":PRINT:PRINT
170 INPUT"ESTRUCTURA A TRANSITAR":WB
180 ON WB GOTO 190,240
190 CLS:PRINT:PRINT,"DATOS DEL VERTEDOR":PRINT:PRINT
200 INPUT "INTRODUCE LONGITUD DE CRESTA DEL VERTEDOR [m]":L
210 INPUT "INTRODUCE COEFICIENTE DE DESCARGA   [MKS]   ":C
220 INPUT "INTRODUCE ALTURA DE LA CRESTA      [m]      ":HC
230 GOTO 280
240 CLS:PRINT:PRINT,"DATOS DEL TUNEL ":PRINT:PRINT
250 INPUT "INTRODUCE Ct DE LA LEY DE DESCARGAS":CT
260 INPUT "INTRODUCE M DE LA LEY DE DESCARGAS":M
270 INPUT "INTRODUCE ALTURA DEL UMBRAL":HU
280 PRINT:PRINT,"DATOS DEL VASO Y DE LA AVENIDA A TRANSITAR"
290 INPUT "INTRODUCE K DE LA CURVA DE CAPACIDADES":K
300 INPUT "INTRODUCE N DE LA CURVA DE CAPACIDADES":N
310 INPUT "INTRODUCE EL INCREMENTO DE TIEMPO (seg.)":D
320 INPUT "INTRODUCE EL NUMERO DE INCREMENTOS":NI
330 DIM H(N1),E(N1),O(N1)
340 PRINT "INTRODUCE ALTURA DEL NIVEL DEL AGUA INICIAL [m]":INPUT"(mayor o igual
a la altura de la cresta)":IH(0)
350 CLS:PRINT:PRINT "H I D R O G R A M A   D E   E N T R A D A"
360 PRINT:PRINT"INTRODUCE LAS ENTRADAS DISCRETIZADAS EN [m3/s]":PRINT
370 PRINT"PERIODO","ENTRADA"
380 PRINT" #           "," m3/s "
390 FOR I=1 TO N1
400 PRINT"   ":I:"   ":
410 INPUT E(I)
420 NEXT I
430 PRINT:PRINT,"INICIO EL CALCULO ESPERE....."
440 FOR I=1 TO N1
450 DEN=N*K*((H(I-1))^(N-1))
460 IF WB=2 THEN GOTO 480
470 O(I-1)=C*L*((H(I-1)-HC)^(3/2))
480 O(I-1)=CT*((H(I-1))
```

```
490 NUM=E(I-1)-O(I-1):F=(NUM/DEN)*D
500 H(I)=H(I-1)+F
510 NEXT I
520 CLS:PRINT:PRINT,"R E S U L T A D O   D E L   T R A N S I T O":PRINT
530 PRINT"INTERVALO","TIEMPO","NIVEL AGUA","ENTRADA","SALIDA"
540 PRINT" #      "," s e g  ","      m      "," m3/s  "," m3/s  "
550 PRINT"-----"
560 PRINT
570 FOR I=0 TO N1
580 PRINT I,D*I,H(I),E(I),O(I)
590 NEXT I
600 PRINT:INPUT"DESEA IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1 / NO=2)":W2
610 IF W2=1 THEN GOSUB 650
620 PRINT:INPUT"DESEA OTRO CALCULO (SI=1/NO=2)":W3
630 IF W3<>1 THEN GOTO 20
640 GOTO 90
650 REM SUBROUTINA DE IMPRESION
660 SYSTEM"FORMS P=51 L=47
670 SYSTEM"T
680 LPRINT:LPRINT,"RESULTADO DEL TRANSITO DE AVENIDAS POR VASO":LPRINT
690 LPRINT"INTERVALO","TIEMPO","NIVEL AGUA","ENTRADA","SALIDA"
700 LPRINT" #      "," s e g  ","      m      "," m3/s  "," m3/s  "
710 LPRINT"*****"
*****
720 LPRINT
730 FOR I=0 TO N1
740 LPRINT I,D*I,H(I),E(I),O(I)
750 NEXT I
760 RETURN
770 CLS:PRINT,"L A B O R A T O R I O   D E   H I D R A U L I C A":PRINT
780 PRINT:CLEAR
790 PRINT:PRINT,"      APLICACION A REGISTROS DEL ANALISIS DE LA
800 PRINT,"      TRANSFORMADA DE FOURIER"
