

Nº 61

2ES.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS NUMERICO DE FLUJO EN CANALES CON  
OBSTACULOS SUMERGIDOS UTILIZANDO  
ELEMENTO FINITO Y SU COMPROBACION  
EXPERIMENTAL

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A :

**FELIPE ALFONSO IBARRA SALGADO**



MEXICO, D. F.,

1992

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# I N D I C E

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 1.1 Antecedentes      | 2  |
| 1.2 Conceptos básicos | 3  |
| 1.3 Consideraciones   | 5  |
| 1.4 Flujo en canales  | 12 |

## CAPITULO II

### FORMULACION NUMERICA

|  |    |
|--|----|
| 2.1 Ecuación Laplace                                   | 15 |
| 2.2 Método de residuos pesados y elemento finito       | 16 |
| 2.3 Formulación débil                                  | 21 |
| 2.4 Condiciones de frontera y obtención de la solución | 23 |
| 2.5 Comprobación de resultados                         | 35 |

## CAPITULO III

### MODELO COMPUTACIONAL

|                    |    |
|--------------------|----|
| 3.1 Funcionamiento | 41 |
|--------------------|----|

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 3.2 Listado                        | 45  |
| <b>CAPITULO IV</b>                 |     |
| <b>RESULTADOS NUMERICOS</b>        |     |
| 4.1 Interpretación                 | 70  |
| 4.2 Tablas y figuras               | 75  |
| <b>CAPITULO V</b>                  |     |
| <b>RESULTADOS EXPERIMENTALES</b>   |     |
| 5.1 Características de las pruebas | 106 |
| 5.2 Obtención de los obstáculos    | 108 |
| 5.3 Resultados experimentales      | 119 |
| <b>CAPITULO VI</b>                 |     |
| COMPARACION DE RESULTADOS          | 129 |
| <b>CAPITULO VII</b>                |     |
| CONCLUSIONES                       | 139 |
| APENDICE                           | 142 |
| BIBLIOGRAFIA                       | 146 |

# C A P I T U L O I

## **INTRODUCCION.**

### **1.1 ANTECEDENTES**

A principios de este siglo, el estudio de los fluidos se realizaba, esencialmente, por dos grupos de personas, ingenieros hidráulicos y matemáticos. Los hidráulicos trabajaron siempre desde un punto de vista empírico; y los matemáticos, se concentraron en el desarrollo analítico. La amplia y frecuentemente ingeniosa experimentación de los primeros, ha proporcionado mucha información de innegable valor para los ingenieros prácticos de hoy en día. No obstante, al carecer de una teoría general, estos resultados fueron restringidos y de un limitado valor al enfrentar nuevos problemas. Entre tanto, los matemáticos, al no disponer de información experimental, se vieron forzados a establecer hipótesis simplificadoras para obtener resultados muy alejados, con mucha frecuencia de la realidad.

Investigadores tan eminentes como Reynolds y Froude, consideraron evidente que el estudio de los fluidos debía ser una mezcla de teoría y experimentación.

## 1.2 CONCEPTOS BASICOS

Un canal abierto es un ducto en el que fluye un líquido con una superficie libre. En contraste con el líquido en tubería, donde el flujo se produce normalmente a presión; el líquido que lleva un canal abierto no ejerce presión a parte de la que provoca su propio peso y la presión de la atmósfera.

Los canales abiertos pueden ser naturales o artificiales. Las corrientes subterráneas en cavernas son consideradas canales abiertos, en tanto tengan una superficie libre. Por lo común, los canales naturales tienen una sección transversal irregular, lo mismo que su alineación y la rugosidad de sus paredes. Las corrientes de agua en materiales erosionables pueden cambiar con frecuencia o en forma continua su ubicación y su sección transversal. Estas irregularidades y cambios en las corrientes naturales presentan problemas de ingeniería, por ejemplo, en la navegación y el control de inundaciones, que se encuentran más allá del alcance de este trabajo que se ocupa de canales rectangulares artificiales.

Se construyen canales artificiales para varios fines:

- 1.- Desarrollo de energía eléctrica: se lleva agua de los arroyos o las presas a los sistemas de captación situados por encima de las plantas hidroeléctricas.
- 2.- Riego: se lleva agua de embalses o arroyos a depósitos o estanques de almacenamiento, o directamente para regar las

tierras.

3.- Suministro municipal de agua: se toma agua de arroyos o embalses de almacenamiento hasta estanques que dan suministro a los sistemas de distribución de agua en las ciudades.

4.- Alcantarillado: el alcantarillado de las ciudades, aunque por lo común se trata de tuberías o ductos cubiertos, se diseña en la forma de canales abiertos, porque se supone que no llevarán un flujo completo, sino que tendrán una superficie libre bajo presión atmosférica.

5.- Drenaje: las tierras bajas, pantanosas o anegadas se hacen con frecuencia más productivas mediante el drenaje a través de zanjas abiertas o tendiendo y cubriendo tuberías que pueden llevar o no un flujo completo.

6.- Control de inundaciones: la protección de ciudades o terrenos valiosos contra las inundaciones requiere a menudo el mejoramiento de un canal natural mediante la limpieza o la pavimentación para incrementar su capacidad, o mediante la construcción de canales adicionales.

Todas las ciencias de la ingeniería constituyen un compromiso entre la realidad física y las simplificaciones necesarias exigidas para su estudio matemático.



### 1.3 CONSIDERACIONES

Ahora se estudiará un flujo idealizado, que es asequible al tratamiento matemático y que al mismo tiempo es útil para la comprensión de ciertos flujos reales. Las hipótesis básicas para el estudio que sigue, son las expuestas a continuación:

a) BIDIMENSIONAL.- Se distingue por la condición de que todas las propiedades y características del flujo son funciones cartesianas, por ejemplo, de "x" y "y", por lo tanto éstas no varían a lo largo del eje "z" en un instante dado. En todos los planos normales al eje "z" y en un instante determinado, existirá la misma configuración de las líneas de corriente.

b) INCOMPRESIBILIDAD.- La densidad y el peso específico se consideran como constantes.

c) IRROTACIONALIDAD.- Esto implica un fluido no viscoso, cuyas partículas se están moviendo inercialmente sin rotación.

d) FLUJO PERMANENTE.- Esto significa que todas las propiedades y características del flujo son independientes del tiempo.

Un fluido se considera estático si todas las partículas del mismo están en reposo o tienen la misma velocidad constante con relación a un plano de referencia inercial.

Al considerarse en condiciones estáticas diversos tipos de

fluidos, se encuentra que ciertos fluidos varían muy poco de densidad a pesar de estar sometidos a grandes presiones. Los fluidos que se comportan de tal manera están invariablemente en estado líquido; bajo tales circunstancias, el fluido se llama incompresible.

Entendemos por superficie libre, a la superficie de separación entre un líquido y un gas o entre dos líquidos inmiscibles, en este caso un líquido y un gas que será el aire.

Un flujo se representa comúnmente de forma gráfica mediante las líneas de corriente. Estas son envolventes de los vectores velocidad de las partículas en el flujo. Esto se ilustra en la figura 1.1, cuando el flujo es permanente, las líneas de corriente permanecen fijas en el tiempo. En este caso las partículas fluidas se moverán a lo largo de trayectorias coincidentes con las líneas de corriente.

El conjunto de líneas de corriente que pasan por el contorno de un área infinitesimal, en un instante determinado, forman un tubo que es muy útil en el estudio de fenómenos en los fluidos. Se le llama tubo de corriente o filete fluido, uno de los cuales se representa en la figura 1.2. De la definición de línea de corriente, es evidente que no existe paso de flujo a través de la superficie lateral de un tubo de corriente. Un tubo de corriente se comporta como un conducto de paredes impermeables y espesor nulo y de sección recta infinitesimal. Un número infinito de tubos de corriente adyacentes dan lugar a un tubo de sección recta

finita llamando frecuentemente vena fluida ó vena líquida.

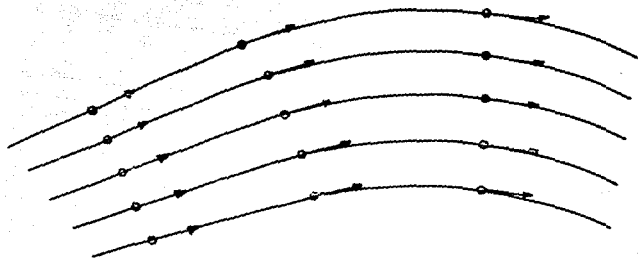
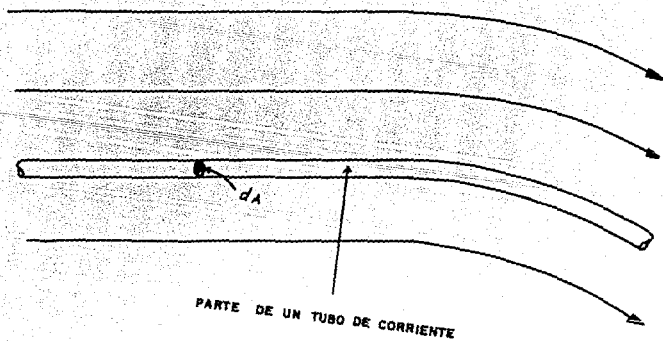


FIGURA 1.1.



PARTE DE UN TUBO DE CORRIENTE

FIGURA 1.2.

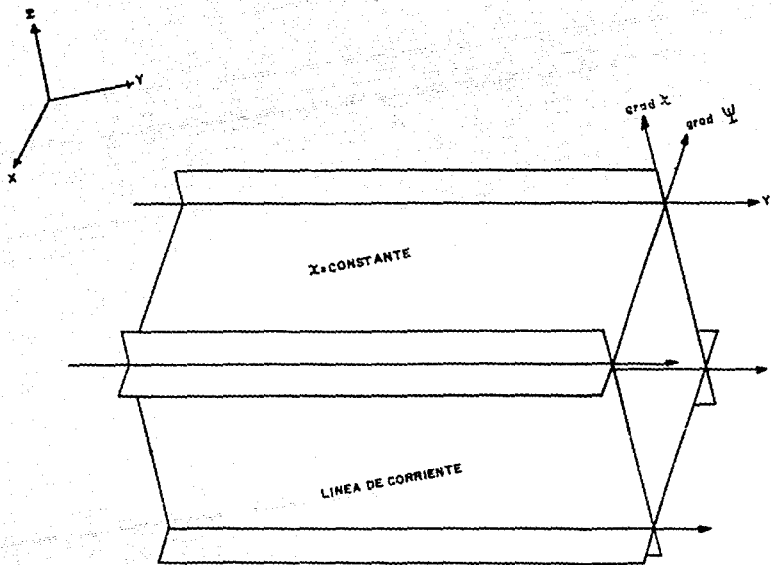


FIGURA 1. 9. SUPERFICIE DE CORRIENTE

En la Fig. 1.3 se puede observar un tubo de flujo formado por dos sistemas diferentes de superficie de flujo ( $\chi$ ) cuyas intersecciones coinciden obviamente con líneas de corriente; si el flujo es no permanente o permanente, bidimensional, incompresible, viscoso o no viscoso, rotacional o irrotacional, entonces el valor de la línea de corriente será constante a lo largo de la intersección. Evidentemente esta misma consideración es válida para un flujo permanente en cualquier instante.

En el caso de un flujo bidimensional, la familia de planos paralelos (sobre los cuales la configuración del flujo es idéntica) se hace coincidir con el sistema de superficies " $\chi = \text{constante}$ ", donde el eje " $z$ " es perpendicular a dicha familia. Con esa disposición, el vector " $\text{grad } \chi$ " es el mismo vector unitario " $k$ " y la ecuación que define la velocidad es:

$$V = \text{grad } \psi \times \text{grad } \chi \quad (1.1)$$

$$V = \text{grad } \psi \times k$$

cuyas componentes son:

$$V_x = - \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad (1.2a)$$

$$V_y = \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (1.2b)$$

Para el flujo bidimensional la ecuación diferencial de la línea de corriente, según la ecuación siguiente es:

$$\frac{dx}{V_x(x,y,t_0)} = \frac{dy}{V_y(x,y,t_0)} \quad (1.3)$$

donde

$$V_x dy - V_y dx = 0$$

Substituyendo las ecuaciones 1.2 en esta ecuación, se obtiene

$$d\psi = \frac{\partial \psi}{\partial x} dx + \frac{\partial \psi}{\partial y} dy = 0 \quad (1.4)$$

o bien, por definición de gradiente

$$d\psi = \text{grad } \psi \cdot ds = 0 \quad (1.5)$$

Así, obviamente, el vector diferencial de arco sobre una línea de corriente es perpendicular a "grad  $\psi$ " y la ecuación de la línea será " $\psi(x,y) = \text{constante}$ ", cuya representación es una familia de líneas de corriente (como se muestra en la Fig. 1.4) cada línea de corriente no es más que la intersección de la superficie " $\psi$ " que corresponde con el plano coordenado " $x - y$ ".

Por otra parte, si " $n$ " es un vector unitario en la dirección normal a las líneas de corriente, por definición de derivada direccional se tiene que:

$$\text{grad } \psi \cdot n = \frac{\partial \psi}{\partial n} \quad (1.6)$$

Pero, toda vez que "grad  $\psi$ " y "n" son paralelos, "grad  $\psi$  n" (producto punto) es igual al módulo de "grad  $\psi$ " que de acuerdo con las ecuaciones 1.6, vale

$$\begin{aligned} |\text{grad } \psi| &= \left[ \left( \frac{\partial \psi}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \psi}{\partial y} \right)^2 \right]^{(1/2)} \\ &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = V \end{aligned} \quad (1.7)$$

Entonces

$$\frac{\partial \psi}{\partial n} = V \quad (1.8)$$

Sin embargo, de esta ecuación "v dn" es el gasto que pasa entre dos líneas de corriente " $\psi$ " y " $\psi + d\psi$ " (Fig. 1.4) por unidad de ancho normal al plano del flujo, esto es:

$$\begin{aligned} q &= Q/b \\ dq &= d\psi = V dn \end{aligned} \quad (1.9)$$

por lo cual el gasto entre dos líneas de corriente " $\psi_1$ " y " $\psi_2$ " es:

$$q = \left[ \psi \right]_1^2 = \psi_2 - \psi_1 \quad (1.10)$$

La ecuación 1.10 indica que el gasto que circula entre dos líneas de corriente es igual a la diferencia de los valores que

adquiere la función de corriente en esas líneas.

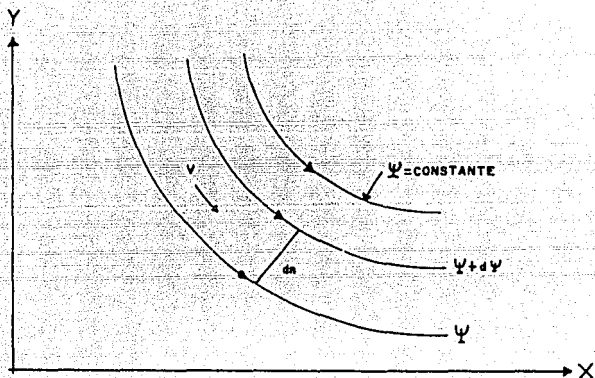


FIGURA. 1.4 FAMILIA DE LINEAS DE CORRIENTES.

#### 1.4 FLUJO EN CANALES

El flujo de un fluido en un canal, se caracteriza por la exposición de una superficie libre a la presión atmosférica. Por esta razón, el fluido respectivo es siempre un líquido, por lo común agua.

Los problemas relacionados con el flujo en canales, representan una alta proporción del trabajo del ingeniero hidráulico y la aparente simplicidad resultante por la superficie libre es irreal, debido al incremento en la complejidad de dicho



flujo en comparación con el de un conducto a presión. El agua que fluye en un canal se ve afectada por todas las fuerzas que intervienen en el flujo dentro de un tubo, con la adición de las fuerzas de gravedad y de tensión superficial que son la consecuencia directa de la superficie libre. En realidad la superficie libre se debe considerar como una intercara entre dos fluidos, el superior, un gas usualmente estacionario (o en movimiento) y el inferior, un líquido en movimiento. Las fuerzas de gravedad y tensión superficial resistirán cualquier fuerza tendiente a distorsionar esta intercara, la cual siempre constituirá una frontera sobre la cual el ingeniero tiene control parcial.

Tomando en cuenta todo esto, se deduce la gran importancia de la aplicación de un método numérico, como lo es el método del elemento finito, con el cual podemos llegar a tener un gran ahorro en el tiempo de solución del problema dado.

En el presente trabajo se resolverá el flujo en un canal rectangular de pendiente constante con un obstáculo triangular sumergido, por el método de elemento finito, y se compararán los resultados con pruebas hechas en laboratorio. Se considera que el flujo es estacionario, bidimensional, e irrotacional, el fluido será tratado como no viscoso e incompresible, la gravedad será tomada en cuenta.

## C A P I T U L O   I I

## FORMULACION NUMERICA.

### 2.1 ECUACION DE LAPLACE

Se partirá de la definición de función corriente considerando que cumple con:

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad v = - \frac{\partial \psi}{\partial x}$$

Tomando la ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

Si sustituimos los valores de "u" y "v" en la ecuación de continuidad queda:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{\partial \psi}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ - \frac{\partial \psi}{\partial x} \right] = 0 \equiv \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y} - \frac{\partial^2 \psi}{\partial y \partial x}$$

Tomando ahora en cuenta la condición de irrotacionalidad:

$$\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} = 0$$

Si sustituimos los valores de "u" y "v" en la ecuación de irrotacionalidad tendremos:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ -\frac{\partial \psi}{\partial x} \right] - \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{\partial \psi}{\partial y} \right] = \boxed{\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0} \quad (*)$$

Con lo que se llega a que la formulación matemática de este tipo de flujos debe cumplir con la ecuación de Laplace(\*).

## 2.2 METODO DE RESIDUOS PESADOS Y ELEMENTO FINITO

Por lo común las soluciones aproximadas de ecuaciones diferenciales satisfacen sólo parte de las condiciones del problema, por ejemplo, puede ser que la ecuación diferencial no se satisfaga en todos los puntos del mismo.

En general, la solución aproximada se expande en un conjunto de funciones con parámetros desconocidos; Una manera de determinar dichos coeficientes es aplicando el Método de los Residuos Pesados. En este método se trabaja directamente con la ecuación diferencial y con sus condiciones de frontera.

El Método de Residuos Pesados es un método general que se utiliza para obtener la solución de ecuaciones diferenciales parciales.

La solución que es a priori desconocida, se expande en un

conjunto de funciones de prueba que son definidas pero que tienen parámetros, constantes o variables que se pueden ajustar. Estos coeficientes se escogen de tal manera que den la mejor aproximación a la ecuación diferencial.

Sea la ecuación diferencial

$$L(u) = f \quad \text{o} \quad L(u) - f = 0$$

donde "L" es cualquier operador diferencial.

En el esquema de Residuos Pesados la función desconocida "u" se sustituye por:

$$u(x) \approx \hat{u}(x) = \sum_{j=1}^N U_j \phi_j(x)$$

donde "U<sub>j</sub>", j=1,2,...,"N" son los coeficientes indeterminados de los que se habló en el párrafo anterior y "φ", j=1,2,...,"N" son funciones que se pueden definir tanto en el espacio como en el tiempo.

En el Método del Elemento Finito las funciones de prueba, también conocidas como funciones interpolantes, funciones de forma o funciones de base, se escogen que sean funciones polinomiales que satisfagan algunas condiciones de frontera impuestas en el problema.

Si sustituimos "u(x)" por "ŭ(x)" en nuestra ecuación, se tendrá un residuo:

$$L(u(x)) - f = R(x)$$

pues "u" no es la solución real.

Como ya se mencionó anteriormente, el objetivo del esquema de Residuos Pesados es determinar los coeficientes "U<sub>j</sub>" de tal manera que este residuo sea minimizado. Una manera bastante directa de lograr esto sería simplemente igualar la integral de "R(x)" a "0", es decir:

$$\int_{\Omega} R(x) d\Omega = 0$$

pero esta manera de proceder sólo generaría una ecuación para los "N" coeficientes desconocidos "U<sub>j</sub>". Esto puede ser modificado a nuestro favor si se introducen las "funciones de peso":

$$W_i(x), \quad i = 1, 2, \dots, N$$

Ahora, si igualamos cada una de las integrales de los "residuos pesados" a "0", nos proporcionará "N" ecuaciones independientes:

$$\int_{\Omega} R(x) W_i(x) d\Omega = 0 \quad i = 1, 2, \dots, N$$

En teoría, el sistema anterior puede ser resuelto para los "N" coeficientes y representa la ecuación general que describe el Método de los Residuos Pesados. Dependiendo cómo se definan tanto

las funciones base como las funciones de peso, se tendrán diferentes esquemas numéricos.

Como ya se expuso anteriormente, la función solución desconocida a priori se aproxima por un conjunto de funciones de prueba que, en Elemento Finito, son de tipo polinomial. Ahora bien dependiendo el grado del polinomio que se utilice se tendrán funciones base, lineales, cuadráticas, cúbicas etc. (Fig. 2.1). Por ejemplo para tener una configuración como la de la figura 2.2.

Si la función de peso se escoge igual a la función base se tiene el esquema Bubnov-Galerkin, que popularmente se conoce sólo con el nombre de Galerkin debido a que en 1915 el ingeniero ruso del mismo nombre lo desarrolló, pero Bubnov (también ruso), aplicó el mismo método en 1913. Si la función de peso es diferente a la función base se tendrá el esquema Petrov-Galerkin.

En este caso se analizará el flujo de líquidos, en particular el agua.

El método de elementos finitos transforma la ecuación diferencial parcial, en un sistema de ecuaciones algebraicas lineales, que pueden resolverse con relativa facilidad con ayuda de una computadora.

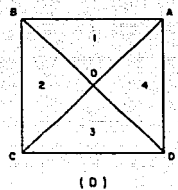
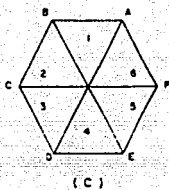
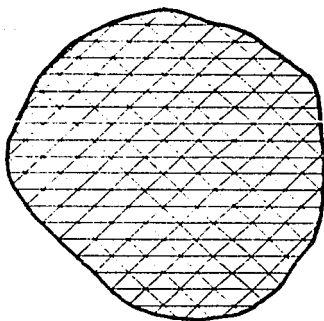


FIG. 2.1 AGRUPACION DE ELEMENTOS FINITOS PARA FORMAS  
 C) HEXAGONOS D) CUADRILATEROS

( A )



( B )

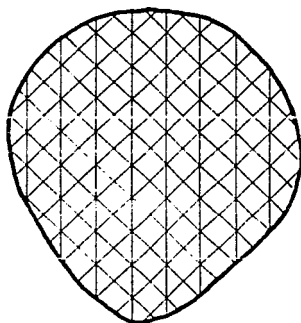


FIG. 2.2 DIVISION DEL CAMPO DE FLUJO EN ELEMENTOS FINITOS



### 2.3 FORMULACION DEBIL

Primeramente se relaja la función continua para encontrar una función más sencilla de resolver llamada formulación débil de la ecuación. posteriormente se realiza la discretización del dominio, para lo cual se divide la región en elementos colocando nodos sobre los límites de la región y dentro de la misma, y uniéndolos de tal manera que se formen figuras geométricas, en este caso triángulos. Cada triángulo que se forme es un elemento (Lo más recomendable es que sean triángulos equiláteros). Como en elemento finito se trabaja con cada elemento en forma independiente, las funciones son continuas dentro de cada elemento, su derivada tal vez no lo sea, pero tiene que ser integrable.

Se escogen unas funciones llamadas de prueba o base y otras llamadas de forma o de interpolación. Para el presente trabajo las funciones de prueba y de base son iguales para poder usar el esquema Bubnov-Galerkin.

Para reducir el orden de la ecuación diferencial se integrará sobre el dominio, para lo que se usarán los teoremas de Green-Gauss y de la divergencia, haciendo equivalencias de las variables del teorema de Green-Gauss con las variables del producto de la función corriente con la función base y sustituyendo estas igualdades en la integral que se resolverá, lo

que nos dejará como única incógnita el valor de la función corriente, con lo que obtenemos la formulación débil de la ecuación original.

Las funciones base se escogen de tal manera que al evaluar la función en algún nodo, el valor que se obtendrá es "1" en dicho nodo y "0" en el resto, el resultado que nos da al evaluar cada elemento forma la llamada matriz local que será del número de nodos por elemento por el número de nodos por elemento, en el caso de usar elementos triangulares es de  $3 \times 3$ .

Como ya se ha mencionado, en elemento finito se trabaja con cada elemento en forma independiente (la función se integra para cada elemento), obteniendo como resultado la matriz local de cada elemento. No tiene caso integrar en toda la región, pues en casi todos lados esa función vale "0", entonces se integra sobre los elementos y posteriormente se suma sobre todos los elementos.

Se conoce como coordenadas globales de un nodo a las coordenadas dentro del sistema real de coordenadas, pero para mayor facilidad se pueden utilizar coordenadas locales, referidas a un sistema local de coordenadas.

El cambio de coordenadas globales a locales y viceversa se hace usando funciones de mapeo, ya que las coordenadas locales se encuentran en función de "r" y "s", y las globales se encuentran en función de "x" y "y".

Cuando se terminan de evaluar todos los elementos y se tienen las matrices locales, éstas se ensamblan en una matriz llamada global, en la que se colocará la contribución de cada elemento, representado por la matriz local, según la posición de los nodos en el sistema global o real (la matriz global es del número total de nodos por el número total de nodos).

Una vez ensamblada la matriz global se aplicarán las condiciones de frontera en los puntos correspondientes, estos puntos y sus condiciones se dan debido a las condiciones físicas del problema.

Cuando ya se aplicaron las condiciones de frontera al problema se procederá a resolver el sistema de ecuaciones contenido en la matriz global y el vector de términos independientes para obtener la solución.

## 2.4 CONDICIONES DE FRONTERA Y OBTENCION DE LA SOLUCION

Las condiciones de frontera del problema físico que representa un canal rectangular con un obstáculo sumergido en cuanto a sus líneas de flujo se presentan en la figura 2.3, en la que podemos observar que el valor de la línea de corriente en la plantilla del canal es igual a cero debido a que el gasto está dado por " $q_{\text{superficie}} - q_{\text{plantilla}} = q$ " por lo que en la plantilla el gasto será "0". la plantilla del canal representa el eje horizontal del sistema coordenado que se usará. También en la

superficie del obstáculo el valor de la línea de corriente es igual a cero. así mismo el valor de la línea de flujo en la superficie libre del agua es igual al gasto por unidad de ancho, esto se debe a que la superficie libre del agua es el punto más alto del perfil formado en el canal. no puede haber ningún punto que tenga un valor mayor al gasto.

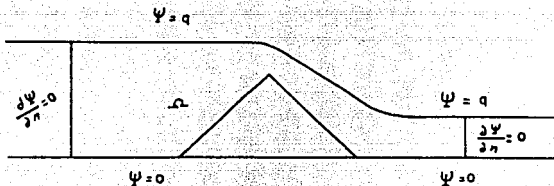


FIGURA 2.3

FIGURA 2.3

Recordando:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \psi}{\partial n} &= \frac{\partial \psi}{\partial x} \bar{n}_x + \frac{\partial \psi}{\partial y} \bar{n}_y \\ &= u \bar{n}_x + v \bar{n}_y \\ &= \vec{v} \cdot \bar{n} \end{aligned}$$

Tomando la ecuación de Bernoulli en la superficie libre del agua.

$$\frac{1}{2} \left[ \frac{\partial \psi}{\partial n} \right]^2 + \rho \gamma = \rho H_0$$

Siendo "H<sub>0</sub>" la carga total.

Para obtener la formulación débil, usando los teoremas de la Divergencia y de Green-Gauss se tiene:

$$\int_{\Omega} \beta (\vec{\nabla} \cdot \vec{\omega}) \, d\Omega = \int_{\gamma} \beta \vec{\omega} \cdot \bar{n} \, d\gamma - \int_{\Omega} (\vec{\nabla} \beta \cdot \vec{\omega}) \, d\Omega \quad (2.1)$$

donde

$$\beta = v_i$$

$$\vec{\omega} = \frac{\partial \psi}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial \psi}{\partial y} \vec{j}$$

nos queda

$$\int_{\Omega} v_i \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{\partial \psi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{\partial \psi}{\partial y} \right] \right] d\Omega = 0$$

$$\int_{\Omega} v_i \left[ \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right] d\Omega = 0$$

sustituyendo estos valores en el lado derecho de la ecuación 2.1 tendremos:

$$\int_{\gamma} v_i \left[ \frac{\partial \psi}{\partial x} i + \frac{\partial \psi}{\partial y} j \right] \cdot \vec{n} d\gamma - \int_{\Omega} \left[ \frac{\partial v_i}{\partial x} \frac{\partial \psi}{\partial x} + \frac{\partial v_i}{\partial y} \frac{\partial \psi}{\partial y} \right] d\Omega = 0$$

$$\int_{\gamma} v_i \frac{\partial \psi}{\partial \gamma} d\gamma = \int_{\Omega} \left[ \frac{\partial v_i}{\partial x} \frac{\partial \psi}{\partial x} + \frac{\partial v_i}{\partial y} \frac{\partial \psi}{\partial y} \right] d\Omega$$

por lo tanto:

$$\int_{\Omega} \left[ \frac{\partial v_i}{\partial x} \frac{\partial \psi}{\partial x} + \frac{\partial v_i}{\partial y} \frac{\partial \psi}{\partial y} \right] d\Omega$$

tomando Bubnov-Galerkin:

$$\psi = \sum_j (x,y) \psi_j$$

sustituyendo " $\psi$ " en la ecuación anterior obtendremos:

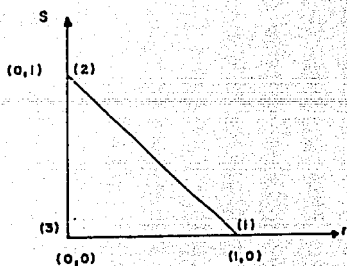
$$\int_{\Omega} \left[ \frac{\partial v_i}{\partial x} \frac{\partial f_j}{\partial x} \psi + \frac{\partial v_i}{\partial y} \frac{\partial f_j}{\partial y} \psi \right] d\Omega = 0$$

como los valores de " $v_i$ " y de " $f_j$ " son dados la única incognita es " $\psi$ "

Por lo tanto:

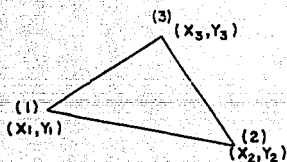
$$[K] \{ \psi \} = \{ 0 \}$$

tomando triángulos lineales (Fig. 2.4):



Triángulos locales

(A)



Triángulos Globales

(B)

FIGURA 2.4

donde

$$\begin{aligned}x &= f_j X_j = f_1 X_1 + f_2 X_2 + f_3 X_3 \\y &= f_j Y_j = f_1 Y_1 + f_2 Y_2 + f_3 Y_3\end{aligned}$$

teniendo que

$$f_j(r,s) = \begin{cases} r \\ s \\ 1 - r - s \end{cases}$$

si obtenemos las derivadas parciales de la función " $f_j$ " con respecto a " $r$ " y a " $s$ " obtendremos:

$$\frac{\partial f_j}{\partial r} = \begin{cases} 1 \\ 0 \\ -1 \end{cases}$$

$$\frac{\partial f_j}{\partial s} = \begin{cases} 0 \\ 1 \\ -1 \end{cases}$$

si decimos que " $v_i = f_j$ " tenemos:

$$\int_{\Omega} \left[ \frac{\partial f_i}{\partial x} \frac{\partial f_j}{\partial x} + \frac{\partial f_i}{\partial y} \frac{\partial f_j}{\partial y} \right] v_j d\Omega = 0$$

usando la regla de la cadena

$$\frac{\partial f_i}{\partial x} = \frac{\partial f_i}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial x} + \frac{\partial f_i}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial x}$$



de esto podemos decir que:

$$\frac{\partial f_i}{\partial r} = \frac{\partial f_i}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial r} + \frac{\partial f_i}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial r} \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial s} = \frac{\partial f_i}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial s} + \frac{\partial f_i}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial s} \quad (2.3)$$

como:

$$x = f_j(r, s) X_j$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial x}{\partial r} = \frac{\partial f_1}{\partial r} X_1 + \frac{\partial f_2}{\partial r} X_2 + \frac{\partial f_3}{\partial r} X_3 \\ \frac{\partial y}{\partial r} = \frac{\partial f_1}{\partial r} Y_1 + \frac{\partial f_2}{\partial r} Y_2 + \frac{\partial f_3}{\partial r} Y_3 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial x}{\partial s} = \frac{\partial f_1}{\partial s} X_1 + \frac{\partial f_2}{\partial s} X_2 + \frac{\partial f_3}{\partial s} X_3 \\ \frac{\partial y}{\partial s} = \frac{\partial f_1}{\partial s} Y_1 + \frac{\partial f_2}{\partial s} Y_2 + \frac{\partial f_3}{\partial s} Y_3 \end{array} \right.$$

partiendo de las ecuaciones 2.2 y 2.3

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial f_i}{\partial r} \\ \frac{\partial f_i}{\partial s} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial r} & \frac{\partial y}{\partial r} \\ \frac{\partial x}{\partial s} & \frac{\partial y}{\partial s} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial f_i}{\partial x} \\ \frac{\partial f_i}{\partial y} \end{Bmatrix}$$

de aquí tenemos que:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial r} & \frac{\partial y}{\partial r} \\ \frac{\partial x}{\partial s} & \frac{\partial y}{\partial s} \end{bmatrix}$$

la cual se conoce como matriz Jacobiana.

Sustituyendo valores en las derivadas:

$$\frac{\partial x}{\partial r} = X_1 - X_2 - X_{12}$$

$$\frac{\partial y}{\partial r} = Y_1 - Y_2 - Y_{12}$$

$$\frac{\partial x}{\partial s} = X_2 - X_3 - X_{23}$$

$$\frac{\partial y}{\partial s} = Y_2 - Y_3 - Y_{23}$$

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial f_i}{\partial r} \\ \frac{\partial f_i}{\partial s} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{12} & Y_{12} \\ X_{23} & Y_{23} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial f_i}{\partial x} \\ \frac{\partial f_i}{\partial y} \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} X_{12} & Y_{12} \\ X_{22} & Y_{22} \end{bmatrix}$$

que es la matriz Jacobiana.

Para poder obtener  $\frac{\partial f_i}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial f_i}{\partial y}$  calculamos la matriz inversa de la matriz Jacobiana:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_i}{\partial x} \\ \frac{\partial f_i}{\partial y} \end{bmatrix} = \frac{1}{|J|} \begin{bmatrix} Y_{22} & -Y_{12} \\ -X_{22} & X_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial f_i}{\partial r} \\ \frac{\partial f_i}{\partial s} \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{|J|} \begin{bmatrix} Y_{22} & Y_{21} \\ X_{22} & X_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial f_i}{\partial r} \\ \frac{\partial f_i}{\partial s} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x} \\ \frac{\partial f_1}{\partial y} \end{bmatrix} = \frac{1}{|J|} \begin{bmatrix} Y_{22} & Y_{21} \\ X_{22} & X_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial r} \\ \frac{\partial f_1}{\partial s} \end{bmatrix}$$

$$|J| = X_{12} Y_{22} - X_{22} Y_{12}$$

de donde

$$\frac{\partial f_1}{\partial x} = \frac{1}{|J|} \left[ Y_{22} \frac{\partial f_1}{\partial r} + Y_{21} \frac{\partial f_1}{\partial s} \right]$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial y} = \frac{1}{|J|} \left[ X_{22} \frac{\partial f_1}{\partial r} + X_{12} \frac{\partial f_1}{\partial s} \right]$$

sustituyendo en la derivada de "f" queda :

$$\frac{\partial f_1}{\partial x} = \frac{1}{|J|} \begin{bmatrix} Y_{22} \\ Y_{21} \\ -Y_{12} - Y_{21} = Y_{12} \end{bmatrix}$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial y} = \frac{1}{|J|} \begin{bmatrix} X_{22} \\ X_{12} \\ -X_{22} - Y_{12} = Y_{21} \end{bmatrix}$$

sustituyendo en la integral

$$\int_{\Omega} \left[ \frac{\partial f_i}{\partial x} \frac{\partial f_j}{\partial x} + \frac{\partial f_i}{\partial y} \frac{\partial f_j}{\partial y} \right] \psi \, d\Omega = 0$$

tenemos para cada elemento:

$$\int_{\bullet} \left[ \frac{1}{|J|} \begin{Bmatrix} Y_{23} \\ Y_{31} \\ Y_{12} \end{Bmatrix} \frac{1}{|J|} \langle Y_{23}, Y_{31}, Y_{12} \rangle + \frac{1}{|J|} \begin{Bmatrix} X_{32} \\ X_{13} \\ X_{21} \end{Bmatrix} \frac{1}{|J|} \langle X_{32}, X_{13}, X_{21} \rangle \right] \psi \, dA_{\bullet}$$

$$\int_{\bullet} \frac{1}{|J|^2} \left[ \begin{Bmatrix} Y_{23} \\ Y_{31} \\ Y_{12} \end{Bmatrix} \langle Y_{23}, Y_{31}, Y_{12} \rangle + \begin{Bmatrix} X_{32} \\ X_{13} \\ X_{21} \end{Bmatrix} \langle X_{32}, X_{13}, X_{21} \rangle \right] \psi \, dA_{\bullet}$$

$$\int_{\bullet} \frac{1}{|J|^2} \left[ \begin{array}{ccc} Y_{23} Y_{23} & Y_{23} Y_{31} & Y_{23} Y_{12} \\ Y_{31} Y_{23} & Y_{31} Y_{31} & Y_{31} Y_{12} \\ Y_{12} Y_{23} & Y_{12} Y_{31} & Y_{12} Y_{12} \end{array} + \begin{array}{ccc} Y_{32} Y_{32} & Y_{32} Y_{13} & Y_{32} Y_{21} \\ Y_{13} Y_{32} & Y_{13} Y_{13} & Y_{13} Y_{21} \\ Y_{21} Y_{32} & Y_{21} Y_{13} & Y_{21} Y_{21} \end{array} \right] \psi \, dA_{\bullet}$$

$\downarrow$   
 $K_x$

$\downarrow$   
 $K_y$

como en este caso " $|J|$ " y las matrices son constantes :

$$\frac{A_{\bullet}}{|J|^2} \left[ \left[ K_x \right] + \left[ K_y \right] \right] \quad (2.4)$$

en general:

$$dA_0 = |J| dr ds$$

$$\int dA_0 = \int |J| dr ds$$

con  $|J| = \text{constante}$

$$\int dA_0 = \frac{1}{2} |J|$$

por lo que la ecuación 2.4 queda:

$$\frac{1}{2|J|} \left[ \left[ K_x \right] + \left[ K_y \right] \right]$$

o también haciendo:

$$|J| = 2 A_0 \quad \text{queda}$$

$$\frac{1}{4A_0} \left[ \left[ K_x \right] + \left[ K_y \right] \right]$$

esta última ecuación es usada en el modelo de computadora para su solución.

### 3.5 COMPROBACION DE RESULTADOS

Para poder comprobar si los resultados numericos son correctos, se revisa que los valores obtenidos en el programa cumplan con las condiciones de frontera, para lo que se verificarán solo los puntos de la superficie libre del flujo usando la ecuacion de la energia especifica, encontrando que no existe carga de presion en la superficie, es decir que " $P/\gamma$ " es igual a "0" (ver Fig. 2.5).

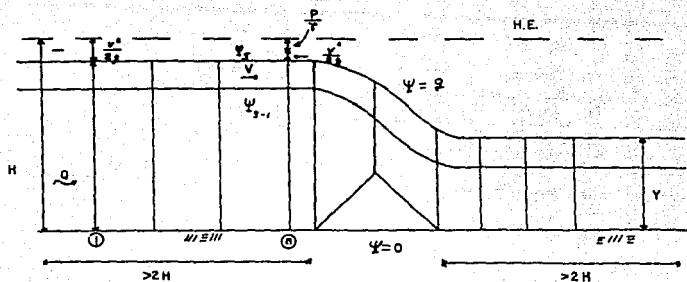


FIGURA 2.5

En donde se observa que en la superficie libre, el valor de la función corriente " $\psi = q$ ", siendo " $q$ " el gasto unitario.

En la figura 2.5 " $H$ " es la carga total de energía en el punto inicial, lugar en el que se conoce la altura del tirante, por consiguiente se puede conocer cual es la carga de velocidad.