810 PRINT,"(Obtencion de los espectros del registro)"
820 PRINT,"(Utiliza el criterio de densidad espectral)"
830 PRINT:PRINT "INTRODUCE # DE DATOS EN EL REGISTRO":
840 INPUT N1:PI=3.141592
850 DIM X(N1):DIM S(N1):DIM R(N1):DIM A(N1):DIM F(N1):SOC(N1):NES(N1)
860 PRINT "INTRODUCE DATOS DEL REGISTRO"
870 FOR R=0 TO N1-1
880 PRINT "R(:"R:)"=":
890 INPUT R(R)
900 NEXT R
910 PRINT:PRINT "INTRODUCE INCREMENTO DE TIEMPO ENTRE DATOS":
920 INPUT D
930 REM INICIA CALCULO DE Xn
940 CLS:PRINT "Xn","Sn","An","fn":PRINT " a      +      b i  ":PRINT
950 FOR N=0 TO N1-1
960 SOC=0:NES=0
970 FOR M=0 TO N1-1
980 C=(R(M)*COS(2*PI*N*M/N1))/N1
990 SOC=SOC+C
1000 SFNO=(R(M)*SIN(2*PI*N*M/N1))/N1
1010 NES=NES+SFNO
1020 NEXT M
1030 S(N)=(SOC+2)+(NES+2)
1040 A(N)=F(N)
1050 F(N)=(N/N1)
1060 SOC(N)=SOC:NES(N)=NES
```

```
1070 PRINT SOC,NES,S(N),A(N),F(N)
1080 NEXT N
1090 PRINT:PRINT "EL INCREMENTO DE FRECUENCIA ES:";1/(N1*D)
1100 PRINT:INPUT"DESEAS IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1/NO=2)":W9
1110 IF W9=1 THEN GOSUB 1140
1120 PRINT:INPUT"DESEAS CTRO CALCULO DE ANALISIS ESPECTRAL (SI=1/NO=2)":WB
1130 IF WB=1 THEN GOTO 770ELSE GOTO 20
1140 REM SUBROUTINA DE IMPRESION
1150 SYSTEM*FORMS P=51 L=47
1160 SYSTEM*T
1170 LPRINT:LPRINT:LPRINT,"L A B O R A T O R I O   D E   H I D R A U L I C A":
LPRINT:LPRINT"ANALISIS ESPECTRAL":LPRINT
1180 LPRINT "Xn",,"Sn","An",,"fn":LPRINT "   a           +           b i   ":LPRINT
1190 FOR N=0 TO N1-1
1200 LPRINT SOC(N),NES(N),S(N),A(N),F(N)
1210 NEXT N
1220 LPRINT:LPRINT"EL INCREMENTO DE FRECUENCIA ES:";1/(N1*D)
1230 RETURN
1240 CLEAR:CLS:PRINT,"A V E N I D A   D E   D I S E Ñ O":PRINT
1250 PRINT:PRINT"El siguiente programa Generara la avenida de dise&o a partir de
1"
1260 PRINT"gasto pico y el tiempo pico, datos que deben conocerse. El gasto"
1270 PRINT"pico podra ser determinado para un periodo de retorno conocido y"
1280 PRINT"a partir de los registros historicos.":PRINT:PRINT"1.- Gasto pico con
ocido":PRINT"2.- Gasto pico por determinar para un periodo de retorno"
1290 PRINT:INPUT"CONDICION DESEADA":XX
1300 PRINT:PRINT"El tiempo pico puede ser introducido en cualquier unidad, los in
-":PRINT"tervalos de la avenida seran en fracciones de dicha unidad.":PRINT:INPU
T"INTRODUICR EL TIEMPO PICO":TP
1310 DT=TP/10:LT=5*TP:KB=LT/DT:DIM I(KB),T(KB),Q(KB)
1320 ON XX GOTO 1520,1330
1330 REM METODO DE GUMBEL
1340 CLS:PRINT:PRINT"INTRODUICR LOS GASTOS MAXIMOS HISTORICOS [en m3/s] DE MAYOR
A MENOR":PRINT:INPUT"NO. DE AÑOS DE REGISTRO":M
1350 DIM Q1(M)
1360 PRINT:PRINT"INTRODUCE LOS GASTOS: "