Tomando la ecuación de Bernoulli entre dos puntos del flujo y despreciando pérdidas por fricción, obtendremos:

$$\frac{P_i}{\gamma} + Z_i + \frac{V_i^2}{2g} = \frac{P_n}{\gamma} + Z_n + \frac{V_n^2}{2g} = H \quad (2.5)$$

Considerando que la plantilla del canal coincide con el eje horizontal del sistema coordenado, de la ecuación 2.5 se puede sustituir el valor de " $Z$ " por el del tirante, quedando como:

$$H = y + \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} \quad (2.6)$$

Ahora bien, si se considera la condición de presión en la superficie libre tenemos que " $P/\gamma = 0$ ", por lo que

$$H = y + \frac{V^2}{2g} \quad (2.7)$$



Considerando la condición de presión en la superficie libre del agua y pasando el valor de "H" del lado derecho:

$$0 = y + \frac{v^2}{2g} - H \quad (2.8)$$

por lo que para poder saber si el resultado del valor obtenido numéricamente para "y" es el correcto tendremos que evaluar la siguiente ecuación:

$$\frac{P_a}{\gamma} - H - y - \frac{v^2}{2g} \quad (2.9)$$

La que debe ser igual a cero cuando el tirante "y" es el correcto.

Para lograr que se cumpla lo anterior se debe revisar primeramente el valor de la velocidad, debido a que se trata de un canal rectangular se tiene que:

$$v = \frac{q}{y} \quad (2.10)$$

sustituyendo la ecuación 2.10 en la ecuación 2.9.

$$\frac{P}{\gamma} = H - y - \frac{q^2}{2\theta y^2} \quad (2.11)$$

La ecuación debe cumplir con:

$$\frac{\partial P}{\partial y} = 0$$

tomando la derivada parcial en la ecuación 2.11 con respecto a "y" e igualando a cero

$$\frac{1}{\gamma} \frac{\partial P}{\partial y} = 0 \quad (2.12)$$

Derivando parcialmente el lado derecho de la ecuación 2.11 con respecto a "y" e igualando con la ecuación 2.12 se tiene:

$$\frac{1}{\gamma} \frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\partial y}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{q^2}{2\theta y^2} \right] \quad (2.13)$$

debido a que "H" es constante

$$\frac{1}{\gamma} \frac{\partial P}{\partial y} = 0 - 1 - \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{q^2}{2\theta y^2} \right] \quad (2.14)$$

despejando el valor de la derivada parcial de la presión en la superficie con respecto a "y":

$$\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\gamma q^2}{\theta y^3} - \gamma \quad (2.15)$$

cuando el valor de "y" es el correcto, la ecuación 2.15 resultará igual a cero, pero en caso de que no lo sea dará un valor diferente de cero. Para poder saber cual sería el factor de corrección del valor de "y" se usa la ecuación 2.15, sustituyendo la derivada parcial "∂" por su diferencial "Δ" y despejando el valor de Δy.

$$\Delta y = \frac{\frac{\Delta P}{\gamma}}{\frac{q^2}{\rho y^3} - 1} \quad (2.16)$$

Cuando el valor de la ecuación 2.11 no es igual a cero o no cumple con la tolerancia de error elegida, la ecuación 2.16 determina el factor de corrección que debe aplicarse en los valores de "y". Se corrigen los valores iniciales del tirante con los que se alimentó el modelo y se resuelve ahora con los nuevos valores. Tomando los resultados obtenidos con las correcciones se revisa que la ecuación 2.9 cumpla siendo igual a "0", si esto no se da, nuevamente se calculará la corrección con la ecuación 2.16 repitiendo esto hasta cumplir con la tolerancia de error elegida.

### C A P I T U L O   I I I

## **MODELO COMPUTACIONAL**

### **3.1 FUNCIONAMIENTO**

El modelo de computadora que a continuación se presenta, se elaboró en lenguaje Pascal y se basa en el modelo desarrollado por Alcaraz (1988). Su estructura está formada por procedimientos o subrutinas, integrados de la siguiente forma:

Primero se identifican las variables generales que intervendrán en el modelo, colocándolas en la sección llamada "VAR" al principio del programa, estas variables intervendrán en todo el desarrollo.

Después de tener todas las variables generales identificadas, al iniciar un procedimiento se identifican las llamadas variables locales, que sólo intervendrán en el procedimiento que aparezcan en la sección "VAR". Los nombres de las variables principales y su significado se pueden ver en el apéndice.

Dentro del programa se cuenta con un procedimiento o subrutina generadora de redes, lo que facilita la entrada de datos al programa, esto se logra mediante la creación de elementos rectangulares que reciben el nombre de elementos maestros, puede

haber este tipo de elementos en la dirección "X" y en la dirección "Y", la ventaja de usar los elementos maestros es que sólo se le proporcionan datos de 8 nodos por cada elemento maestro, a partir de los cuales se generará la red, considerando para esto el número de divisiones tanto en la dirección "X", como en la dirección "Y" deseadas. se puede tener un número variable de divisiones en la dirección "X", pero las divisiones "Y" deben ser constantes. Alcaraz (1988).

El modelo está compuesto por los siguientes procedimientos:

Procedimiento "PRESENTA" : En el que se elabora la presentación del modelo.

Procedimiento "PREG-DATOS" : Durante su desarrollo se definen los diferentes parámetros con los que el modelo empieza a funcionar.

Procedimiento "INFGEN" : Aquí se nos muestran los datos con los cuales se alimentó el modelo, en el procedimiento "PREG-DATOS".

Procedimiento "MALLA" : Aquí se toman los datos del procedimiento "PREG-DATOS", para generar la malla mediante interpolación cuadrática (usando polinomios de segundo grado), para la formación de la malla se consideran las divisiones deseadas por elemento maestro. esto se hace en ambas direcciones. Una vez creada la malla, se inicia la generación de las

coordenadas locales de los nodos de cada elemento, (se usarán elementos triangulares) una vez obtenidas, se procederá a mapear dichas coordenadas locales a coordenadas globales, para esto se usa la función llamada "SHAPE", que trabaja con interpolación cuadrática. Cuando ya se tienen las coordenadas globales de los nodos se realiza el suavizamiento de la red, se entiende por suavizamiento a la graduación en el cambio de un elemento maestro a otro, dependiendo del número de divisiones deseado en cada elemento maestro. Una vez suavizada la malla se realiza la definición de nodos por elemento.

Procedimiento "BNDRY" : Es aquí cuando se considerarán las condiciones de frontera, en este caso todos los nodos que se encuentran en el fondo del canal al igual que los nodos que se encuentren en la superficie del obstáculo, tienen como valor de la función de corriente "0", también se les asigna valor a los nodos que estén en la superficie libre del agua y éste es igual al gasto unitario, estos valores son asignados por las condiciones físicas según Aitchison (1980) y O'Carroll (1984).

Procedimiento "ELEM2D" : En el se genera la matriz local, para lo cual se obtiene el área de cada elemento, se les asigna un número a cada nodo, empleando las funciones "MAX1" y "MIN". Las cuales nos dan el valor máximo y mínimo de los tres nodos que forman al elemento, a su vez se obtienen también los valores de las matrices de rigideces de cada elemento y los vectores de términos independientes para cada elemento.

Procedimiento "ASEMBL" : Funciona realizando primeramente la localización de la diagonal en el vector skyline, para lo cual se hace uso en el desarrollo de la función "NIMAX". Posteriormente se realiza la inicialización de los vectores que contienen la matriz, para que con esto podamos realizar el ensamble de la matriz global a partir de las matrices locales, apoyándose en la función "MAX", para este procedimiento usamos lo obtenido en el procedimiento "ELEM2D".

Procedimiento "ACTCOL" : Realiza el método de solución de todo el sistema de ecuaciones contenidas en el procedimiento "ASEMBL", Zienkiewies (1977).

Procedimiento "REV-PRES": Revisa los resultados obtenidos, esto con ayuda de la función "MAXDP" que nos da como resultado el valor de error máximo en valor absoluto que se encuentra durante la revisión, si el valor del resultado obtenido no es el correcto, se obtiene un factor de corrección que se aplicará a los valores obtenidos con los que se iniciará nuevamente todo el desarrollo.

Procedimiento "RESUL" recibe los resultados obtenidos en cada iteración mostrándolos y preguntando si se quiere que se impriman en la pantalla o en la impresora, una vez elegida la opción se muestran los resultados según la opción.

El programa "PRINCIPAL" da el orden adecuado para el funcionamiento correcto del programa, además de darnos los resultados correctos.



### 3.2 LISTADO

A continuación se presenta el listado del programa con el que se realizó la modelación computacional.





```

      BEGIN
        FOR J:=1 TO NPMO DO
          BEGIN
            WRITE('X',J,',',J,',',J) = ' ';
            READ (X(J,J));
            WRITE('Y',J,',',J,',',J) = ' ';
            READ(Y(J,J));
            READ(P(E,J));
            Y(J,J)=P(E,J)*ISOR(LONG-X(J,J));
          END;
          WRITE('N',J,',',J) = ' ';
          READ(N(J));
          WRITE('NY',J,',',J) = ' ';
          READ(NY(J));
        END;
      END;

```

END;

```

( )
( )
( INICIA PROCEDIMIENTO PARA LA IMPRESION )
( )
( DE LA INFORMACION GENERAL DE LOS ELEMENTOS )
( )
( )

```

PROCEDIMIENTO

IF  
THEN

BEGIN

```

  CLASS;
  REPEAT
    WRITE('IMPRESION DE DATOS EN PANTALLA (2) O IMPRESORA (1) ? ');
    READ(IPD);
    UNTIL (IPD = 1) OR (IPD = 2);
    IF IPD = 1 THEN
      BEGIN
        WRITE('¿COMPRENDE A LA IMPRESORA ESTE PREPARADA ?');
        WRITE('OPRIME CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR.....');
        REPEAT
          UNTIL READ(EY='');
          ASSIGN(DATOS,'LP');
          RESET(DATOS);
          GOTO(Y(8,4));
          WRITE(LIST,'*****');
          GOTO(Y(9,5));
          WRITE(LIST,'***** INFORMACION GENERAL DE LOS *****');
          GOTO(Y(8,6));
          WRITE(LIST,'***** ELEMENTOS *****');
          GOTO(Y(8,7));
          WRITE(LIST,'*****');
          GOTO(Y(8,8));
          WRITE(LIST,'***** DATOS EN * METRICE * SEGUNDOS * *****');
          GOTO(Y(8,9));
          FOR I:=1 TO NPMAY DO
            BEGIN
              GOTO(Y(8,2));
              WRITE(LIST,'***** Y(I),I, I = ,N(I), *****');
              I:=I+1;
            END;
          END;

```

```

FOR I=1 TO NMAX DO
  BEGIN
    GOTDY(1,1);
    WRITELN('***** NYE',I:2,' ')*,NYE11,' *****');
    J:=1;
  END;
  GOTDY(1,2);
  WRITELN('***** NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES = ',ITER:2,' *****');
  GOTDY(1,3);
  WRITELN('***** ELEMENTOS LINEALES *****');
  GOTDY(1,4);
  WRITELN('***** NUMERO DE VECES QUE SE SUAVIZARA *****');
  GOTDY(1,5);
  WRITELN('***** LA RED=,RCOIN,' *****');
  GOTDY(1,6);
  WRITELN('***** TOLERANCIA = ',TOL:10,' *****');
  GOTDY(1,7);
  WRITELN('***** TIRANTE AGUAS ARRIBA = ',HEAD:10,' *****');
  GOTDY(1,8);
  WRITELN('***** TIRANTE AGUAS ABAJO = ',FEED:10,' *****');
  GOTDY(1,9);
  WRITELN('***** SAE'D JALIZADO = ',JAL:10,' *****');
  GOTDY(1,10);
  WRITELN('***** ANCHO DEL CANAL = ',ANCHO:10,' *****');
  GOTDY(1,11);
  WRITELN('***** METRO DE ELEMENTOS = ',MELN,' *****');
  GOTDY(1,12);
  WRITELN('***** NUMERO DE NODOS = ',NODN,' *****');
  GOTDY(1,13);
  WRITELN('*****');
  CLSE:DPYOS;
END;
IF IFS = 2 THEN
  BEGIN
    GOTDY(1,4);
    WRITELN('*****');
    GOTDY(1,5);
    WRITELN('***** INFORMACION GENERAL DE LOS *****');
    GOTDY(1,6);
    WRITELN('***** ELEMENTOS *****');
    GOTDY(1,7);
    WRITELN('*****');
    GOTDY(1,8);
    WRITELN('***** DATOS EN * METROS Y SEGUNDOS * *****');
    J:=9;
  END;
  FOR I=1 TO NMAX DO
    BEGIN
      GOTDY(1,3);
      WRITELN('***** NYE',I:2,' ')*,NYE11,' *****');
      J:=1;
    END;
    FOR I=1 TO NMAX DO
      BEGIN
        GOTDY(1,2);
        WRITELN('***** NYE',I:2,' ')*,NYE11,' *****');
        J:=1;
      END;
      GOTDY(1,3);
      WRITELN('***** NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES = ',ITER:2,' *****');
      GOTDY(1,4);
      WRITELN('***** ELEMENTOS LINEALES *****');
      GOTDY(1,5);
      WRITELN('***** NUMERO DE VECES QUE SE SUAVIZARA *****');
      GOTDY(1,6);
      WRITELN('***** LA RED=,RCOIN,' *****');
      GOTDY(1,7);

```









```

COPLIK,2);
COORDK,2);
WRITELN('COORDL',K,11=' ',COORDLK,11,' ', 'COORDL',K,21=' ',C
WRITELN('COORDR',K,11=' ',COORDRK,11,' ', 'COORDR',K,21=' ',C
END;
END;

```

```

END;
//:=(C*ANYSY;
UNTO II=1 MM6);

```

INICIA EL DESARROLLO DE LA RED

```

WRITELN(' LA RED SE DESARROLLA EN UNO DE LOS NODOS DE LA RED
POR LINEAS DE FORMA DE

```

```

BEGIN
K1=MM-2;
P2=MMY-2;
K2=MMY-1;
FOR I1=1 TO K1 DO
BEGIN
K3=K2+2;
FOR C1=1 TO K3 DO
BEGIN

```

```

C1=C1;
COORDP(C1)=COORDK(C1,11)+COORDK(C1,21)+COORDK(C1,MM,1)+COORDK(C1,MM,2);
COORDP(C1)=COORDK(C1,11)+COORDK(C1,21)+COORDK(C1,MM,1)+COORDK(C1,MM,2);

```

```

END;
END;
END;

```

DEFINICION DE NODOS POR ELEMENTO

```

WRITELN(' SE DEFINEN LOS NODOS POR ELEMENTO ');

```

```

I1=1;
REPEAT
ELEMENT(1,1)=0;
ELEMENT(2,1)=0;
ELEMENT(1,11)=0;
ELEMENT(1,21)=0;
I1=I1+1;
UNTIL I1=NEL;

```

```

K1=1;
K2=1;
ELEMENT(1,1)=0;
ELEMENT(1,11)=0;
ELEMENT(1,21)=0;

```

```
ELENC(1,1,1)=CS*MMY*1;  
ELENC(1,2,1)=MS*1;  
ELENC(1,3,1)=MS*MMY;  
WRITELN(ELENC(1,1,1), ' ', ELENC(1,2,1), ' ', ELENC(1,3,1)) )
```

```
KS:=CS*MMY;  
IF (KS MOD MM1)≠0 THEN  
  BEGIN  
    KS:=9*1;  
    Ks:=6*1;  
    MM1:=MM1*1;  
  END;  
  I:=I+2;  
  UNTIL I=NELM;  
END;  
( ..... )  
( ..... )  
( ..... PROCEDIMIENTO PARA LAS CONDICIONES DE ..... )  
( ..... FRONTERA ..... )  
( ..... )  
( ..... )
```

PROCEDURE MORY;

J44

```
FI: ARRAY [1..1000] OF REAL;  
VAL1: AG;  
VAL2: REAL;  
KX, CNT: INTEGER;
```

BEGIN

```
WRITELN(' SE ASIGNAN LAS CONDICIONES DE FRONTERA ');
```

```
VAL1:=0.0;
```

```
I:=1;
```

```
REPEAT
```

```
  VAL2(I):=0;
```

```
  I:=I+1;
```

```
UNTIL I=NODE;
```

```
I:=1;
```

```
REPEAT
```

```
  VAL2(I):=30/ANCHD;
```

```
  I:=I+1;
```

```
UNTIL I=NODE;
```

```
K1:=NODE-MNY*1;
```

```
KCNT:=1;
```

```
I:=1;
```

```
REPEAT
```

```
  SDY(KCNT):=1;
```

```
  BC(I):=VAL1;0000000;
```

```
  KCNT:=KCNT+1;
```

```
  I:=I+MNY;
```

```
UNTIL I=;
```

```
K(I):=0;
```

```
I:=MNY;
```

```
REPEAT
```

```
  K(K):=KX*1;
```

```
  SDY(KCNT):=1;
```

```
  BC(I):=VAL2(I)*K(I);0000000;
```

```
  KCNT:=KCNT+1;
```

```
  I:=I+MNY;
```

```
UNTIL I=NODE;
```



```

(                                     )
(                                     )
(           FUNCTION MAX              )
(                                     )
(                                     )

```

```
FUNCTION MAI(A,B: INTEGER): INTEGER;
```

```
VAR
```

```
  I: INTEGER;
```

```
DESIK
```

```
  WRITELN(' USANGO MAI ');
```

```
  I:=A;
```

```
  IF I < B THEN I:=B;
```

```
  MAI:=I;
```

```
  WRITELN(' TERMINO MAI ');
```

```
END;
```

```

(                                     )
(                                     )
(           FUNCTION MAXI             )
(                                     )
(                                     )

```

```
FUNCTION MAII(A,B,C: REAL): REAL;
```

```
VAR
```

```
  I: REAL;
```

```
DESIK
```

```
  WRITELN(' USANGO MAII ');
```

```
  I:=A;
```

```
  IF I < B THEN I:=B;
```

```
  IF I < C THEN I:=C;
```

```
  MAII:=I;
```

```
  WRITELN(' TERMINO MAII ');
```

```
END;
```

```

(                                     )
(                                     )
(           FUNCTION MIN              )
(                                     )
(                                     )

```

```
FUNCTION MINII(A,B,C: REAL): REAL;
```

```
VAR
```

```
  I: REAL;
```

```
DESIK
```

```
  WRITELN(' USANGO MIN ');
```

```
  I:=A;
```

```
  IF I > B THEN I:=B;
```

```
  IF I > C THEN I:=C;
```

```
  MINII:=I;
```

```
  WRITELN(' TERMINO MIN ');
```

```
END;
```



```

(
)
FUNCTION DOT
(
)
(
)
(
)
(
)

```

FUNCTION DOT(E,F; A: N, KKKI, XL1: INTEGER); REAL;

```

VAR
  I: INTEGER;
  DOTEMP: REAL;
BEGIN
  WRITELN('USADO DOT ');
  DOTEMP:=0.0;
  I:=1;
  REPEAT
    DOTEMP:=DOTEMP+(E*(KKKI)**F*(XL1));
    KKKI:=OKK1+1;
    XL1:=OKL1+1;
    I:=I+1;
  UNTIL I > N;
  DOT:=DOTEMP;
END;

```

```

(
)
FUNCTION DOT:
(
)
(
)
(
)
(
)

```

FUNCTION DOT(E: A; F: A; N, JRI, ISI: INTEGER); REAL;

```

VAR
  I: INTEGER;
  DOTEMP: REAL;
BEGIN
  WRITELN('USADO DOT ');
  DOTEMP:=0.0;
  I:=1;
  REPEAT
    DOTEMP:=DOTEMP+(E*(JRI)**F*(ISI));
    JRI:=JRI+1;
    ISI:=ISI+1;
    I:=I+1;
  UNTIL I > N;
  DOT:=DOTEMP;
END;

```

```

(
)
FUNCTION *N:
(
)
(
)
(
)
(
)

```

FUNCTION \*N(A, B; INTEGER); INTEGER;

```

VAR
  A: INTEGER;