1370 FOR I=1 TO M
1380 PRINT I;"o. GASTO":
1390 INPUT Q1(I)
1400 SQ=SQ+Q1(I):TM=(M+1)/I:T1=TM/(TM-1):T2=LOG(T1)
1410 X1=LOG(T2):SX=SX+X1
1420 X2=X2+(X1+2):XQ=XQ+(X1*Q1(I))
1430 NEXT I
1440 QM=SQ/M:XM=SX/M
1450 C=XQ-(M*XM*QM)/(X2-(M*XM+2))
1460 A=QM-(C*XM)
1470 PRINT:PRINT"LA ECUACION DE GUMBEL ES:"
1480 PRINT,"Q(Tr)= "A;"+"(C;"* lnln (TR / TR-1))"
1490 PRINT:INPUT"PERIODO DE RETORNO DESEADO ":PE
1500 PB=PE/(PE-1):P9=LOG(PB):P9=LOG(P9)
1510 GOTO 1530
1520 PRINT:INPUT"GASTO PICO [en m3/s]":QP
1530 CLS:PRINT,"A V E N I D A   D E   D I S E Ñ O":T=0:I=0
1540 PRINT:PRINT"GASTO PICO [m3/s]":QP,"TIEMPO PICO [T]":TP:PRINT
1550 PRINT:PRINT"INTERVALO","TIEMPO","GASTO":PRINT " #","(unid. TP)","(m3/s)":
PRINT
1560 T=0:DT=1:I=1:RT=T/TP
1570 IF RT<.4 THEN RQ=.75*RT:GOTO 1660
1580 IF RT<.75 THEN RQ=(1.657*RT)-.3628:GOTO 1660
1590 IF RT<1 THEN RQ=(.48*RT)+.52:GOTO 1660
```

```
1600 IF RT<1.25 THEN RQ=(-.44*RT)+1.44:GOTO 1660
1610 IF RT<1.75 THEN RQ=(-.98*RT)+2.115:GOTO 1660
1620 IF RT<2 THEN RQ=(-.52*RT)+1.31:GOTO 1660
1630 IF RT<2.5 THEN RQ=(-.03*RT)+.07:GOTO 1660
1640 IF RT<3 THEN RQ=(-.12*RT)+.42:GOTO 1660
1650 IF RT<5 THEN RQ=(-.03*RT)+.15:GOTO 1660
1660 IF T>LT THEN GOTO 1700
1670 Q=QP*RQ
1680 I(I)=I:T(I)=T:Q(I)=Q
1690 PRINT I,T,Q:GOTO 1560
1700 PRINT:INPUT"DESEAS IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1 / NO=2)":F5
1710 IF F5=1 THEN GOSUB 1750
1720 INPUT"DESEAS OTRA AVENIDA DE DISEÑO (SI=1 / NO=2)":F6
1730 IF F6<>1 GOTO 20
1740 GOTO 1240
1750 REM SUBROUTINA DE IMPRESION
1760 SYSTEM "FORMS P=51 L=47
1770 SYSTEM "T
1780 LPRINT:LPRINT:LPRINT,"L A B O R A T O R I O   D E   H I D R A U L I C
A":LPRINT:LPRINT"AVENIDA DE DISEÑO":LPRINT:LPRINT"GASTO PICO [m3/s]":QP:LPRINT
"TIEMPO PICO [T]:";TP:LPRINT
1790 LPRINT,"INTERVALO","TIEMPO","GASTO":LPRINT," # "," [T] "," m3/s"
1800 LPRINT,"*****"
*****":LPRINT
1810 FOR I=1 TO K-1
1820 LPRINT I(I),T(I),Q(I)
1830 NEXT I
1840 RETURN
1850 CLAR:CLS:REM METODO SIMPLEX PARA SOLUCION DE PROGRAMACION LINEAL
1860 REM MANEJA MATRIZ AMPLIADA Y TRANSFORMACIONES SIMPLES
1870 REM CON EL SISTEMA ARRANCADO DE LA TABLA SIMPLEX MODIFICADA
1880 PRINT:PRINT:PRINT,"M E T O D O   S I M P L E X":PRINT:PRINT
1890 DIM N$(40)
1900 INPUT"NOMBRE DEL PROBLEMA":N$
1910 INPUT"INTRODUCE EL NUMERO DE VARIABLES (HOLGURA,ARTIFICIAL,SUPERFLUA)":N
1920 INPUT"INTRODUCE EL NUMERO DE RESTRICCIONES":M
1930 INPUT"HAY VARIABLES ARTIFICIALES CON PENALIZACION (SI=1 / NO=2)":W6
1940 IF W6=1 THEN M5=M+2 ELSE M5=M+1
1950 CLS:PRINT:PRINT:PRINT"INTRODUCIR LA TABLA SIMPLEX EN FORMA STANDAR SIMPLIFI
CADA"
1960 DIM A(M5,N+1),X(M),X1(N),K(N)
1970 IT=0:PER=50
1980 FOR I=0 TO M-1
1990 K=N-I
2000 X(M-I)=K
2010 NEXT I
2020 PRINT:PRINT"INTRODUCIR LA MATRIZ POR RENGLONES"
2030 FOR I=1 TO M5
2040 PRINT "RENGLON # ";I
2050 FOR J=1 TO N+1
2060 PRINT "A(";I;";";J;")=";
2070 INPUT A(I,J)
2080 NEXT J
2090 NEXT I
2100 PRINT"INICIO EL CALCULO ....."
2110 GOSUB 2240
2120 IF K2=0 THEN GOTO 2640
2130 GOSUB 2360
2140 IF K3=0 THEN PRINT"NO HAY SOLUCION AL SISTEMA (SOL. NEGATIVA)":GOTO 2660
2150 X(PIV)=CT
```



```
2160 GOSUB 2510
2170 IT=IT+1
2180 PRINT :PRINT "NUMERO DE ITERACION = ";IT
2190 IF IT>PER THEN 2210
2200 GOTO 2110
2210 PRINT:PRINT:PRINT "No. DE ITERACIONES AGOTADAS (50) "
2220 INPUT "NUEVO RANGO DE ITERACION ":PER
2230 GOTO 2110
2240 REM SUBROUTINA COLUMNA DE TRABAJOS
2250 K2=0
2260 FOR I=1 TO N
2270 IF A(M5,I)>=0 THEN K(I)=0:GOTO 2290
2280 K(I)=A(M5,I):K2=1
2290 NEXT I
2300 IF K2=0 THEN GOTO 2350
2310 A=0
2320 FOR I=1 TO N
2330 IF A>K(I) THEN A=K(I):CT=I
2340 NEXT I
2350 RETURN
2360 REM SUBROUTINA PIVOTE
2370 FOR I=1 TO M
2380 IF A(I,CT)=0 THEN X1(I)=0:GOTO 2400
2390 X1(I)=A(I,N+1)/A(I,CT)
2400 NEXT I
2410 K3=0
2420 FOR I=1 TO M
2430 IF X1(I)>0 THEN K3=1:GOTO 2450
2440 X1(I)=9E20
2450 NEXT I
2460 B=X1(1)
2470 FOR I=2 TO M
2480 IF B>X1(I) THEN B=X1(I)
2490 NEXT I
2500 RETURN
2510 REM SUBROUTINA DE TRANSFORMACIONES LINEALES
2520 KB=A(PIV,CT)
2530 FOR I=1 TO N+1
2540 A(PIV,I)=A(PIV,I)/KB
2550 NEXT I
2560 FOR I=1 TO M5
2570 IF I=PIV THEN 2620
2580 K9=A(I,CT)
2590 FOR J=1 TO N+1
2600 A(I,J)=A(I,J)-(K9*A(PIV,J))
2610 NEXT J
2620 NEXT I
2630 RETURN
2640 REM RESULTADOS
2650 CL=
2660 PRINT:PRINT " METODO SIMPLE X "
2670 PRINT:RESULTADOS
2680 PRINT:PRINT
2690 FOR I=1 TO M
2700 PRINT "X(";X(I);")= ";A(I,N+1)
2710 NEXT I
2720 PRINT:PRINT "Nota: Todas las demas variables valen cero"
2730 PRINT "-----"
2740 PRINT:INPUT "DESBAS IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1 / NO=2)";W9
2750 IF W9=1 THEN GOSUB 2790
```

```
2760 PRINT:INPUT"DESEAS RESOLVER OTRO PROBLEMA DE OPTIMIZACION (SI=1 / NO=2)";WB
2770 IF WB<>1 THEN GOTO 20
2780 GOTO 1850
2790 REM SUBROUTINA DE IMPRESION DE RESULTADOS
2800 SYSTEM"FORMS P=51 L=47
2810 SYSTEM"
2820 LPRINT:LPRINT:LPRINT,"LABORATORIO DE HIDRAULICA"
:LPRINT:LPRINT " METODO SIMPLEX"
2830 LPRINT"*****"
2840 LPRINT:LPRINT"PROBLEMA. -";N$:LPRINT:LPRINT,"No. de Variables (Ho-
rura,Artificial y Superflua) =" ;N:LPRINT,"No. de Restricciones =" ;M:LPRINT
2850 LPRINT"ODAS LAS VARIABLES NO NEGATIVAS":LPRINT:LPRINT"*****"