```

```

BEGIN
( WRITELN(' USADO NIM: '), NIM )
  I:=A;
  IF I > 5 THEN I:=B;
  NIMI:=I;
( WRITELN(' RESPON NIMI '), NIMI )
END;

(
(
( PROCEDIMIENTO PARA RESOLVER EL SISTEMA DE ECUACIONES
(
(
(

PROCEDURE ACTO1;
VAR
  SALIR, AFAC, BACK: BOOLEAN;
  I: REAL;
  IDIR, I1, ID, I2, IE, IS, IR, IH, IX, KX, KI, KJ, KH, ICSH, JHI, JPI: INTEGER;
BEGIN
( WRITELN(' INICIA SOLUCION DE LAS ECUACIONES '), I )
  AFAC:= TRUE;
  BACK:= TRUE;
  IR:=0;
  FOR I:=1 TO NROE DO
    BEGIN
      I1:=I+0.5;
      I2:=I+0.5;
      IE:=I+0.5;
      IF I1=I2 THEN
        BEGIN
          IF AFAC THEN
            BEGIN
              IR:=I+1;
              I1:=I+0.5;
              I2:=I+0.5;
              IE:=I+0.5;
            END;
          ELSE
            BEGIN
              IR:=I;
              I1:=I+0.5;
              I2:=I+0.5;
              IE:=I+0.5;
            END;
          END;
        END;
      END;
    END;
  END;
  WRITELN(' RESOLVE TODAS LAS ECUACIONES EXCEPTO LA DIAGONAL ');
  FOR I:=15 TO IE DO
    BEGIN
      IR:=I;
      ID:=I+0.5;
      IH:=NIMI(ID-IR-1, I-15+1);
      IF IH > 0 THEN
        BEGIN
          KX:=I-1;
          KJ:=I-1;
          KXK:=A(KX, I, IH, KX, KJ);
          WRITELN(' A( ', I, ', ', I, ') = ', A(KX));
          I:=I+1;
        END;
      END;
    END;
  END;
  WRITELN(' RESOLVE LA DIAGONAL ');
  IF AFAC THEN

```







```

FOR I:=2 TO NMAS-1 DO
  BEGIN
    IF I < ABS(OP1(D1:(1))) THEN I:=ABS(OP1(D1:(1)))
    IF I < ABS(OP1(D2:(1)NMV)) THEN I:=ABS(OP1(D2:(1)NMV))
  END;
IF I < ABS(OP1(D2:(1)NMV)) THEN I:=ABS(OP1(D2:(1)NMV))
IF I < ABS(OP1(D1:(NMAS))) THEN I:=ABS(OP1(D1:(NMAS)))
NACF:=I;
WRITELN(' OPIME CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR.....');
REPEAT
  UNTIL REACH'EY';
END;

```

```

( )
( )
( PROCEDIMIENTO PARA REVISAR LOS VALORES OBTENIDOS )
( )
( )

```

```
PROCEDURE REV_PRES;
```

```

VAR
  VY1,VY2,VY3,VY4,VY5: ARRAY [1..1000] OF REAL;
  NY,NMNO,NMODS,N2,N1,N11:
  N: ARRAY [1..1000] OF INTEGER;
  V2,V3,ALFA,S11,S12,N0,N: REAL;
  NY1,N2,N3,NMOD17,NMOD13,NMOD7: INTEGER;

```

```
DESIN
```

```

WRITELN(' SON REVISADOS LOS VALORES OBTENIDOS ');
N0:=NY-NMNO;
N1:=CONVERTIR(2)+1+(N0/CONVERTIR(NY,2)-CONVERTIR(1,2))*18+(N0/CONVERTIR(NY,2)-CONVERTIR(1,2))/126);
WRITELN(' N = ',N);

```

```

J:=0;
D11:=N1(1);
REPEAT

```

```

  J:=J+1;
  REPEAT

```

```

    IF J=1 THEN

```

```

      BEGIN

```

```

        IF (N1(1) MOD 2) = 0 THEN

```

```

          BEGIN

```

```

            V3:=N1(1)/2;

```

```

          END

```

```

        ELSE

```

```

          BEGIN

```

```

            V3:=(N1(1)-1)/2+1;

```

```

          END;

```

```

      END

```

```

    ELSE

```

```

      BEGIN

```

```

        D11:=D11-1+(N1(2)-1);

```

```

        IF (N1(2) MOD 2) = 0 THEN

```

```

          BEGIN

```

```

            V2:=N1(2)/2+(D11-1);

```

```

          END

```

```

        ELSE

```

```

          BEGIN

```

```

            V2:=N1(2)-1+(D11-1);

```

```

          END;

```

```

      END;

```

```

    END;

```

```

  END;

```

```

V2:=V2+NMV;
REPEAT
  BIC(1):=NMV+1;
  I3:=I3+1;
  UNTIL -D1(I3) = V2 OR (D1(I3) = V2);
  UNTIL B1(I3) = V2 OR (B1(I3) > V2);
UNTIL I2 = NMAS OR I2 = NMAS;
D2(I1)=NM(I1);
FOR I1=2 TO NMAS-1 DO
  BEGIN
    D2(I1)=D2(I1-1)+NM(I1-1);
  END;
NMDO17:=D1(I1);
NMDO12:=D2(I1+NMV);
Y1(NMDO17):=CGORD(NMDO17,2);
Y1(NMDO13):=CGORD(NMDO13,2);
Y1(NMDO17):=(Y1(NMDO17)-B1(NMDO17-1))/(Y1(NMDO17)-CGORD(NMDO17-1,2));
Y1(NMDO13):=(Y1(NMDO13)-B1(NMDO13-1))/(Y1(NMDO13)-CGORD(NMDO13-1,2));
DP(NMDO17):=0;
DP(NMDO17):=NMV+Y1(NMDO17)-Y1(NMDO17+1)/(NMDO17)/(Z16);
WRITELN('DPI',NMDO17,'I',DP(NMDO17));
DP(NMDO13):=0;
DP(NMDO13):=NMV+Y1(NMDO13)-Y1(NMDO13+1)/(NMDO13)/(Z16);
WRITELN('DPI',NMDO13,'I',DP(NMDO13));
FOR I1=2 TO NMAS-1 DO
  BEGIN
    NMDO7(I1)=D1(I1);
    NMDO3(I1)=D2(I1+NMV);
    Y1(NMDO7(I1)):=(Y1(NMDO7(I1)-1))/(Y1(NMDO7(I1))-CGORD(NMDO7(I1)-1,2));
    Y1(NMDO3(I1)):=(Y1(NMDO3(I1)-1))/(Y1(NMDO3(I1))-CGORD(NMDO3(I1)-1,2));
    Y1(NMDO7(I1)):=Y1(NMDO7(I1))-B1(NMDO7(I1-1))/(Y1(NMDO7(I1))-CGORD(NMDO7(I1)-1,2));
    Y1(NMDO3(I1)):=Y1(NMDO3(I1))-B1(NMDO3(I1-1))/(Y1(NMDO3(I1))-CGORD(NMDO3(I1)-1,2));
    DP(NMDO7(I1)):=0;
    DP(NMDO7(I1)):=(NMDO7(I1)-Y1(NMDO7(I1)+1)/(NMDO7(I1))/(Z16));
    WRITELN('DPI',NMDO7(I1),'I',DP(NMDO7(I1)));
    DP(NMDO3(I1)):=0;
    DP(NMDO3(I1)):=(NMDO3(I1)-Y1(NMDO3(I1)+1)/(NMDO3(I1))/(Z16));
    WRITELN('DPI',NMDO3(I1),'I',DP(NMDO3(I1)));
  END;
NMCA7:=D1(NMAS);
Y1(NMCA7):=CGORD(NMCA7,2);
Y1(NMCA7):=(Y1(NMCA7)-B1(NMCA7-1))/(Y1(NMCA7)-CGORD(NMCA7-1,2));
DP(NMCA7):=0;
DP(NMCA7):=NMV+Y1(NMCA7)-Y1(NMCA7+1)/(NMCA7)/(Z16);
WRITELN('DPI',NMCA7,'I',DP(NMCA7));
WRITELN('OPRIME CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR.....');
REPEAT
  UNTIL SEARCH('');
  MAIDP:=MAIDP(DP,DI,2);
  WRITELN('VALOR ABSOLUTO MAIDP DEL ESPOR = ',MAIDP);
  BEGIN
    WRITELN('COPIRES EL VALOR DE DI CON UN ALFA DIFERENTE A * 1 * ');
    WRITELN('SI, TECLA UN NUMERO *2*; NO, TECLA CUALQUIER OTRO NUMERO *');
    READ(DI);
    IF DI = 2 THEN
      BEGIN
        WRITELN('DAME EL VALOR DESEADO DE ALFA = ');
        READ(ALFA);
      END;
    IF DI (/) 2 THEN
      BEGIN
        ALFA:=0;
      END;
  END;
IF MAIDP = 0 THEN
  BEGIN

```



```

BEGIN
WRITE(' IMPRESION DE RESULTADOS EN PANTALLA (1) O IMPRESORA (1) ? ');
READ(IP);
IF IP = 1 THEN
  BEGIN
  WRITE('¡ COMPROBE QUE LA IMPRESORA ESTE PREPARADA!');
  WRITE('¡ OPRIME CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR.....');
  REPEAT
  UNTIL READKEY();
  ASSIGN(IMPRESORA,'LPT1');
  RESET(IMPRESORA);
  WRITE('ITERACION = ',ITERI);
  WRITE('VALOR ABSOLUTO MAXIMO DEL ERROR = ',MAXDP(2:5));
  FOR I:=1 TO NMODE DO
  BEGIN
  WRITE('COORDENADA (1,1):',COORD(1,1);
  WRITE('COORDENADA (1,2):',COORD(1,2);
  WRITE('PSI = ',PSI(1:2:3));
  END;
  WRITE('¡ OPRIME CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR.....');
  REPEAT
  UNTIL READKEY();
  END;
IF IP = 2 THEN
  BEGIN
  ASSIGN(RESUL,'ADS');
  REWRITE(RESUL);
  WRITE('ITERACION = ',ITERI);
  WRITE('VALOR ABSOLUTO MAXIMO DEL ERROR = ',MAXDP(2:5));
  FOR I:=1 TO NMODE DO
  BEGIN
  WRITE('RESULTADO (COORDENADA (1,1):',COORD(1,1);
  WRITE('COORDENADA (1,2):',COORD(1,2);
  WRITE('PSI = ',PSI(1:2:3));
  REPEAT
  UNTIL READKEY();
  END;
  CLOSE(RESUL);
  END;
IF IP <> (1 OR 2) THEN EXIT;
END;

```

```

( )
( )
( PROCEDIMIENTO GENERAL PARA EL ENSAMBLE DE LA )
( )
( MATRIZ GLOBAL USANDO LAS MATRICES LOCALES )
( )
( )

```

PROCEDURE ASSEMBL;

```

VAR
F1: ARRAY [1..1000] OF REAL;
VAL2: AB;
VAL3: REAL;
KX,KAGN: INTEGER;

MDFP: IVECC;
MDFR: IVECC;
M1,M2,M3,M4,M5,M6,M7,M8,M9,M10,M11,M12,M13,M14,M15,M16: INTEGER;
COYD1: ARRAY [1..1000] OF INTEGER;
M1,M2: ARRAY [1..1000] OF REAL;
COL: INTEGER;

```



```

(      WRITELN ' ENVIO AL PROCEDIMIENTO CONDICIONES DE FRONTERA (ENRDFY) ' )
ENRDFY;
(      WRITELN ' REGRESO DEL PROCEDIMIENTO CONDICIONES DE FRONTERA (ENRDFY) ' )

(      )
(      )
(      ENSAMBLE DE LA MATRIZ GLOBAL      )
(      )
(      )

(      WRITELN ' SE ENSAMBLA LA MATRIZ GLOBAL ' )
FOR I:=1 TO NPE DO
  BEGIN
(      WRITELN ' ENVIO A ELENZO ' )
ELENZO;
(      WRITELN ' REGRESO AL ENSAMBLE DE LA MATRIZ GLOBAL ' )
FOR LL:=1 TO NPE DO
  BEGIN
      LI:=ELENZO(LL);
      JJ:=JDIAGIL(LI);
      WRITELN ' JJ=JDIAGI ',LI,' ',JJ;
      WRITELN ' LI=ELEN ',LI,' ',LL,' ',LI;
      A(JJ):=A(JJ)+KEL(LL,LI);
      WRITELN ' A ',JJ,' '=A ',JJ,' 'INVELI ',LL,' ',LL,' ',A(JJ);
      WRITELN ' KELE ',LL,' ',LL,' '= ',KELE(LL,LI);
      B(LL):=B(LL)+FEL(LL);
      WRITELN ' B ',LL,' '=B ',LL,' 'FEL ',LL,' ',B(LL);
      WRITELN ' FEL ',LL,' '= ',FEL(LL);
  END;
  TIC:=TIC+ELENZO(LL,ELENZO(LL));
  TID:=TID+ABS(A(JJ)-A(JJ)+2*B(ELENZO(LL),ELENZO(LL));
  A(JJ):=A(JJ)+FEL(LL,LI);
  JI:=JDIAGIL(ELENZO(LL),ELENZO(LL));
  JI:=JDIAGIL(JI)-ABS(ELENZO(LL),JI)-ELENZO(LL);
  M(JI):=M(JI)+ELENZO(LL,JI);
  JJ:=JJ+JDIAGIL(JI)-ABS(ELENZO(LL,JI)-ELENZO(LL);
  A(JJ):=A(JJ)+FEL(LL,JI);
  A(JJ):=A(JJ)+KEL(LL,JI);
  WRITELN ' A(JJ)= ',A(JJ);
  WRITELN ' A(JI)= ',A(JI);
  WRITELN ' A(JJ)= ',A(JJ);
  END;
(      WRITELN ' TERMINO ASE*BL ' )
END;

(      )
(      )
(      PROGRAMA PRINCIPAL      )
(      )
(      )

BEGIN
  CLRSCR;
  PRESENTA;
  REPEAT
    CLRSCR;
    SACH:=TRUE;
    AFACH:=TRUE;
    VFE:=0;
    PRES_DATOS;
  UNTIL VFE;

```

```
REPEAT
  ITER:=ITER+1;
  MALLA;
  WRITELN(' ');
  WRITELN('REALIZANDO CALCULOS');
  WRITELN(' ');
  MENSAL;
  ACTUAL;
  REV.PRES;
  RESUL;
  UNTIL (ITER >= ITER) OR (TOL >= 0.0001);
  WRITELN(' OPRIME CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR.....');
  REPEAT
    UNTIL READKEY(' ');
  WRITELN('REALIZAS OTRA CORRIDA (SI TECLA E11 / NO TECLA CUALQUIER NUMERO ) ' ' ');
  READKEY();
  UNTIL SE <= 0 ;
END.
```



# C A P I T U L O   I V

## **RESULTADOS NUMERICOS.**

### **4.1 INTERPRETACION**

En este capítulo se presentan primeramente las tablas 4.1 a 4.3 con los datos usados en los análisis realizados con el modelo de computadora. en dichas tablas se tiene lo siguiente:

- Tipo de régimen aguas arriba del escalón
- Tipo de régimen aguas abajo del escalón
- Tirante aguas arriba del escalón
- Tirante aguas abajo del escalón
- Gasto utilizado
- Número de elementos maestros en dirección "Y"
- Número de elementos maestros en dirección "X"
- Pendiente de la plantilla del canal
- Coordenadas de 8 nodos por elemento maestro, considerando primero en dirección "X", después en dirección "Y"

Posteriormente se observan las tablas 4.4 a 4.6 en ellas aparece primero una tabla resumen de la información más importante proporcionada al modelo, dentro de esta información se tienen algunos datos que no aparecen en las tablas 4.1 a 4.3, debido a que estos se pueden variar para la realización de diferentes

pruebas, por ejemplo se pueden tener diferente número de divisiones en la dirección "X" por elemento maestro; las divisiones en la dirección "Y" deben ser las mismas en todos los elementos maestros para que exista una continuidad, también se puede variar el número de veces que se quiera suavizar la red. Otro de los datos susceptible a cambios es el de la tolerancia de error máximo que se desea obtener con el modelo. Después de la tabla resumen se muestra un listado de los resultados obtenidos numéricamente, por cuestiones de espacio sólo se presenta la última iteración, que cumple con la tolerancia de error elegida, en este listado se puede distinguir una columna compuesta por coordenadas de los nodos resueltos, en la columna siguiente se muestra el valor obtenido de " $\psi$ " en cada nodo resuelto. Posteriormente aparecen los resultados obtenidos en forma gráfica pudiéndose observar el comportamiento de las líneas de corriente en el canal antes, sobre y después del obstáculo (ver gráficas 4.1 a 4.3) tomando como base estas gráficas se puede realizar una mejor comparación con los resultados teóricos y experimentales. (ver graficas 4.4 a 4.6 con los resultados teóricos). Finalmente aparecen las tablas 4.7 a 4.9 en las que se observan los datos iniciales del análisis numérico contra los resultados finales. La escala vertical de la gráfica esta ampliada en el caso del flujo subcrítico-subcrítico un 3.703.7%, en el caso del flujo subcrítico-supercrítico un 1.666.7%, en el caso del flujo supercrítico-supercrítico un 2.525.3% en comparación a la escala horizontal, para poder apreciar los resultados, en lo que respecta a la escala horizontal esta se deforma en las cercanías del obstáculo con un 200%.

TABLA No. 41

REQMEN SUBCRITICO - SUBCRITICO

GASTO = 0.03 M3/SEG

TIRANTE AGUAS ARRIBA = 0.2951 M

TIRANTE AGUAS ABAJO = 0.2685 M

NUMERO DE ELEMENTOS MAESTROS EL DRECCION Y = 1

NUMERO DE ELEMENTOS MAESTROS EL DRECCION X = 5

So = 0.0007

| COORDENADA | I | 1      | 2      | 3      | 4      | 5       | 6      | 7      | 8      |
|------------|---|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| X          | 1 | 0      | 2.139  | 2.139  | 0      | 1.07    | 2.139  | 1.04   | 0      |
| Y          | 1 | 0.0023 | 0.0046 | 0.2936 | 0.2951 | 0.0058  | 0.1492 | 0.2943 | 0.1507 |
| X          | 2 | 2.139  | 2.244  | 2.244  | 2.139  | 2.191   | 2.244  | 2.191  | 2.139  |
| Y          | 2 | 0.0046 | 0.1097 | 0.2392 | 0.2938 | 0.0573  | 0.1745 | 0.2695 | 0.1492 |
| X          | 3 | 2.244  | 2.49   | 2.49   | 2.244  | 2.367   | 2.49   | 2.367  | 2.244  |
| Y          | 3 | 0.1097 | 0.0046 | 0.2934 | 0.2392 | 0.0571  | 0.1489 | 0.2683 | 0.1745 |
| X          | 4 | 2.49   | 5.745  | 5.745  | 2.49   | 4.118   | 5.745  | 4.118  | 2.49   |
| Y          | 4 | 0.0046 | 0.0023 | 0.2911 | 0.2934 | 0.0034  | 0.1467 | 0.2922 | 0.1489 |
| X          | 5 | 5.745  | 9      | 9      | 5.745  | 7.373   | 9      | 7.373  | 5.745  |
| Y          | 5 | 0.0023 | 0      | 0.2936 | 0.2911 | 0.00114 | 0.1444 | 0.2899 | 0.1467 |

TABLA No 42

REQIMEN SUBCRITICO - SUPERCRITICO

GASTO = 0.025 M3/SEG

TIRANTE AGUAS ARRIBA = 0.2934 M

TIRANTE AGUAS ABAJO = 0.09 V

NUMERO DE ELEMENTOS MAESTROS EL DIRECCION Y = 1

NUMERO DE ELEMENTOS MAESTROS EL DIRECCION X = 5

SG = 0.0009

| ORDENAZA |   | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      |
|----------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Y        | 0 | 0      | 2.202  | 2.202  | 0      | 1.101  | 2.202  | 1.101  | 0      |
| Y        | 1 | 0.0091 | 0.0081 | 0.2914 | 0.2934 | 0.0071 | 0.1496 | 0.2924 | 0.1506 |
| Y        | 2 | 2.202  | 2.32   | 2.32   | 2.202  | 2.261  | 2.32   | 2.261  | 2.202  |
| Y        | 3 | 0.0061 | 0.1115 | 0.2415 | 0.2914 | 0.0609 | 0.1785 | 0.2691 | 0.1493 |
| Y        | 4 | 2.32   | 2.438  | 2.438  | 2.32   | 2.379  | 2.438  | 2.379  | 2.32   |
| Y        | 5 | 0.1155 | 0.0059 | 0.0959 | 0.2415 | 0.0603 | 0.0509 | 0.1689 | 0.1735 |
| Y        | 6 | 2.438  | 5.719  | 5.719  | 2.438  | 4.079  | 5.719  | 4.079  | 2.438  |
| Y        | 7 | 0.0059 | 0.0029 | 0.0029 | 0.0059 | 0.0044 | 0.0479 | 0.0044 | 0.0509 |
| Y        | 8 | 5.719  | 9      | 9      | 5.719  | 7.359  | 9      | 7.359  | 5.719  |
| Y        | 9 | 0.0029 | 0      | 0.00   | 0.0029 | 0.0015 | 0.045  | 0.0015 | 0.0479 |