*****:LPRINT:LPRINT:LPRINT
2860 LPRINT"RESULTADOS":LPRINT
2870 FOR I=1 TO M
2880 LPRINT "X(";X(I);)=" A(I;N+1)
2890 NEXT I
2900 LPRINT:LPRINT"Todas las demas variables valen cero"
2910 LPRINT"*****"
2920 REM SOLUCION CON VARIABLES NEGATIVAS
2930 RETURN
2940 CLEAR:CLS:REM FUNCIONAMIENTO DE VASO CONSIDERANDO EVAPORACION O NO
2950 PRINT:PRINT:PRINT,"F U N C I O N A M I E N T O D E V A S O":PRINT:
PRINT:PRINT" El presente programa hara el funcionamiento de un vaso de almacenam-
iento":PRINT" en forma completa, es decir considerando efectos de evaporacion"
2960 PRINT " o sin ella, para problemas de riego"
2970 PRINT:PRINT " Previamente deberan conocer la curva de Elev. vs. Areas en
la forma":PRINT:PRINT," A = K1 * (Elev)+N1 ; A=[km2] ; Elev=[m]":PRINT:PRINT
Asi como la curva de capacidades del vaso en la forma"
2980 PRINT:PRINT," V = K2 * (Elev)+n2 ; V=[MM3]"
2990 PRINT:PRINT:PRINT" Asi mismo es necesario conocer los registros historicos
o sinteticos y la":PRINT" demanda para el mismo periodo de tiempo (mensual, tri-
mestral, etc)":PRINT:PRINT
3000 INPUT "OPRIMA 'I ENTER' PARA CONTINUAR";WB
3010 IF WB<>1 THEN GOTO 2940
3020 CLS:PRINT:PRINT"INTRODUZCA LOS SIGUIENTES DATOS":PRINT:INPUT "K1,N1 DE LA
CURVA DE Elev vs. Area":K1,N1:INPUT "K2,N2 DE LA CURVA DE CAPACIDADES":K2,N2
3030 PRINT:PRINT,"PERIODOS DISPONIBLES":PRINT:PRINT"1.- MENSUAL":PRINT"2.- TRIME-
STRAL":PRINT"3.- SEMESTRAL":PRINT"4.- ANUAL":PRINT:INPUT"PERIODO DESEADO A SIMU-
LAR":W7:ON W7 GOTO 3050,3050,3060,3070
3040 PRINT:M=12:GOTO 3080
3050 PRINT:M=4:GOTO 3080
3060 M=2:GOTO 3080
3070 M=1:GOTO 3080
3080 INPUT"No. de A&OS DE REGISTRO DE DATOS";N
3090 DIM E(M,N),V(M,N),D(M),S(M,N),DB(M,N),D9(M,N),IN(M)
3100 PRINT:INPUT"CAPACIDAD DE AZOVES (10+6 m3)":CZ
3110 CLS:PRINT:PRINT" Los datos pueden ser introducidos por pantalla o a traves
del mismo programa":PRINT" Por medio de (READ/DATA)":PRINT:PRINT:PRINT"1.- POR
PANTALLA":PRINT"2.- POR READ/DATA":PRINT:PRINT:INPUT "FORMA DE CAPTURA":W7
3120 ON W7 GOTO 3200,3130
3130 PRINT:PRINT"Verificar que a partir de la ultima linea del programa se teng-
an los DATA":PRINT:INPUT "OPRIMA 'I ENTER' PARA CONTINUAR";WB
3140 IF WB<>1 THEN GOTO 3130
3150 FOR I=1 TO N
3160 FOR J=1 TO M
3170 READ E(J,I):EB=EB+E(J,I)
3180 NEXT J
3190 NEXT I:GOTO 3360
3200 CLS:PRINT:PRINT "DATOS DE LOS REGISTROS:"
```

```
3210 PRINT:PRINT"INTRODUCE LA ENTRADA POR PERIODO DE CADA A&0"  
3220 PRINT"LAS ENTRADAS EN MILLONES DE METROS CUBICOS (10+6 m3)":PRINT  
3230 FOR I=1 TO N  
3240 PRINT:"A&0":  