TABLA No 4.3

REGIMEN SUPERCRITICO - SUPERCRITICO

GASTO = 0.035 M<sup>3</sup>/SEG

TIANTE AGUAS ARRIBA = 0.2449 M

TIANTE AGUAS ABAJO = 0.0919 M

NUMERO DE ELEMENTOS MAESTROS EL DIRECCION Y = 1

NUMERO DE ELEMENTOS MAESTROS EL DIRECCION X = 5

S<sub>0</sub> = 0.017

| COORDENADA | I | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      |
|------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| J          |   |        |        |        |        |        |        |        |        |
| X          | 1 | 0      | 2.2698 | 2.2698 | 0      | 1.1349 | 2.2698 | 1.1349 | 0      |
| Y          | 1 | 0.1530 | 0.1144 | 0.2063 | 0.2449 | 0.1337 | 0.1603 | 0.2256 | 0.1999 |
| X          | 2 | 2.2698 | 2.328  | 2.328  | 2.2999 | 2.2999 | 2.328  | 2.2999 | 2.2698 |
| Y          | 2 | 0.1144 | 0.1717 | 0.2707 | 0.2063 | 0.1431 | 0.2212 | 0.2365 | 0.1603 |
| X          | 3 | 2.328  | 2.3962 | 2.3962 | 2.328  | 2.3571 | 2.3962 | 2.3571 | 2.328  |
| Y          | 3 | 0.1717 | 0.1124 | 0.2043 | 0.2707 | 0.1421 | 0.1579 | 0.2375 | 0.2212 |
| X          | 4 | 2.3962 | 5.6931 | 5.6931 | 2.3962 | 4.0399 | 5.6931 | 4.0399 | 2.3962 |
| Y          | 4 | 0.1124 | 0.0562 | 0.1461 | 0.2043 | 0.0813 | 0.1021 | 0.1762 | 0.1593 |
| X          | 5 | 5.6931 | 9      | 9      | 5.6931 | 7.3466 | 9      | 7.3466 | 5.6931 |
| Y          | 5 | 0.0562 | 0      | 0.0919 | 0.1461 | 0.0281 | 0.0459 | 0.1200 | 0.1021 |

```

*****
***** INFORMACION GENERAL DE LOS *****
***** ELEMENTOS *****
*****
***** DATOS EN " METROS Y SEGUNDOS " *****
*****
***** NXC 1J =9 *****
***** NXC 2J =9 *****
***** NXC 3J =9 *****
***** NXC 4J =9 *****
***** NXC 5J =9 *****
***** NYC 1J =9 *****
*****
***** NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES = 10 *****
***** ELEMENTOS LINEALES *****
***** NUMERO DE VECES QUE SE SUAVIZARA *****
***** LA RED=0 *****
***** TOLERANCIA = 0.000010 *****
***** TIRANTE AGUAS ARRIBA = 0.295 *****
***** TIRANTE AGUAS ABAJO = 0.287 *****
***** GASTO UTILIZADO = 0.030 *****
***** ANCHO DEL CANAL = 0.20 *****
***** NUMERO DE ELEMENTOS = 640 *****
***** NUMERO DE NODOS = 369 *****
*****
*****

```

TABLA 4.4

ITERACION = 10

|                     |            |
|---------------------|------------|
| COORD [0.000,0.006] | PSI= 0.000 |
| COORD [0.000,0.042] | PSI= 0.019 |
| COORD [0.000,0.078] | PSI= 0.038 |
| COORD [0.000,0.115] | PSI= 0.056 |
| COORD [0.000,0.151] | PSI= 0.075 |
| COORD [0.000,0.187] | PSI= 0.094 |
| COORD [0.000,0.223] | PSI= 0.112 |
| COORD [0.000,0.259] | PSI= 0.131 |
| COORD [0.000,0.295] | PSI= 0.150 |
| COORD [0.268,0.006] | PSI= 0.000 |
| COORD [0.268,0.042] | PSI= 0.019 |
| COORD [0.268,0.078] | PSI= 0.038 |
| COORD [0.268,0.115] | PSI= 0.056 |
| COORD [0.268,0.151] | PSI= 0.075 |
| COORD [0.268,0.187] | PSI= 0.094 |
| COORD [0.268,0.223] | PSI= 0.113 |
| COORD [0.268,0.259] | PSI= 0.131 |
| COORD [0.268,0.295] | PSI= 0.150 |
| COORD [0.535,0.006] | PSI= 0.000 |
| COORD [0.535,0.042] | PSI= 0.019 |
| COORD [0.535,0.078] | PSI= 0.038 |
| COORD [0.535,0.115] | PSI= 0.056 |
| COORD [0.535,0.151] | PSI= 0.075 |
| COORD [0.535,0.187] | PSI= 0.094 |
| COORD [0.535,0.223] | PSI= 0.113 |
| COORD [0.535,0.259] | PSI= 0.131 |
| COORD [0.535,0.295] | PSI= 0.150 |
| COORD [0.803,0.006] | PSI= 0.000 |
| COORD [0.803,0.042] | PSI= 0.019 |
| COORD [0.803,0.078] | PSI= 0.038 |
| COORD [0.803,0.114] | PSI= 0.056 |
| COORD [0.803,0.151] | PSI= 0.075 |
| COORD [0.803,0.187] | PSI= 0.094 |
| COORD [0.803,0.223] | PSI= 0.113 |
| COORD [0.803,0.259] | PSI= 0.131 |
| COORD [0.803,0.295] | PSI= 0.150 |
| COORD [1.070,0.006] | PSI= 0.000 |
| COORD [1.070,0.042] | PSI= 0.019 |
| COORD [1.070,0.078] | PSI= 0.038 |
| COORD [1.070,0.114] | PSI= 0.056 |
| COORD [1.070,0.150] | PSI= 0.075 |
| COORD [1.070,0.187] | PSI= 0.094 |
| COORD [1.070,0.223] | PSI= 0.113 |
| COORD [1.070,0.259] | PSI= 0.131 |
| COORD [1.070,0.295] | PSI= 0.150 |
| COORD [1.337,0.005] | PSI= 0.000 |
| COORD [1.337,0.042] | PSI= 0.019 |
| COORD [1.337,0.078] | PSI= 0.037 |
| COORD [1.337,0.114] | PSI= 0.056 |
| COORD [1.337,0.150] | PSI= 0.075 |
| COORD [1.337,0.186] | PSI= 0.094 |
| COORD [1.337,0.222] | PSI= 0.112 |
| COORD [1.337,0.259] | PSI= 0.131 |
| COORD [1.337,0.295] | PSI= 0.150 |
| COORD [1.605,0.005] | PSI= 0.000 |
| COORD [1.605,0.041] | PSI= 0.019 |
| COORD [1.605,0.077] | PSI= 0.037 |
| COORD [1.605,0.114] | PSI= 0.056 |
| COORD [1.605,0.150] | PSI= 0.075 |
| COORD [1.605,0.186] | PSI= 0.094 |
| COORD [1.605,0.222] | PSI= 0.112 |
| COORD [1.605,0.258] | PSI= 0.131 |
| COORD [1.605,0.294] | PSI= 0.150 |



|                     |            |
|---------------------|------------|
| COORD [1.872,0.005] | PSI= 0.000 |
| COORD [1.872,0.041] | PSI= 0.018 |
| COORD [1.872,0.077] | PSI= 0.037 |
| COORD [1.872,0.113] | PSI= 0.055 |
| COORD [1.872,0.149] | PSI= 0.074 |
| COORD [1.872,0.185] | PSI= 0.093 |
| COORD [1.872,0.222] | PSI= 0.112 |
| COORD [1.872,0.258] | PSI= 0.131 |
| COORD [1.872,0.294] | PSI= 0.150 |
| COORD [2.139,0.005] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.139,0.041] | PSI= 0.013 |
| COORD [2.139,0.077] | PSI= 0.029 |
| COORD [2.139,0.113] | PSI= 0.047 |
| COORD [2.139,0.149] | PSI= 0.067 |
| COORD [2.139,0.185] | PSI= 0.088 |
| COORD [2.139,0.221] | PSI= 0.109 |
| COORD [2.139,0.257] | PSI= 0.130 |
| COORD [2.139,0.293] | PSI= 0.150 |
| COORD [2.152,0.018] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.152,0.054] | PSI= 0.014 |
| COORD [2.152,0.089] | PSI= 0.031 |
| COORD [2.152,0.125] | PSI= 0.051 |
| COORD [2.152,0.161] | PSI= 0.073 |
| COORD [2.152,0.197] | PSI= 0.096 |
| COORD [2.152,0.233] | PSI= 0.117 |
| COORD [2.152,0.268] | PSI= 0.136 |
| COORD [2.152,0.304] | PSI= 0.150 |
| COORD [2.165,0.031] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.165,0.066] | PSI= 0.013 |
| COORD [2.165,0.101] | PSI= 0.034 |
| COORD [2.165,0.136] | PSI= 0.055 |
| COORD [2.165,0.171] | PSI= 0.078 |
| COORD [2.165,0.205] | PSI= 0.101 |
| COORD [2.165,0.240] | PSI= 0.122 |
| COORD [2.165,0.275] | PSI= 0.139 |
| COORD [2.165,0.310] | PSI= 0.150 |
| COORD [2.178,0.044] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.178,0.077] | PSI= 0.016 |
| COORD [2.178,0.111] | PSI= 0.036 |
| COORD [2.178,0.144] | PSI= 0.059 |
| COORD [2.178,0.177] | PSI= 0.083 |
| COORD [2.178,0.211] | PSI= 0.106 |
| COORD [2.178,0.244] | PSI= 0.126 |
| COORD [2.178,0.277] | PSI= 0.141 |
| COORD [2.178,0.310] | PSI= 0.150 |
| COORD [2.191,0.057] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.191,0.088] | PSI= 0.017 |
| COORD [2.191,0.119] | PSI= 0.038 |
| COORD [2.191,0.150] | PSI= 0.061 |
| COORD [2.191,0.181] | PSI= 0.086 |
| COORD [2.191,0.212] | PSI= 0.109 |
| COORD [2.191,0.243] | PSI= 0.128 |
| COORD [2.191,0.274] | PSI= 0.142 |
| COORD [2.191,0.305] | PSI= 0.150 |
| COORD [2.204,0.070] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.204,0.098] | PSI= 0.017 |
| COORD [2.204,0.127] | PSI= 0.039 |
| COORD [2.204,0.155] | PSI= 0.063 |
| COORD [2.204,0.183] | PSI= 0.087 |
| COORD [2.204,0.211] | PSI= 0.110 |
| COORD [2.204,0.239] | PSI= 0.129 |
| COORD [2.204,0.267] | PSI= 0.142 |
| COORD [2.204,0.295] | PSI= 0.150 |
| COORD [2.217,0.084] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.217,0.108] | PSI= 0.018 |
| COORD [2.217,0.132] | PSI= 0.040 |

|       |               |            |
|-------|---------------|------------|
| COORD | (2.217,0.157) | PSI= 0.064 |
| COORD | (2.217,0.181) | PSI= 0.087 |
| COORD | (2.217,0.206) | PSI= 0.109 |
| COORD | (2.217,0.230) | PSI= 0.128 |
| COORD | (2.217,0.255) | PSI= 0.142 |
| COORD | (2.217,0.279) | PSI= 0.150 |
| COORD | (2.231,0.097) | PSI= 0.000 |
| COORD | (2.231,0.117) | PSI= 0.019 |
| COORD | (2.231,0.137) | PSI= 0.042 |
| COORD | (2.231,0.157) | PSI= 0.065 |
| COORD | (2.231,0.177) | PSI= 0.084 |
| COORD | (2.231,0.197) | PSI= 0.104 |
| COORD | (2.231,0.218) | PSI= 0.124 |
| COORD | (2.231,0.238) | PSI= 0.140 |
| COORD | (2.231,0.258) | PSI= 0.150 |
| COORD | (2.244,0.110) | PSI= 0.000 |
| COORD | (2.244,0.125) | PSI= 0.024 |
| COORD | (2.244,0.140) | PSI= 0.043 |
| COORD | (2.244,0.155) | PSI= 0.061 |
| COORD | (2.244,0.170) | PSI= 0.078 |
| COORD | (2.244,0.186) | PSI= 0.095 |
| COORD | (2.244,0.201) | PSI= 0.113 |
| COORD | (2.244,0.216) | PSI= 0.131 |
| COORD | (2.244,0.231) | PSI= 0.150 |
| COORD | (2.275,0.097) | PSI= 0.000 |
| COORD | (2.275,0.116) | PSI= 0.020 |
| COORD | (2.275,0.136) | PSI= 0.041 |
| COORD | (2.275,0.156) | PSI= 0.061 |
| COORD | (2.275,0.175) | PSI= 0.080 |
| COORD | (2.275,0.195) | PSI= 0.100 |
| COORD | (2.275,0.215) | PSI= 0.118 |
| COORD | (2.275,0.234) | PSI= 0.136 |
| COORD | (2.275,0.254) | PSI= 0.150 |
| COORD | (2.305,0.065) | PSI= 0.000 |
| COORD | (2.305,0.107) | PSI= 0.020 |
| COORD | (2.305,0.131) | PSI= 0.040 |
| COORD | (2.305,0.154) | PSI= 0.061 |
| COORD | (2.305,0.178) | PSI= 0.081 |
| COORD | (2.305,0.202) | PSI= 0.101 |
| COORD | (2.305,0.225) | PSI= 0.119 |
| COORD | (2.305,0.249) | PSI= 0.136 |
| COORD | (2.305,0.272) | PSI= 0.150 |
| COORD | (2.336,0.070) | PSI= 0.000 |
| COORD | (2.336,0.097) | PSI= 0.019 |
| COORD | (2.336,0.124) | PSI= 0.040 |
| COORD | (2.336,0.151) | PSI= 0.060 |
| COORD | (2.336,0.178) | PSI= 0.081 |
| COORD | (2.336,0.205) | PSI= 0.101 |
| COORD | (2.336,0.232) | PSI= 0.119 |
| COORD | (2.336,0.260) | PSI= 0.136 |
| COORD | (2.336,0.287) | PSI= 0.150 |
| COORD | (2.367,0.057) | PSI= 0.000 |
| COORD | (2.367,0.087) | PSI= 0.019 |
| COORD | (2.367,0.117) | PSI= 0.039 |
| COORD | (2.367,0.147) | PSI= 0.060 |
| COORD | (2.367,0.177) | PSI= 0.080 |
| COORD | (2.367,0.207) | PSI= 0.100 |
| COORD | (2.367,0.237) | PSI= 0.118 |
| COORD | (2.367,0.267) | PSI= 0.135 |
| COORD | (2.367,0.296) | PSI= 0.150 |
| COORD | (2.398,0.044) | PSI= 0.000 |
| COORD | (2.398,0.076) | PSI= 0.019 |
| COORD | (2.398,0.108) | PSI= 0.038 |
| COORD | (2.398,0.141) | PSI= 0.058 |
| COORD | (2.398,0.173) | PSI= 0.079 |
| COORD | (2.398,0.205) | PSI= 0.098 |

|                     |            |
|---------------------|------------|
| COORD [2.398,0.237] | PSI= 0.117 |
| COORD [2.398,0.270] | PSI= 0.135 |
| COORD [2.398,0.302] | PSI= 0.150 |
| COORD [2.428,0.031] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.428,0.065] | PSI= 0.018 |
| COORD [2.428,0.099] | PSI= 0.037 |
| COORD [2.428,0.133] | PSI= 0.057 |
| COORD [2.428,0.167] | PSI= 0.077 |
| COORD [2.428,0.201] | PSI= 0.097 |
| COORD [2.428,0.235] | PSI= 0.116 |
| COORD [2.428,0.269] | PSI= 0.134 |
| COORD [2.428,0.303] | PSI= 0.150 |
| COORD [2.459,0.018] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.459,0.053] | PSI= 0.017 |
| COORD [2.459,0.088] | PSI= 0.036 |
| COORD [2.459,0.124] | PSI= 0.055 |
| COORD [2.459,0.159] | PSI= 0.074 |
| COORD [2.459,0.194] | PSI= 0.094 |
| COORD [2.459,0.230] | PSI= 0.114 |
| COORD [2.459,0.265] | PSI= 0.132 |
| COORD [2.459,0.300] | PSI= 0.150 |
| COORD [2.490,0.005] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.490,0.041] | PSI= 0.017 |
| COORD [2.490,0.077] | PSI= 0.034 |
| COORD [2.490,0.113] | PSI= 0.052 |
| COORD [2.490,0.149] | PSI= 0.071 |
| COORD [2.490,0.185] | PSI= 0.091 |
| COORD [2.490,0.221] | PSI= 0.110 |
| COORD [2.490,0.257] | PSI= 0.130 |
| COORD [2.490,0.293] | PSI= 0.150 |
| COORD [2.897,0.004] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.897,0.040] | PSI= 0.017 |
| COORD [2.897,0.077] | PSI= 0.037 |
| COORD [2.897,0.113] | PSI= 0.056 |
| COORD [2.897,0.149] | PSI= 0.075 |
| COORD [2.897,0.185] | PSI= 0.094 |
| COORD [2.897,0.221] | PSI= 0.112 |
| COORD [2.897,0.258] | PSI= 0.131 |
| COORD [2.897,0.294] | PSI= 0.150 |
| COORD [3.304,0.004] | PSI= 0.000 |
| COORD [3.304,0.040] | PSI= 0.017 |
| COORD [3.304,0.077] | PSI= 0.037 |
| COORD [3.304,0.113] | PSI= 0.056 |
| COORD [3.304,0.149] | PSI= 0.075 |
| COORD [3.304,0.186] | PSI= 0.094 |
| COORD [3.304,0.222] | PSI= 0.112 |
| COORD [3.304,0.258] | PSI= 0.131 |
| COORD [3.304,0.295] | PSI= 0.150 |
| COORD [3.711,0.004] | PSI= 0.000 |
| COORD [3.711,0.040] | PSI= 0.019 |
| COORD [3.711,0.077] | PSI= 0.038 |
| COORD [3.711,0.113] | PSI= 0.056 |
| COORD [3.711,0.149] | PSI= 0.075 |
| COORD [3.711,0.186] | PSI= 0.094 |
| COORD [3.711,0.222] | PSI= 0.113 |
| COORD [3.711,0.259] | PSI= 0.131 |
| COORD [3.711,0.295] | PSI= 0.150 |
| COORD [4.118,0.003] | PSI= 0.000 |
| COORD [4.118,0.040] | PSI= 0.019 |
| COORD [4.118,0.076] | PSI= 0.038 |
| COORD [4.118,0.113] | PSI= 0.056 |
| COORD [4.118,0.149] | PSI= 0.075 |
| COORD [4.118,0.186] | PSI= 0.094 |
| COORD [4.118,0.222] | PSI= 0.112 |
| COORD [4.118,0.259] | PSI= 0.131 |
| COORD [4.118,0.295] | PSI= 0.150 |

|                     |            |
|---------------------|------------|
| COORD [4.525,0.003] | PSI= 0.000 |
| COORD [4.525,0.040] | PSI= 0.019 |
| COORD [4.525,0.076] | PSI= 0.038 |
| COORD [4.525,0.113] | PSI= 0.056 |
| COORD [4.525,0.149] | PSI= 0.075 |
| COORD [4.525,0.186] | PSI= 0.094 |
| COORD [4.525,0.223] | PSI= 0.113 |
| COORD [4.525,0.259] | PSI= 0.131 |
| COORD [4.525,0.296] | PSI= 0.150 |
| COORD [4.932,0.003] | PSI= 0.000 |
| COORD [4.932,0.039] | PSI= 0.019 |
| COORD [4.932,0.076] | PSI= 0.038 |
| COORD [4.932,0.113] | PSI= 0.056 |
| COORD [4.932,0.149] | PSI= 0.075 |
| COORD [4.932,0.186] | PSI= 0.094 |
| COORD [4.932,0.223] | PSI= 0.113 |
| COORD [4.932,0.259] | PSI= 0.131 |
| COORD [4.932,0.296] | PSI= 0.150 |
| COORD [5.338,0.003] | PSI= 0.000 |
| COORD [5.338,0.039] | PSI= 0.019 |
| COORD [5.338,0.076] | PSI= 0.038 |
| COORD [5.338,0.113] | PSI= 0.056 |
| COORD [5.338,0.149] | PSI= 0.075 |
| COORD [5.338,0.186] | PSI= 0.094 |
| COORD [5.338,0.223] | PSI= 0.113 |
| COORD [5.338,0.259] | PSI= 0.131 |
| COORD [5.338,0.296] | PSI= 0.150 |
| COORD [5.745,0.003] | PSI= 0.000 |
| COORD [5.745,0.039] | PSI= 0.019 |
| COORD [5.745,0.076] | PSI= 0.037 |
| COORD [5.745,0.112] | PSI= 0.056 |
| COORD [5.745,0.149] | PSI= 0.075 |
| COORD [5.745,0.186] | PSI= 0.094 |
| COORD [5.745,0.222] | PSI= 0.112 |
| COORD [5.745,0.259] | PSI= 0.131 |
| COORD [5.745,0.295] | PSI= 0.150 |
| COORD [6.152,0.002] | PSI= 0.000 |
| COORD [6.152,0.039] | PSI= 0.019 |
| COORD [6.152,0.076] | PSI= 0.038 |
| COORD [6.152,0.112] | PSI= 0.056 |
| COORD [6.152,0.149] | PSI= 0.075 |
| COORD [6.152,0.186] | PSI= 0.094 |
| COORD [6.152,0.223] | PSI= 0.113 |
| COORD [6.152,0.259] | PSI= 0.131 |
| COORD [6.152,0.296] | PSI= 0.150 |
| COORD [6.559,0.002] | PSI= 0.000 |
| COORD [6.559,0.039] | PSI= 0.019 |
| COORD [6.559,0.075] | PSI= 0.038 |
| COORD [6.559,0.112] | PSI= 0.056 |
| COORD [6.559,0.149] | PSI= 0.075 |
| COORD [6.559,0.186] | PSI= 0.094 |
| COORD [6.559,0.223] | PSI= 0.113 |
| COORD [6.559,0.260] | PSI= 0.131 |
| COORD [6.559,0.296] | PSI= 0.150 |
| COORD [6.966,0.001] | PSI= 0.000 |
| COORD [6.966,0.038] | PSI= 0.019 |
| COORD [6.966,0.075] | PSI= 0.038 |
| COORD [6.966,0.112] | PSI= 0.056 |
| COORD [6.966,0.149] | PSI= 0.075 |
| COORD [6.966,0.186] | PSI= 0.094 |
| COORD [6.966,0.223] | PSI= 0.113 |
| COORD [6.966,0.259] | PSI= 0.131 |
| COORD [6.966,0.296] | PSI= 0.150 |
| COORD [7.373,0.001] | PSI= 0.000 |
| COORD [7.373,0.038] | PSI= 0.019 |
| COORD [7.373,0.075] | PSI= 0.038 |

|       |               |            |
|-------|---------------|------------|
| COORD | [7.373,0.112] | PSI= 0.056 |
| COORD | [7.373,0.148] | PSI= 0.075 |
| COORD | [7.373,0.185] | PSI= 0.094 |
| COORD | [7.373,0.222] | PSI= 0.113 |
| COORD | [7.373,0.259] | PSI= 0.131 |
| COORD | [7.373,0.296] | PSI= 0.150 |
| COORD | [7.780,0.001] | PSI= 0.000 |
| COORD | [7.780,0.038] | PSI= 0.019 |
| COORD | [7.780,0.074] | PSI= 0.038 |
| COORD | [7.780,0.111] | PSI= 0.056 |
| COORD | [7.780,0.148] | PSI= 0.075 |
| COORD | [7.780,0.184] | PSI= 0.094 |
| COORD | [7.780,0.221] | PSI= 0.113 |
| COORD | [7.780,0.258] | PSI= 0.131 |
| COORD | [7.780,0.295] | PSI= 0.150 |
| COORD | [8.187,0.001] | PSI= 0.000 |
| COORD | [8.187,0.037] | PSI= 0.019 |
| COORD | [8.187,0.074] | PSI= 0.038 |
| COORD | [8.187,0.110] | PSI= 0.056 |
| COORD | [8.187,0.147] | PSI= 0.075 |
| COORD | [8.187,0.183] | PSI= 0.094 |
| COORD | [8.187,0.220] | PSI= 0.113 |
| COORD | [8.187,0.257] | PSI= 0.131 |
| COORD | [8.187,0.293] | PSI= 0.150 |
| COORD | [8.593,0.000] | PSI= 0.000 |
| COORD | [8.593,0.037] | PSI= 0.019 |
| COORD | [8.593,0.073] | PSI= 0.038 |
| COORD | [8.593,0.109] | PSI= 0.056 |
| COORD | [8.593,0.146] | PSI= 0.075 |
| COORD | [8.593,0.182] | PSI= 0.094 |
| COORD | [8.593,0.218] | PSI= 0.113 |
| COORD | [8.593,0.255] | PSI= 0.131 |
| COORD | [8.593,0.291] | PSI= 0.150 |
| COORD | [9.000,0.000] | PSI= 0.000 |
| COORD | [9.000,0.036] | PSI= 0.019 |
| COORD | [9.000,0.072] | PSI= 0.037 |
| COORD | [9.000,0.108] | PSI= 0.056 |
| COORD | [9.000,0.144] | PSI= 0.075 |
| COORD | [9.000,0.180] | PSI= 0.094 |
| COORD | [9.000,0.217] | PSI= 0.112 |
| COORD | [9.000,0.253] | PSI= 0.131 |
| COORD | [9.000,0.289] | PSI= 0.150 |

```

*****
***** INFORMACION GENERAL DE LOS *****
***** ELEMENTOS *****
***** DATOS EN " METROS Y SEGUNDOS " *****
***** NXC 1J =9 *****
***** NXC 2J =9 *****
***** NXC 3J =9 *****
***** NXC 4J =9 *****
***** NXC 5J =9 *****
***** NYC 1J =9 *****
***** NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES = 10 *****
***** ELEMENTOS LINEALES *****
***** NUMERO DE VECES QUE SE SUAVIZARA *****
***** LA RED=0 *****
***** TOLERANCIA = 0.000100 *****
***** TIRANTE AGUAS ARRIBA = 0.293 *****
***** TIRANTE AGUAS ABAJO = 0.090 *****
***** GASTO UTILIZADO = -0.015 *****
***** ANCHO DEL CANAL = 0.20 *****
***** NUMERO DE ELEMENTOS = 640 *****
***** NUMERO DE NODOS = 369 *****
*****

```

\*\*\*\*\*  
**TABLA 4.5**  
\*\*\*\*\*

## ITERATION = 10

|       |               |            |
|-------|---------------|------------|
| COORD | 00.000,0.0083 | PSI= 0.000 |
| COORD | 00.000,0.0443 | PSI= 0.016 |
| COORD | 00.000,0.0793 | PSI= 0.031 |
| COORD | 00.000,0.1153 | PSI= 0.047 |
| COORD | 00.000,0.1513 | PSI= 0.062 |
| COORD | 00.000,0.1863 | PSI= 0.078 |
| COORD | 00.000,0.2223 | PSI= 0.094 |
| COORD | 00.000,0.2583 | PSI= 0.109 |
| COORD | 00.000,0.2943 | PSI= 0.125 |
| COORD | 00.275,0.0083 | PSI= 0.000 |
| COORD | 00.275,0.0443 | PSI= 0.016 |
| COORD | 00.275,0.0793 | PSI= 0.031 |
| COORD | 00.275,0.1153 | PSI= 0.047 |
| COORD | 00.275,0.1513 | PSI= 0.062 |
| COORD | 00.275,0.1863 | PSI= 0.078 |
| COORD | 00.275,0.2223 | PSI= 0.094 |
| COORD | 00.275,0.2583 | PSI= 0.109 |
| COORD | 00.275,0.2943 | PSI= 0.125 |
| COORD | 00.550,0.0083 | PSI= 0.000 |
| COORD | 00.550,0.0443 | PSI= 0.016 |
| COORD | 00.550,0.0793 | PSI= 0.031 |
| COORD | 00.550,0.1153 | PSI= 0.047 |
| COORD | 00.550,0.1503 | PSI= 0.063 |
| COORD | 00.550,0.1863 | PSI= 0.078 |
| COORD | 00.550,0.2223 | PSI= 0.094 |
| COORD | 00.550,0.2573 | PSI= 0.109 |
| COORD | 00.550,0.2933 | PSI= 0.125 |
| COORD | 00.825,0.0073 | PSI= 0.000 |
| COORD | 00.825,0.0433 | PSI= 0.016 |
| COORD | 00.825,0.0793 | PSI= 0.031 |
| COORD | 00.825,0.1143 | PSI= 0.047 |
| COORD | 00.825,0.1503 | PSI= 0.062 |
| COORD | 00.825,0.1863 | PSI= 0.078 |
| COORD | 00.825,0.2213 | PSI= 0.094 |
| COORD | 00.825,0.2573 | PSI= 0.109 |
| COORD | 00.825,0.2933 | PSI= 0.125 |
| COORD | 01.101,0.0073 | PSI= 0.000 |
| COORD | 01.101,0.0433 | PSI= 0.016 |
| COORD | 01.101,0.0793 | PSI= 0.031 |
| COORD | 01.101,0.1143 | PSI= 0.047 |
| COORD | 01.101,0.1503 | PSI= 0.062 |
| COORD | 01.101,0.1863 | PSI= 0.078 |
| COORD | 01.101,0.2213 | PSI= 0.094 |
| COORD | 01.101,0.2573 | PSI= 0.109 |
| COORD | 01.101,0.2933 | PSI= 0.125 |
| COORD | 01.376,0.0073 | PSI= 0.000 |
| COORD | 01.376,0.0433 | PSI= 0.016 |
| COORD | 01.376,0.0793 | PSI= 0.031 |
| COORD | 01.376,0.1143 | PSI= 0.047 |
| COORD | 01.376,0.1503 | PSI= 0.062 |
| COORD | 01.376,0.1863 | PSI= 0.078 |
| COORD | 01.376,0.2213 | PSI= 0.094 |
| COORD | 01.376,0.2573 | PSI= 0.109 |
| COORD | 01.376,0.2933 | PSI= 0.125 |
| COORD | 01.651,0.0073 | PSI= 0.000 |
| COORD | 01.651,0.0433 | PSI= 0.016 |
| COORD | 01.651,0.0793 | PSI= 0.031 |
| COORD | 01.651,0.1143 | PSI= 0.047 |
| COORD | 01.651,0.1503 | PSI= 0.062 |
| COORD | 01.651,0.1863 | PSI= 0.078 |
| COORD | 01.651,0.2213 | PSI= 0.094 |
| COORD | 01.651,0.2563 | PSI= 0.109 |
| COORD | 01.651,0.2923 | PSI= 0.125 |

|       |               |            |
|-------|---------------|------------|
| CCORD | 01.927,0.0061 | PSI= 0.000 |
| CCORD | 01.927,0.0423 | PSI= 0.015 |
| CCORD | 01.927,0.0785 | PSI= 0.031 |
| CCORD | 01.927,0.1147 | PSI= 0.046 |
| CCORD | 01.927,0.1499 | PSI= 0.062 |
| CCORD | 01.927,0.1851 | PSI= 0.078 |
| CCORD | 01.927,0.2213 | PSI= 0.093 |
| CCORD | 01.927,0.2565 | PSI= 0.109 |
| CCORD | 01.927,0.2927 | PSI= 0.124 |
| CCORD | 02.202,0.0061 | PSI= 0.000 |
| CCORD | 02.202,0.0423 | PSI= 0.011 |
| CCORD | 02.202,0.0785 | PSI= 0.023 |
| CCORD | 02.202,0.1147 | PSI= 0.041 |
| CCORD | 02.202,0.1499 | PSI= 0.058 |
| CCORD | 02.202,0.1851 | PSI= 0.075 |
| CCORD | 02.202,0.2203 | PSI= 0.093 |
| CCORD | 02.202,0.2561 | PSI= 0.109 |
| CCORD | 02.202,0.2923 | PSI= 0.125 |
| CCORD | 02.217,0.0020 | PSI= 0.000 |
| CCORD | 02.217,0.0653 | PSI= 0.010 |
| CCORD | 02.217,0.0677 | PSI= 0.012 |
| CCORD | 02.217,0.1200 | PSI= 0.041 |
| CCORD | 02.217,0.1543 | PSI= 0.059 |
| CCORD | 02.217,0.1877 | PSI= 0.077 |
| CCORD | 02.217,0.2200 | PSI= 0.094 |
| CCORD | 02.217,0.2543 | PSI= 0.110 |
| CCORD | 02.217,0.2877 | PSI= 0.125 |
| CCORD | 02.231,0.0341 | PSI= 0.060 |
| CCORD | 02.231,0.0651 | PSI= 0.012 |
| CCORD | 02.231,0.0961 | PSI= 0.026 |
| CCORD | 02.231,0.1271 | PSI= 0.041 |
| CCORD | 02.231,0.1581 | PSI= 0.056 |
| CCORD | 02.231,0.1891 | PSI= 0.071 |
| CCORD | 02.231,0.2201 | PSI= 0.086 |
| CCORD | 02.231,0.2521 | PSI= 0.110 |
| CCORD | 02.231,0.2831 | PSI= 0.125 |
| CCORD | 02.246,0.0471 | PSI= 0.000 |
| CCORD | 02.246,0.0761 | PSI= 0.011 |
| CCORD | 02.246,0.1051 | PSI= 0.027 |
| CCORD | 02.246,0.1341 | PSI= 0.042 |
| CCORD | 02.246,0.1631 | PSI= 0.057 |
| CCORD | 02.246,0.1911 | PSI= 0.080 |
| CCORD | 02.246,0.2201 | PSI= 0.096 |
| CCORD | 02.246,0.2491 | PSI= 0.111 |
| CCORD | 02.246,0.2781 | PSI= 0.125 |
| CCORD | 02.261,0.0311 | PSI= 0.000 |
| CCORD | 02.261,0.0871 | PSI= 0.013 |
| CCORD | 02.261,0.1141 | PSI= 0.029 |
| CCORD | 02.261,0.1401 | PSI= 0.047 |
| CCORD | 02.261,0.1671 | PSI= 0.065 |
| CCORD | 02.261,0.1931 | PSI= 0.082 |
| CCORD | 02.261,0.2201 | PSI= 0.098 |
| CCORD | 02.261,0.2461 | PSI= 0.112 |
| CCORD | 02.261,0.2731 | PSI= 0.125 |
| CCORD | 02.276,0.0751 | PSI= 0.000 |
| CCORD | 02.276,0.0991 | PSI= 0.014 |
| CCORD | 02.276,0.1231 | PSI= 0.027 |
| CCORD | 02.276,0.1471 | PSI= 0.039 |
| CCORD | 02.276,0.1711 | PSI= 0.054 |
| CCORD | 02.276,0.1951 | PSI= 0.068 |
| CCORD | 02.276,0.2191 | PSI= 0.080 |
| CCORD | 02.276,0.2431 | PSI= 0.117 |
| CCORD | 02.276,0.2671 | PSI= 0.125 |
| CCORD | 02.291,0.0261 | PSI= 0.000 |
| CCORD | 02.291,0.1111 | PSI= 0.012 |
| CCORD | 02.291,0.1961 | PSI= 0.025 |



COORD (2.290,0.1833) PSI= 0.085  
 COORD (2.290,0.1751) PSI= 0.075  
 COORD (2.290,0.1977) PSI= 0.089  
 COORD (2.290,0.2191) PSI= 0.102  
 COORD (2.290,0.2407) PSI= 0.114  
 COORD (2.290,0.2621) PSI= 0.125  
 COORD (2.305,0.1021) PSI= 0.000  
 COORD (2.305,0.1211) PSI= 0.019  
 COORD (2.305,0.1411) PSI= 0.042  
 COORD (2.305,0.1601) PSI= 0.062  
 COORD (2.305,0.1791) PSI= 0.079  
 COORD (2.305,0.1991) PSI= 0.094  
 COORD (2.305,0.2181) PSI= 0.106  
 COORD (2.305,0.2371) PSI= 0.116  
 COORD (2.320,0.1057) PSI= 0.125  
 COORD (2.320,0.1151) PSI= 0.000  
 COORD (2.320,0.1321) PSI= 0.031  
 COORD (2.320,0.1441) PSI= 0.054  
 COORD (2.320,0.1561) PSI= 0.072  
 COORD (2.320,0.1671) PSI= 0.087  
 COORD (2.320,0.1791) PSI= 0.098  
 COORD (2.320,0.2171) PSI= 0.110  
 COORD (2.320,0.2341) PSI= 0.115  
 COORD (2.320,0.2511) PSI= 0.125  
 COORD (2.335,0.1021) PSI= 0.000  
 COORD (2.335,0.1191) PSI= 0.023  
 COORD (2.335,0.1351) PSI= 0.045  
 COORD (2.335,0.1521) PSI= 0.064  
 COORD (2.335,0.1691) PSI= 0.081  
 COORD (2.350,0.1851) PSI= 0.095  
 COORD (2.350,0.2011) PSI= 0.107  
 COORD (2.350,0.2171) PSI= 0.117  
 COORD (2.350,0.2331) PSI= 0.122  
 COORD (2.350,0.2491) PSI= 0.130  
 COORD (2.364,0.1051) PSI= 0.020  
 COORD (2.364,0.1211) PSI= 0.040  
 COORD (2.364,0.1371) PSI= 0.059  
 COORD (2.364,0.1531) PSI= 0.076  
 COORD (2.364,0.1701) PSI= 0.091  
 COORD (2.364,0.1861) PSI= 0.104  
 COORD (2.364,0.2021) PSI= 0.115  
 COORD (2.364,0.2191) PSI= 0.125  
 COORD (2.364,0.2341) PSI= 0.000  
 COORD (2.364,0.2511) PSI= 0.018  
 COORD (2.364,0.2671) PSI= 0.037  
 COORD (2.364,0.2831) PSI= 0.055  
 COORD (2.364,0.2991) PSI= 0.071  
 COORD (2.364,0.3151) PSI= 0.088  
 COORD (2.364,0.3311) PSI= 0.102  
 COORD (2.364,0.3471) PSI= 0.114  
 COORD (2.364,0.3631) PSI= 0.125  
 COORD (2.379,0.0611) PSI= 0.000  
 COORD (2.379,0.0761) PSI= 0.017  
 COORD (2.379,0.0921) PSI= 0.035  
 COORD (2.379,0.1081) PSI= 0.053  
 COORD (2.379,0.1231) PSI= 0.069  
 COORD (2.379,0.1391) PSI= 0.085  
 COORD (2.379,0.1541) PSI= 0.100  
 COORD (2.379,0.1701) PSI= 0.115  
 COORD (2.379,0.1851) PSI= 0.125  
 COORD (2.379,0.2011) PSI= 0.100  
 COORD (2.379,0.2171) PSI= 0.071  
 COORD (2.379,0.2331) PSI= 0.041  
 COORD (2.379,0.2491) PSI= 0.020  
 COORD (2.379,0.2641) PSI= 0.000