3250 FOR J=1 TO M  
3260 PRINT"PERIODO":J;  
3270 INPUT E(J,I):EB=EB+E(J,I)  
3280 NEXT J  
3290 NEXT I  
3300 PRINT:INPUT "DESEA HACER ALGUNA CORRECCION (SI=1/NO=2)":W/  
3310 IF W<>1 THEN GOTO 3360  
3320 PRINT:INPUT "A&0 DE LA CORRECCION":I:INPUT"PERIODO DE LA CORRECCION":J  
3330 PRINT:PRINT"ENTRADA EN EL PERIODO":J:"DEL A&0":I:  
3340 EB=EB-E(J,I)  
3350 INPUT E(J,I):EB=EB+E(J,I):GOTO 3300  
3360 CLS:PRINT:PRINT"VALORES DE LAS DEMANDAS POR PERIODO (10+6 m3)":PRINT  
3370 FOR I=1 TO M  
3380 PRINT "DEMANDA EN EL PERIODO":I;  
3390 INPUT D(I):D3=D3+D(I)  
3400 NEXT I  
3410 PRINT:PRINT:INPUT"SE CONSIDERA EVAPORACION (SI=1/NO=2)":Z/  
3420 IF Z<>1 THEN EV=0:GOTO 3480  
3430 PRINT:PRINT"ALTURAS DE EVAPORACION POR PERIODO (Hev en [mm])":PRINT  
3440 FOR I=1 TO M  
3450 PRINT "ALTURA EN EL PERIODO":I;  
3460 INPUT IN(I):IN(I)=IN(I)/1000  
3470 NEXT I  
3480 PRINT:INPUT "CAPACIDAD SUPUESTA PARA EL FUNCIONAMIENTO":C  
3490 PRINT:INPUT "CONDICION INICIAL DE CAPACIDAD":V(0,1)  
3500 PRINT:PRINT"INICIO EL CALCULO ESPERE....."  
3510 FOR I=1 TO N  
3520 FOR J=1 TO M  
3530 IF Z<>1 THEN GOTO 3570  
3540 EL=(V(J-1,I)/K2)+(1/N2)  
3550 A=K1*(EL+N1)  
3560 EV=A*IN(J)*0.8:EE9=E9+EV  
3570 S(J,I)=D(J)+EV  
3580 VI=V(J-1,I)+E(J,I)-S(J,I)  
3590 IF VI<CZ THEN GOTO 3630  
3600 IF VI>C+CZ THEN GOTO 3670  
3610 V(I,J)=VI  
3620 GOTO 3700  
3630 V(J,I)=CZ  
3640 DB(J,I)=1:DB=DR+CZ-VI:S(J,I)=S(J,I)-CZ+VI  
3650 PRINT "DEFICIT EN EL PERIODO":J:"DEL A&0":I:"FALTANDO":CZ-VI:" (10+6 m3)  
3660 GOTO 3700  
3670 V(J,I)=CZ+C  
3680 D9(J,I)=1:D9=D9+VI-C-CZ  
3690 PRINT"DERRAME EN EL PERIODO":J:"DEL A&0":I:"EXCEDIENDO":VI-C-CZ:"(10+6 m3)  
3700 E7=E7+S(J,I):NEXT J  
3710 IF I=N THEN GOTO 3730  
3720 V(0,I+1)=V(M,I)  
3730 NEXT I  
3740 VV=0  
3750 CLS:PRINT" RESULTADO DEL FUNCIONAMIENTO"  
3760 D5=D3*N  
3770 PRINT:PRINT,"CAPACIDAD SUPUESTA (MM3)":C  
3780 PRINT,"CAPACIDAD DE AZOLVES (MM3)":CZ  
3790 PRINT,"CAPACIDAD INICIAL (MM3)":V(0,1)  
3800 PRINT:PRINT
```

```
3810 PRINT "TOTAL DEMANDADO (MM3)":D5
3820 PRINT "TOTAL ENTRADAS (MM3)":E8,"PORCENTAJE CON DEMANDA":(E8/D5)*100
3830 PRINT "TOTAL EVAPORADO (MM3)":E9,"PORCENTAJE CON DEMANDA":(E9/D5)*100
3840 PRINT "TOTAL EXTRAIDO (MM3)":E7,"PORCENTAJE CON DEMANDA":(E7/D5)*100
3850 PRINT "TOTAL DEFICIT (MM3)":D8,"PORCENTAJE CON DEMANDA":(D8/D5)*100
3860 PRINT "TOTAL DERRAMADO (MM3)":D9,"PORCENTAJE CON DEMANDA":(D9/D5)*100
3870 PRINT:PRINT:INPUT"DESEA TODO EL DESGLOSE DEL FUNCIONAMIENTO (SI=1/NO=2)":WB
3880 IF WB<>1 THEN GOTO 3990
3890 PRINT:PRINT"VOLUMEN","ENTRADA","SALIDA","DERRAME","DEFICIT"
3900 PRINT" (MM3) "," (MM3) "," (MM3) ","1=SI 0=NO","1=SI 0=NO"
3910 FOR I=1 TO N
3920 PRINT"A&O.-":I
3930 PRINT"CADA LINEA ES UN PERIODO"
3940 FOR J=1 TO M
3950 PRINT V(J,I),E(J,I),S(J,I),D9(J,I),D8(J,I)
3960 NEXT J
3970 PRINT
3980 NEXT I
3990 IF VV=1 THEN GOTO 4100
4000 PRINT:INPUT"DESEA IMPRESION DE RESULTADOS (SI=1 / NO=2)":W7
4010 IF W7=1 THEN GOSUB 4050
4020 INPUT"DESEA OTRA SIMULACION CON OTRA CAPACIDAD (SI=1 /NO=2)":WB
4030 IF WB<>1 THEN GOTO 20
4040 E7=0:D8=0:D9=0:E9=0:GOTO 3480
4050 REM SUBROUTINA DE IMPRESION
4060 SYSTEM"FORMS P=51 L=47
4070 SYSTEM"
4080 VV=1:SYSTEM"DUAL ON"
4090 GOTO 3750
4100 SYSTEM "DUAL OFF
4110 RETURN
4120 DATA 125,135,350,200,600,250,123,215,900,102,230,251,125,142,253,546,248,84
5,263,215,258,124,156,147,253,254,145,285,452,742,851,265,231,258,142,632,215,24
1,251,251,457,458,123,213,0,0,0,152,125,560,589,452,123,154,251,123,862,745,452,
126
4130 RUN "MENU"
```

B I B L I O G R A F I A

1. - Berezowsky v., Moises
Regresión Lineal y no Lineal.
Una breve discusión y aplicación
a un problema de Hidráulica.
Instituto de Ingeniería U.N.A.M.
2. - Bronson, Richard
Investigación de Operaciones.
Serie Shcaum
Ed. Mc Graw-Hill
Febrero 1984.
3. - C.F.E. "Manual de Diseño de Obras Civiles"
Sección A, Hidrotécnica, Capítulos A18, A210, A16 A29
México, 1983.
4. - Forsythe, Keenan, Organick, Stenberg
Programación BASIC.
Ed. Limusa.
México 1983.
5. - Linsley K, Ray
Franzini B., Joseph
Ingeniería de los Recursos Hidráulicos.
Ed. CECSA.
México, 1984.

- 6.- León Vizcaino, Luis Francisco.
Notas sobre el Diseño Hidráulico de Vertedores de Canal Lateral.
Apuntes de la Facultad de Ingeniería U.N.A.M.
1984.
- 7.- León Vizcaino, Luis Francisco.
Cámaras de Oscilación, Medidas Experimentales y Soluciones Numéricas.
Tesis de Licenciatura Facultad de Ingeniería U.N.A.M.
1984.
- 8.- Luthe, Olivera, Schutz
"Métodos Numéricos"
Ed. Limusa.
México, 1978.
- 9.- Nava Mastache Arturo.
Obtención de espectros en Fenómenos Hidráulicos.
Tesis de Maestría D.E.P.F.I. U.N.A.M.
Agosto 1984.
- 10.- Russel E., George
Hidráulica.
Ed. CECSA.
México, 1979.
- 11.- Sotelo Avila, Gilberto
Hidráulica General Vol. I
Fundamentos.
Ed. Limusa.
México, 1976.

- 12.- Sotelo Avila, Gilberto
Apuntes de Hidráulica II
Facultad de Ingeniería U.N.A.M.

- 13.- Streeter L., Victor
Wylie, E. Benjamin
Mecánica de Fluidos.
Mc Graw-Hill
México, 1983.

- 14.- Ven Te Chow.
Open Channel Hydraulics.
Mc Craw Hill
1982.