COORD [2.394,0.138] PSI= 0.099  
 COORD [2.394,0.153] PSI= 0.113  
 COORD [2.394,0.168] PSI= 0.125  
 COORD [2.408,0.025] PSI= 0.000  
 COORD [2.408,0.048] PSI= 0.014  
 COORD [2.408,0.062] PSI= 0.032  
 COORD [2.408,0.077] PSI= 0.049  
 COORD [2.408,0.092] PSI= 0.065  
 COORD [2.408,0.106] PSI= 0.081  
 COORD [2.408,0.121] PSI= 0.097  
 COORD [2.408,0.135] PSI= 0.112  
 COORD [2.408,0.150] PSI= 0.125  
 COORD [2.422,0.020] PSI= 0.000  
 COORD [2.422,0.034] PSI= 0.015  
 COORD [2.422,0.047] PSI= 0.030  
 COORD [2.422,0.061] PSI= 0.046  
 COORD [2.422,0.075] PSI= 0.062  
 COORD [2.422,0.089] PSI= 0.078  
 COORD [2.422,0.103] PSI= 0.095  
 COORD [2.422,0.117] PSI= 0.111  
 COORD [2.422,0.131] PSI= 0.125  
 COORD [2.436,0.056] PSI= 0.000  
 COORD [2.436,0.119] PSI= 0.010  
 COORD [2.436,0.022] PSI= 0.027  
 COORD [2.436,0.046] PSI= 0.041  
 COORD [2.436,0.059] PSI= 0.057  
 COORD [2.436,0.072] PSI= 0.072  
 COORD [2.436,0.085] PSI= 0.087  
 COORD [2.436,0.099] PSI= 0.102  
 COORD [2.436,0.112] PSI= 0.115  
 COORD [2.448,0.062] PSI= 0.000  
 COORD [2.448,0.075] PSI= 0.015  
 COORD [2.448,0.088] PSI= 0.031  
 COORD [2.448,0.101] PSI= 0.047  
 COORD [2.448,0.055] PSI= 0.062  
 COORD [2.448,0.071] PSI= 0.077  
 COORD [2.448,0.086] PSI= 0.094  
 COORD [2.448,0.100] PSI= 0.109  
 COORD [2.448,0.113] PSI= 0.125  
 COORD [2.448,0.025] PSI= 0.000  
 COORD [2.448,0.039] PSI= 0.016  
 COORD [2.448,0.053] PSI= 0.031  
 COORD [2.448,0.067] PSI= 0.047  
 COORD [2.448,0.081] PSI= 0.062  
 COORD [2.448,0.095] PSI= 0.078  
 COORD [2.448,0.109] PSI= 0.094  
 COORD [2.448,0.123] PSI= 0.109  
 COORD [2.448,0.114] PSI= 0.125  
 COORD [2.469,0.005] PSI= 0.000  
 COORD [2.469,0.019] PSI= 0.016  
 COORD [2.469,0.032] PSI= 0.031  
 COORD [2.469,0.046] PSI= 0.047  
 COORD [2.469,0.060] PSI= 0.063  
 COORD [2.469,0.074] PSI= 0.078  
 COORD [2.469,0.088] PSI= 0.094  
 COORD [2.469,0.102] PSI= 0.109  
 COORD [2.469,0.116] PSI= 0.125  
 COORD [2.479,0.004] PSI= 0.000  
 COORD [2.479,0.018] PSI= 0.015  
 COORD [2.479,0.032] PSI= 0.031  
 COORD [2.479,0.046] PSI= 0.047  
 COORD [2.479,0.060] PSI= 0.063  
 COORD [2.479,0.074] PSI= 0.078  
 COORD [2.479,0.088] PSI= 0.094  
 COORD [2.479,0.102] PSI= 0.109  
 COORD [2.479,0.116] PSI= 0.125  
 COORD [2.479,0.102] PSI= 0.109  
 COORD [2.479,0.116] PSI= 0.125

|       |               |            |
|-------|---------------|------------|
| COORD | 04.489,0.0943 | PSI= 0.000 |
| COORD | 04.489,0.0183 | PSI= 0.016 |
| COORD | 04.489,0.0323 | PSI= 0.021 |
| COORD | 04.489,0.0463 | PSI= 0.047 |
| COORD | 04.489,0.0603 | PSI= 0.067 |
| COORD | 04.489,0.0743 | PSI= 0.078 |
| COORD | 04.489,0.0883 | PSI= 0.094 |
| COORD | 04.489,0.1023 | PSI= 0.109 |
| COORD | 04.489,0.1163 | PSI= 0.125 |
| COORD | 04.899,0.0043 | PSI= 0.000 |
| COORD | 04.899,0.0183 | PSI= 0.016 |
| COORD | 04.899,0.0323 | PSI= 0.021 |
| COORD | 04.899,0.0463 | PSI= 0.047 |
| COORD | 04.899,0.0603 | PSI= 0.067 |
| COORD | 04.899,0.0743 | PSI= 0.078 |
| COORD | 04.899,0.0883 | PSI= 0.094 |
| COORD | 04.899,0.1023 | PSI= 0.109 |
| COORD | 04.899,0.1163 | PSI= 0.125 |
| COORD | 05.309,0.0003 | PSI= 0.000 |
| COORD | 05.309,0.0173 | PSI= 0.016 |
| COORD | 05.309,0.0343 | PSI= 0.031 |
| COORD | 05.309,0.0513 | PSI= 0.047 |
| COORD | 05.309,0.0683 | PSI= 0.067 |
| COORD | 05.309,0.0853 | PSI= 0.083 |
| COORD | 05.309,0.1023 | PSI= 0.098 |
| COORD | 05.309,0.1193 | PSI= 0.109 |
| COORD | 05.719,0.0003 | PSI= 0.000 |
| COORD | 05.719,0.0173 | PSI= 0.016 |
| COORD | 05.719,0.0343 | PSI= 0.031 |
| COORD | 05.719,0.0513 | PSI= 0.047 |
| COORD | 05.719,0.0683 | PSI= 0.067 |
| COORD | 05.719,0.0853 | PSI= 0.083 |
| COORD | 05.719,0.1023 | PSI= 0.098 |
| COORD | 05.719,0.1193 | PSI= 0.109 |
| COORD | 06.129,0.0003 | PSI= 0.000 |
| COORD | 06.129,0.0173 | PSI= 0.016 |
| COORD | 06.129,0.0343 | PSI= 0.031 |
| COORD | 06.129,0.0513 | PSI= 0.047 |
| COORD | 06.129,0.0683 | PSI= 0.067 |
| COORD | 06.129,0.0853 | PSI= 0.083 |
| COORD | 06.129,0.1023 | PSI= 0.098 |
| COORD | 06.129,0.1193 | PSI= 0.109 |
| COORD | 06.539,0.0003 | PSI= 0.000 |
| COORD | 06.539,0.0173 | PSI= 0.016 |
| COORD | 06.539,0.0343 | PSI= 0.031 |
| COORD | 06.539,0.0513 | PSI= 0.047 |
| COORD | 06.539,0.0683 | PSI= 0.067 |
| COORD | 06.539,0.0853 | PSI= 0.083 |
| COORD | 06.539,0.1023 | PSI= 0.098 |
| COORD | 06.539,0.1193 | PSI= 0.109 |
| COORD | 06.949,0.0003 | PSI= 0.000 |
| COORD | 06.949,0.0173 | PSI= 0.016 |
| COORD | 06.949,0.0343 | PSI= 0.031 |
| COORD | 06.949,0.0513 | PSI= 0.047 |
| COORD | 06.949,0.0683 | PSI= 0.067 |
| COORD | 06.949,0.0853 | PSI= 0.083 |
| COORD | 06.949,0.1023 | PSI= 0.098 |
| COORD | 06.949,0.1193 | PSI= 0.109 |
| COORD | 07.359,0.0003 | PSI= 0.000 |
| COORD | 07.359,0.0173 | PSI= 0.016 |
| COORD | 07.359,0.0343 | PSI= 0.031 |
| COORD | 07.359,0.0513 | PSI= 0.047 |
| COORD | 07.359,0.0683 | PSI= 0.067 |
| COORD | 07.359,0.0853 | PSI= 0.083 |
| COORD | 07.359,0.1023 | PSI= 0.098 |
| COORD | 07.359,0.1193 | PSI= 0.109 |

|       |               |            |
|-------|---------------|------------|
| COORD | 07.559,0.0443 | PSI= 0.047 |
| COORD | 07.559,0.0581 | PSI= 0.063 |
| COORD | 07.559,0.0721 | PSI= 0.078 |
| COORD | 07.559,0.0861 | PSI= 0.094 |
| COORD | 07.559,0.1001 | PSI= 0.109 |
| COORD | 07.559,0.1141 | PSI= 0.125 |
| COORD | 07.769,0.0013 | PSI= 0.000 |
| COORD | 07.769,0.0151 | PSI= 0.015 |
| COORD | 07.769,0.0291 | PSI= 0.031 |
| COORD | 07.769,0.0421 | PSI= 0.047 |
| COORD | 07.769,0.0551 | PSI= 0.062 |
| COORD | 07.769,0.0691 | PSI= 0.078 |
| COORD | 07.769,0.0831 | PSI= 0.094 |
| COORD | 07.769,0.0961 | PSI= 0.109 |
| COORD | 07.769,0.1101 | PSI= 0.125 |
| COORD | 08.179,0.0013 | PSI= 0.000 |
| COORD | 08.179,0.0143 | PSI= 0.016 |
| COORD | 08.179,0.0273 | PSI= 0.031 |
| COORD | 08.179,0.0403 | PSI= 0.047 |
| COORD | 08.179,0.0533 | PSI= 0.063 |
| COORD | 08.179,0.0663 | PSI= 0.078 |
| COORD | 08.179,0.0793 | PSI= 0.094 |
| COORD | 08.179,0.0923 | PSI= 0.109 |
| COORD | 08.179,0.1053 | PSI= 0.125 |
| COORD | 08.590,0.0003 | PSI= 0.000 |
| COORD | 08.590,0.0133 | PSI= 0.016 |
| COORD | 08.590,0.0263 | PSI= 0.031 |
| COORD | 08.590,0.0393 | PSI= 0.047 |
| COORD | 08.590,0.0523 | PSI= 0.062 |
| COORD | 08.590,0.0653 | PSI= 0.078 |
| COORD | 08.590,0.0783 | PSI= 0.094 |
| COORD | 08.590,0.0913 | PSI= 0.109 |
| COORD | 08.590,0.1043 | PSI= 0.125 |
| COORD | 08.590,0.1173 | PSI= 0.141 |
| COORD | 08.590,0.1303 | PSI= 0.156 |
| COORD | 08.590,0.1433 | PSI= 0.172 |
| COORD | 08.590,0.1563 | PSI= 0.187 |
| COORD | 08.590,0.1693 | PSI= 0.203 |
| COORD | 08.590,0.1823 | PSI= 0.218 |
| COORD | 08.590,0.1953 | PSI= 0.234 |
| COORD | 08.590,0.2083 | PSI= 0.249 |
| COORD | 08.590,0.2213 | PSI= 0.264 |
| COORD | 08.590,0.2343 | PSI= 0.280 |
| COORD | 08.590,0.2473 | PSI= 0.295 |
| COORD | 08.590,0.2603 | PSI= 0.311 |
| COORD | 08.590,0.2733 | PSI= 0.326 |
| COORD | 08.590,0.2863 | PSI= 0.341 |
| COORD | 08.590,0.2993 | PSI= 0.357 |
| COORD | 08.590,0.3123 | PSI= 0.372 |
| COORD | 08.590,0.3253 | PSI= 0.387 |
| COORD | 08.590,0.3383 | PSI= 0.403 |
| COORD | 08.590,0.3513 | PSI= 0.418 |
| COORD | 08.590,0.3643 | PSI= 0.433 |
| COORD | 08.590,0.3773 | PSI= 0.449 |
| COORD | 08.590,0.3903 | PSI= 0.464 |
| COORD | 08.590,0.4033 | PSI= 0.479 |
| COORD | 08.590,0.4163 | PSI= 0.494 |
| COORD | 08.590,0.4293 | PSI= 0.510 |
| COORD | 08.590,0.4423 | PSI= 0.525 |
| COORD | 08.590,0.4553 | PSI= 0.540 |
| COORD | 08.590,0.4683 | PSI= 0.556 |
| COORD | 08.590,0.4813 | PSI= 0.571 |
| COORD | 08.590,0.4943 | PSI= 0.586 |
| COORD | 08.590,0.5073 | PSI= 0.602 |
| COORD | 08.590,0.5203 | PSI= 0.617 |
| COORD | 08.590,0.5333 | PSI= 0.632 |
| COORD | 08.590,0.5463 | PSI= 0.648 |
| COORD | 08.590,0.5593 | PSI= 0.663 |
| COORD | 08.590,0.5723 | PSI= 0.678 |
| COORD | 08.590,0.5853 | PSI= 0.693 |
| COORD | 08.590,0.5983 | PSI= 0.709 |
| COORD | 08.590,0.6113 | PSI= 0.724 |
| COORD | 08.590,0.6243 | PSI= 0.739 |
| COORD | 08.590,0.6373 | PSI= 0.754 |
| COORD | 08.590,0.6503 | PSI= 0.770 |
| COORD | 08.590,0.6633 | PSI= 0.785 |
| COORD | 08.590,0.6763 | PSI= 0.800 |
| COORD | 08.590,0.6893 | PSI= 0.815 |
| COORD | 08.590,0.7023 | PSI= 0.831 |
| COORD | 08.590,0.7153 | PSI= 0.846 |
| COORD | 08.590,0.7283 | PSI= 0.861 |
| COORD | 08.590,0.7413 | PSI= 0.876 |
| COORD | 08.590,0.7543 | PSI= 0.891 |
| COORD | 08.590,0.7673 | PSI= 0.907 |
| COORD | 08.590,0.7803 | PSI= 0.922 |
| COORD | 08.590,0.7933 | PSI= 0.937 |
| COORD | 08.590,0.8063 | PSI= 0.952 |
| COORD | 08.590,0.8193 | PSI= 0.967 |
| COORD | 08.590,0.8323 | PSI= 0.982 |
| COORD | 08.590,0.8453 | PSI= 0.997 |
| COORD | 08.590,0.8583 | PSI= 1.012 |
| COORD | 08.590,0.8713 | PSI= 1.028 |
| COORD | 08.590,0.8843 | PSI= 1.043 |
| COORD | 08.590,0.8973 | PSI= 1.058 |
| COORD | 08.590,0.9103 | PSI= 1.073 |
| COORD | 08.590,0.9233 | PSI= 1.088 |
| COORD | 08.590,0.9363 | PSI= 1.104 |
| COORD | 08.590,0.9493 | PSI= 1.119 |
| COORD | 08.590,0.9623 | PSI= 1.134 |
| COORD | 08.590,0.9753 | PSI= 1.149 |
| COORD | 08.590,0.9883 | PSI= 1.164 |
| COORD | 08.590,1.0013 | PSI= 1.179 |
| COORD | 08.590,1.0143 | PSI= 1.194 |
| COORD | 08.590,1.0273 | PSI= 1.210 |
| COORD | 08.590,1.0403 | PSI= 1.225 |
| COORD | 08.590,1.0533 | PSI= 1.240 |
| COORD | 08.590,1.0663 | PSI= 1.255 |
| COORD | 08.590,1.0793 | PSI= 1.270 |
| COORD | 08.590,1.0923 | PSI= 1.286 |
| COORD | 08.590,1.1053 | PSI= 1.301 |
| COORD | 08.590,1.1183 | PSI= 1.316 |
| COORD | 08.590,1.1313 | PSI= 1.331 |
| COORD | 08.590,1.1443 | PSI= 1.346 |
| COORD | 08.590,1.1573 | PSI= 1.361 |
| COORD | 08.590,1.1703 | PSI= 1.376 |
| COORD | 08.590,1.1833 | PSI= 1.391 |
| COORD | 08.590,1.1963 | PSI= 1.406 |
| COORD | 08.590,1.2093 | PSI= 1.421 |
| COORD | 08.590,1.2223 | PSI= 1.436 |
| COORD | 08.590,1.2353 | PSI= 1.451 |
| COORD | 08.590,1.2483 | PSI= 1.466 |
| COORD | 08.590,1.2613 | PSI= 1.481 |
| COORD | 08.590,1.2743 | PSI= 1.496 |
| COORD | 08.590,1.2873 | PSI= 1.511 |
| COORD | 08.590,1.3003 | PSI= 1.526 |
| COORD | 08.590,1.3133 | PSI= 1.541 |
| COORD | 08.590,1.3263 | PSI= 1.556 |
| COORD | 08.590,1.3393 | PSI= 1.571 |
| COORD | 08.590,1.3523 | PSI= 1.586 |
| COORD | 08.590,1.3653 | PSI= 1.601 |
| COORD | 08.590,1.3783 | PSI= 1.616 |
| COORD | 08.590,1.3913 | PSI= 1.631 |
| COORD | 08.590,1.4043 | PSI= 1.646 |
| COORD | 08.590,1.4173 | PSI= 1.661 |
| COORD | 08.590,1.4303 | PSI= 1.676 |
| COORD | 08.590,1.4433 | PSI= 1.691 |
| COORD | 08.590,1.4563 | PSI= 1.706 |
| COORD | 08.590,1.4693 | PSI= 1.721 |
| COORD | 08.590,1.4823 | PSI= 1.736 |
| COORD | 08.590,1.4953 | PSI= 1.751 |
| COORD | 08.590,1.5083 | PSI= 1.766 |
| COORD | 08.590,1.5213 | PSI= 1.781 |
| COORD | 08.590,1.5343 | PSI= 1.796 |
| COORD | 08.590,1.5473 | PSI= 1.811 |
| COORD | 08.590,1.5603 | PSI= 1.826 |
| COORD | 08.590,1.5733 | PSI= 1.841 |
| COORD | 08.590,1.5863 | PSI= 1.856 |
| COORD | 08.590,1.5993 | PSI= 1.871 |
| COORD | 08.590,1.6123 | PSI= 1.886 |
| COORD | 08.590,1.6253 | PSI= 1.901 |
| COORD | 08.590,1.6383 | PSI= 1.916 |
| COORD | 08.590,1.6513 | PSI= 1.931 |
| COORD | 08.590,1.6643 | PSI= 1.946 |
| COORD | 08.590,1.6773 | PSI= 1.961 |
| COORD | 08.590,1.6903 | PSI= 1.976 |
| COORD | 08.590,1.7033 | PSI= 1.991 |
| COORD | 08.590,1.7163 | PSI= 2.006 |
| COORD | 08.590,1.7293 | PSI= 2.021 |
| COORD | 08.590,1.7423 | PSI= 2.036 |
| COORD | 08.590,1.7553 | PSI= 2.051 |
| COORD | 08.590,1.7683 | PSI= 2.066 |
| COORD | 08.590,1.7813 | PSI= 2.081 |
| COORD | 08.590,1.7943 | PSI= 2.096 |
| COORD | 08.590,1.8073 | PSI= 2.111 |
| COORD | 08.590,1.8203 | PSI= 2.126 |
| COORD | 08.590,1.8333 | PSI= 2.141 |
| COORD | 08.590,1.8463 | PSI= 2.156 |
| COORD | 08.590,1.8593 | PSI= 2.171 |
| COORD | 08.590,1.8723 | PSI= 2.186 |
| COORD | 08.590,1.8853 | PSI= 2.201 |
| COORD | 08.590,1.8983 | PSI= 2.216 |
| COORD | 08.590,1.9113 | PSI= 2.231 |
| COORD | 08.590,1.9243 | PSI= 2.246 |
| COORD | 08.590,1.9373 | PSI= 2.261 |
| COORD | 08.590,1.9503 | PSI= 2.276 |
| COORD | 08.590,1.9633 | PSI= 2.291 |
| COORD | 08.590,1.9763 | PSI= 2.306 |
| COORD | 08.590,1.9893 | PSI= 2.321 |
| COORD | 08.590,2.0023 | PSI= 2.336 |
| COORD | 08.590,2.0153 | PSI= 2.351 |
| COORD | 08.590,2.0283 | PSI= 2.366 |
| COORD | 08.590,2.0413 | PSI= 2.381 |
| COORD | 08.590,2.0543 | PSI= 2.396 |
| COORD | 08.590,2.0673 | PSI= 2.411 |
| COORD | 08.590,2.0803 | PSI= 2.426 |
| COORD | 08.590,2.0933 | PSI= 2.441 |
| COORD | 08.590,2.1063 | PSI= 2.456 |
| COORD | 08.590,2.1193 | PSI= 2.471 |
| COORD | 08.590,2.1323 | PSI= 2.486 |
| COORD | 08.590,2.1453 | PSI= 2.501 |
| COORD | 08.590,2.1583 | PSI= 2.516 |
| COORD | 08.590,2.1713 | PSI= 2.531 |
| COORD | 08.590,2.1843 | PSI= 2.546 |
| COORD | 08.590,2.1973 | PSI= 2.561 |
| COORD | 08.590,2.2103 | PSI= 2.576 |
| COORD | 08.590,2.2233 | PSI= 2.591 |
| COORD | 08.590,2.2363 | PSI= 2.606 |
| COORD | 08.590,2.2493 | PSI= 2.621 |
| COORD | 08.590,2.2623 | PSI= 2.636 |
| COORD | 08.590,2.2753 | PSI= 2.651 |
| COORD | 08.590,2.2883 | PSI= 2.666 |
| COORD | 08.590,2.3013 | PSI= 2.681 |
| COORD | 08.590,2.3143 | PSI= 2.696 |
| COORD | 08.590,2.3273 | PSI= 2.711 |
| COORD | 08.590,2.3403 | PSI= 2.726 |
| COORD | 08.590,2.3533 | PSI= 2.741 |
| COORD | 08.590,2.3663 | PSI= 2.756 |
| COORD | 08.590,2.3793 | PSI= 2.771 |
| COORD | 08.590,2.3923 | PSI= 2.786 |
| COORD | 08.590,2.4053 | PSI= 2.801 |
| COORD | 08.590,2.4183 | PSI= 2.816 |
| COORD | 08.590,2.4313 | PSI= 2.831 |
| COORD | 08.590,2.4443 | PSI= 2.846 |
| COORD | 08.590,2.4573 | PSI= 2.861 |
| COORD | 08.590,2.4703 | PSI= 2.876 |
| COORD | 08.590,2.4833 | PSI= 2.891 |
| COORD | 08.590,2.4963 | PSI= 2.906 |
| COORD | 08.590,2.5093 | PSI= 2.921 |
| COORD | 08.590,2.5223 | PSI= 2.936 |
| COORD | 08.590,2.5353 | PSI= 2.951 |
| COORD | 08.590,2.5483 | PSI= 2.966 |
| COORD | 08.590,2.5613 | PSI= 2.981 |
| COORD | 08.590,2.5743 | PSI= 2.996 |
| COORD | 08.590,2.5873 | PSI= 3.011 |
| COORD | 08.590,2.6003 | PSI= 3.026 |
| COORD | 08.590,2.6133 | PSI= 3.041 |
| COORD | 08.590,2.6263 | PSI= 3.056 |
| COORD | 08.590,2.6393 | PSI= 3.071 |
| COORD | 08.590,2.6523 | PSI= 3.086 |
| COORD | 08.590,2.6653 | PSI= 3.101 |
| COORD | 08.590,2.6783 | PSI= 3.116 |
| COORD | 08.590,2.6913 | PSI= 3.131 |
| COORD | 08.590,2.7043 | PSI= 3.146 |
| COORD | 08.590,2.7173 | PSI= 3.161 |
| COORD | 08.590,2.7303 | PSI= 3.176 |
| COORD | 08.590,2.7433 | PSI= 3.191 |
| COORD | 08.590,2.7563 | PSI= 3.206 |
| COORD | 08.590,2.7693 | PSI= 3.221 |
| COORD | 08.590,2.7823 | PSI= 3.236 |
| COORD | 08.590,2.7953 | PSI= 3.251 |
| COORD | 08.590,2.8083 | PSI= 3.266 |
| COORD | 08.590,2.8213 | PSI= 3.281 |
| COORD | 08.590,2.8343 | PSI= 3.296 |
| COORD | 08.590,2.8473 | PSI= 3.311 |
| COORD | 08.590,2.8603 | PSI= 3.326 |
| COORD | 08.590,2.8733 | PSI= 3.341 |
| COORD | 08.590,2.8863 | PSI= 3.356 |
| COORD | 08.590,2.8993 | PSI= 3.371 |
| COORD | 08.590,2.9123 | PSI= 3.386 |
| COORD | 08.590,2.9253 | PSI= 3.401 |
| COORD | 08.590,2.9383 | PSI= 3.416 |
| COORD | 08.590,2.9513 | PSI= 3.431 |
| COORD | 08.590,2.9643 | PSI= 3.446 |
| COORD | 08.590,2.9773 | PSI= 3.461 |
| COORD | 08.590,2.9903 | PSI= 3.476 |
| COORD | 08.590,3.0033 | PSI= 3.491 |
| COORD | 08.590,3.0163 | PSI= 3.506 |
| COORD | 08.590,3.0293 | PSI= 3.521 |
| COORD | 08.590,3.0423 | PSI= 3.536 |
| COORD | 08.590,3.0553 | PSI= 3.551 |
| COORD | 08.590,3.0683 | PSI= 3.566 |
| COORD | 08.590,3.0813 | PSI= 3.581 |
| COORD | 08.590,3.0943 | PSI= 3.596 |
| COORD | 08.590,3.1073 | PSI= 3.611 |
| COORD | 08.590,3.1203 | PSI= 3.626 |
| COORD | 08.590,3.1333 | PSI= 3.641 |
| COORD | 08.590,3.1463 | PSI= 3.656 |
| COORD | 08.590,3.1593 | PSI= 3.671 |
| COORD | 08.590,3.1723 | PSI= 3.686 |
| COORD | 08.590,3.1853 | PSI= 3.701 |
| COORD | 08.590,3.1983 | PSI= 3.716 |
| COORD | 08.590,3.2113 | PSI= 3.731 |
| COORD | 08.590,3.2243 | PSI= 3.746 |
| COORD | 08.590,3.2373 | PSI= 3.761 |
| COORD | 08.590,3.2503 | PSI= 3.776 |
| COORD | 08.590,3.2633 | PSI= 3.791 |
| COORD | 08.590,3.2763 | PSI= 3.806 |
| COORD | 08.590,3.2893 | PSI= 3.821 |
| COORD | 08.590,3.3023 | PSI= 3.836 |
| COORD | 08.590,3.3153 | PSI= 3.851 |
| COORD | 08.590,3.3283 | PSI= 3.866 |
| COORD | 08.590,3.3413 | PSI= 3.881 |
| COORD | 08.590,3.3543 | PSI= 3.896 |
| COORD | 08.590,3.3673 | PSI= 3.911 |
| COORD | 08.590,3.3803 | PSI= 3.926 |
| COORD | 08.590,3.3933 | PSI= 3.941 |
| COORD | 08.590,3.4063 | PSI= 3.956 |
|       |               |            |

```

*****
***** INFORMACION GENERAL DE LOS *****
***** ELEMENTOS *****
*****
***** DATOS EN " METROS Y SEGUNDOS " *****
*****
***** NXC 11 =9 *****
***** NXC 21 =9 *****
***** NXC 31 =9 *****
***** NXC 41 =9 *****
***** NXC 51 =9 *****
***** NXC 61 =9 *****
*****
***** NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES = 10 *****
***** ELEMENTOS LINEALES *****
***** NUMERO DE VECES QUE SE SUAVIZARA *****
***** LA RED=0 *****
*****
***** TOLERANCIA = 0.00010 *****
***** TIRANTE AGUAS ARRIBA = 0.245 *****
***** TIRANTE AGUAS ABAJO = 0.092 *****
***** GASTO UTILIZADO = 0.035 *****
***** ANCHO DEL CANAL = 0.20 *****
***** NUMERO DE ELEMENTOS = 540 *****
***** NUMERO DE NODOS = 369 *****
*****
*****

```

TABLA 4.6

ITERACION = 9

|                     |            |
|---------------------|------------|
| COORD [0.000,0.153] | PSI= 0.000 |
| COORD [0.000,0.164] | PSI= 0.022 |
| COORD [0.000,0.176] | PSI= 0.044 |
| COORD [0.000,0.187] | PSI= 0.066 |
| COORD [0.000,0.199] | PSI= 0.088 |
| COORD [0.000,0.210] | PSI= 0.110 |
| COORD [0.000,0.222] | PSI= 0.131 |
| COORD [0.000,0.233] | PSI= 0.153 |
| COORD [0.000,0.245] | PSI= 0.175 |
| COORD [0.284,0.148] | PSI= 0.000 |
| COORD [0.284,0.160] | PSI= 0.022 |
| COORD [0.284,0.171] | PSI= 0.044 |
| COORD [0.284,0.183] | PSI= 0.066 |
| COORD [0.284,0.194] | PSI= 0.088 |
| COORD [0.284,0.206] | PSI= 0.109 |
| COORD [0.284,0.217] | PSI= 0.131 |
| COORD [0.284,0.229] | PSI= 0.153 |
| COORD [0.284,0.240] | PSI= 0.175 |
| COORD [0.567,0.143] | PSI= 0.000 |
| COORD [0.567,0.155] | PSI= 0.022 |
| COORD [0.567,0.166] | PSI= 0.044 |
| COORD [0.567,0.178] | PSI= 0.066 |
| COORD [0.567,0.189] | PSI= 0.088 |
| COORD [0.567,0.201] | PSI= 0.109 |
| COORD [0.567,0.212] | PSI= 0.131 |
| COORD [0.567,0.224] | PSI= 0.153 |
| COORD [0.567,0.235] | PSI= 0.175 |
| COORD [0.851,0.129] | PSI= 0.000 |
| COORD [0.851,0.150] | PSI= 0.022 |
| COORD [0.851,0.162] | PSI= 0.044 |
| COORD [0.851,0.173] | PSI= 0.066 |
| COORD [0.851,0.185] | PSI= 0.088 |
| COORD [0.851,0.196] | PSI= 0.109 |
| COORD [0.851,0.208] | PSI= 0.131 |
| COORD [0.851,0.219] | PSI= 0.153 |
| COORD [0.851,0.231] | PSI= 0.175 |
| COORD [1.135,0.134] | PSI= 0.000 |
| COORD [1.135,0.145] | PSI= 0.022 |
| COORD [1.135,0.157] | PSI= 0.044 |
| COORD [1.135,0.168] | PSI= 0.066 |
| COORD [1.135,0.180] | PSI= 0.088 |
| COORD [1.135,0.191] | PSI= 0.109 |
| COORD [1.135,0.203] | PSI= 0.131 |
| COORD [1.135,0.214] | PSI= 0.153 |
| COORD [1.135,0.226] | PSI= 0.175 |
| COORD [1.419,0.125] | PSI= 0.000 |
| COORD [1.419,0.140] | PSI= 0.022 |
| COORD [1.419,0.152] | PSI= 0.044 |
| COORD [1.419,0.163] | PSI= 0.066 |
| COORD [1.419,0.175] | PSI= 0.088 |
| COORD [1.419,0.186] | PSI= 0.109 |
| COORD [1.419,0.198] | PSI= 0.131 |
| COORD [1.419,0.209] | PSI= 0.153 |
| COORD [1.419,0.221] | PSI= 0.175 |
| COORD [1.702,0.124] | PSI= 0.000 |
| COORD [1.702,0.136] | PSI= 0.022 |
| COORD [1.702,0.147] | PSI= 0.044 |
| COORD [1.702,0.159] | PSI= 0.066 |
| COORD [1.702,0.170] | PSI= 0.087 |
| COORD [1.702,0.181] | PSI= 0.109 |
| COORD [1.702,0.193] | PSI= 0.131 |
| COORD [1.702,0.204] | PSI= 0.153 |
| COORD [1.702,0.216] | PSI= 0.175 |

|                     |            |
|---------------------|------------|
| COORD [1.986,0.119] | PSI= 0.000 |
| COORD [1.986,0.131] | PSI= 0.022 |
| COORD [1.986,0.142] | PSI= 0.044 |
| COORD [1.986,0.154] | PSI= 0.066 |
| COORD [1.986,0.165] | PSI= 0.087 |
| COORD [1.986,0.177] | PSI= 0.109 |
| COORD [1.986,0.188] | PSI= 0.131 |
| COORD [1.986,0.199] | PSI= 0.153 |
| COORD [1.986,0.211] | PSI= 0.175 |
| COORD [2.270,0.114] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.270,0.126] | PSI= 0.017 |
| COORD [2.270,0.137] | PSI= 0.036 |
| COORD [2.270,0.149] | PSI= 0.056 |
| COORD [2.270,0.160] | PSI= 0.077 |
| COORD [2.270,0.172] | PSI= 0.100 |
| COORD [2.270,0.183] | PSI= 0.124 |
| COORD [2.270,0.194] | PSI= 0.149 |
| COORD [2.270,0.206] | PSI= 0.175 |
| COORD [2.277,0.122] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.277,0.133] | PSI= 0.018 |
| COORD [2.277,0.144] | PSI= 0.037 |
| COORD [2.277,0.155] | PSI= 0.058 |
| COORD [2.277,0.167] | PSI= 0.080 |
| COORD [2.277,0.178] | PSI= 0.103 |
| COORD [2.277,0.189] | PSI= 0.127 |
| COORD [2.277,0.201] | PSI= 0.152 |
| COORD [2.277,0.212] | PSI= 0.175 |
| COORD [2.284,0.129] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.284,0.140] | PSI= 0.019 |
| COORD [2.284,0.151] | PSI= 0.039 |
| COORD [2.284,0.162] | PSI= 0.061 |
| COORD [2.284,0.174] | PSI= 0.084 |
| COORD [2.284,0.185] | PSI= 0.108 |
| COORD [2.284,0.196] | PSI= 0.132 |
| COORD [2.284,0.207] | PSI= 0.155 |
| COORD [2.284,0.218] | PSI= 0.175 |
| COORD [2.292,0.136] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.292,0.147] | PSI= 0.020 |
| COORD [2.292,0.158] | PSI= 0.042 |
| COORD [2.292,0.170] | PSI= 0.065 |
| COORD [2.292,0.181] | PSI= 0.089 |
| COORD [2.292,0.192] | PSI= 0.114 |
| COORD [2.292,0.203] | PSI= 0.137 |
| COORD [2.292,0.215] | PSI= 0.158 |
| COORD [2.292,0.226] | PSI= 0.175 |
| COORD [2.299,0.145] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.299,0.154] | PSI= 0.021 |
| COORD [2.299,0.166] | PSI= 0.045 |
| COORD [2.299,0.177] | PSI= 0.070 |
| COORD [2.299,0.188] | PSI= 0.096 |
| COORD [2.299,0.200] | PSI= 0.121 |
| COORD [2.299,0.211] | PSI= 0.143 |
| COORD [2.299,0.222] | PSI= 0.161 |
| COORD [2.299,0.234] | PSI= 0.175 |
| COORD [2.306,0.150] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.306,0.162] | PSI= 0.024 |
| COORD [2.306,0.173] | PSI= 0.050 |
| COORD [2.306,0.185] | PSI= 0.079 |
| COORD [2.306,0.196] | PSI= 0.106 |
| COORD [2.306,0.208] | PSI= 0.130 |
| COORD [2.306,0.219] | PSI= 0.150 |
| COORD [2.306,0.231] | PSI= 0.165 |
| COORD [2.306,0.242] | PSI= 0.175 |
| COORD [2.313,0.157] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.313,0.169] | PSI= 0.027 |
| COORD [2.313,0.181] | PSI= 0.059 |

|       |               |            |
|-------|---------------|------------|
| COORD | (2.313,0.193) | PSI= 0.090 |
| COORD | (2.313,0.205) | PSI= 0.117 |
| COORD | (2.313,0.218) | PSI= 0.137 |
| COORD | (2.313,0.228) | PSI= 0.156 |
| COORD | (2.313,0.240) | PSI= 0.168 |
| COORD | (2.313,0.252) | PSI= 0.175 |
| COORD | (2.321,0.163) | PSI= 0.000 |
| COORD | (2.321,0.177) | PSI= 0.035 |
| COORD | (2.321,0.189) | PSI= 0.074 |
| COORD | (2.321,0.201) | PSI= 0.105 |
| COORD | (2.321,0.213) | PSI= 0.130 |
| COORD | (2.321,0.225) | PSI= 0.149 |
| COORD | (2.321,0.237) | PSI= 0.163 |
| COORD | (2.321,0.250) | PSI= 0.171 |
| COORD | (2.321,0.262) | PSI= 0.175 |
| COORD | (2.328,0.172) | PSI= 0.000 |
| COORD | (2.328,0.184) | PSI= 0.055 |
| COORD | (2.328,0.197) | PSI= 0.092 |
| COORD | (2.328,0.209) | PSI= 0.122 |
| COORD | (2.328,0.222) | PSI= 0.143 |
| COORD | (2.328,0.235) | PSI= 0.159 |
| COORD | (2.328,0.247) | PSI= 0.159 |
| COORD | (2.328,0.260) | PSI= 0.174 |
| COORD | (2.328,0.272) | PSI= 0.175 |
| COORD | (2.335,0.164) | PSI= 0.000 |
| COORD | (2.335,0.177) | PSI= 0.040 |
| COORD | (2.335,0.189) | PSI= 0.076 |
| COORD | (2.335,0.202) | PSI= 0.107 |
| COORD | (2.335,0.214) | PSI= 0.131 |
| COORD | (2.335,0.227) | PSI= 0.150 |
| COORD | (2.335,0.239) | PSI= 0.163 |
| COORD | (2.335,0.252) | PSI= 0.171 |
| COORD | (2.335,0.264) | PSI= 0.175 |
| COORD | (2.343,0.157) | PSI= 0.000 |
| COORD | (2.343,0.169) | PSI= 0.031 |
| COORD | (2.343,0.182) | PSI= 0.064 |
| COORD | (2.343,0.194) | PSI= 0.094 |
| COORD | (2.343,0.206) | PSI= 0.120 |
| COORD | (2.343,0.219) | PSI= 0.142 |
| COORD | (2.343,0.231) | PSI= 0.158 |
| COORD | (2.343,0.244) | PSI= 0.169 |
| COORD | (2.343,0.256) | PSI= 0.175 |
| COORD | (2.350,0.150) | PSI= 0.000 |
| COORD | (2.350,0.162) | PSI= 0.027 |
| COORD | (2.350,0.174) | PSI= 0.056 |
| COORD | (2.350,0.186) | PSI= 0.085 |
| COORD | (2.350,0.199) | PSI= 0.111 |
| COORD | (2.350,0.211) | PSI= 0.134 |
| COORD | (2.350,0.223) | PSI= 0.152 |
| COORD | (2.350,0.235) | PSI= 0.166 |
| COORD | (2.350,0.248) | PSI= 0.175 |
| COORD | (2.357,0.142) | PSI= 0.000 |
| COORD | (2.357,0.154) | PSI= 0.024 |
| COORD | (2.357,0.166) | PSI= 0.050 |
| COORD | (2.357,0.178) | PSI= 0.077 |
| COORD | (2.357,0.191) | PSI= 0.103 |
| COORD | (2.357,0.203) | PSI= 0.127 |
| COORD | (2.357,0.215) | PSI= 0.147 |
| COORD | (2.357,0.227) | PSI= 0.163 |
| COORD | (2.357,0.239) | PSI= 0.175 |
| COORD | (2.364,0.135) | PSI= 0.000 |
| COORD | (2.364,0.147) | PSI= 0.022 |
| COORD | (2.364,0.159) | PSI= 0.046 |
| COORD | (2.364,0.171) | PSI= 0.071 |
| COORD | (2.364,0.183) | PSI= 0.097 |
| COORD | (2.364,0.195) | PSI= 0.121 |



|                     |            |
|---------------------|------------|
| COORD [2.364,0.207] | PSI= 0.142 |
| COORD [2.364,0.218] | PSI= 0.161 |
| COORD [2.364,0.230] | PSI= 0.175 |
| COORD [2.372,0.127] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.372,0.139] | PSI= 0.021 |
| COORD [2.372,0.151] | PSI= 0.043 |
| COORD [2.372,0.163] | PSI= 0.067 |
| COORD [2.372,0.175] | PSI= 0.091 |
| COORD [2.372,0.186] | PSI= 0.115 |
| COORD [2.372,0.198] | PSI= 0.138 |
| COORD [2.372,0.210] | PSI= 0.158 |
| COORD [2.372,0.222] | PSI= 0.175 |
| COORD [2.379,0.120] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.379,0.131] | PSI= 0.020 |
| COORD [2.379,0.143] | PSI= 0.040 |
| COORD [2.379,0.155] | PSI= 0.062 |
| COORD [2.379,0.166] | PSI= 0.085 |
| COORD [2.379,0.178] | PSI= 0.109 |
| COORD [2.379,0.190] | PSI= 0.132 |
| COORD [2.379,0.201] | PSI= 0.155 |
| COORD [2.379,0.213] | PSI= 0.175 |
| COORD [2.386,0.112] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.386,0.124] | PSI= 0.019 |
| COORD [2.386,0.135] | PSI= 0.038 |
| COORD [2.386,0.147] | PSI= 0.059 |
| COORD [2.386,0.158] | PSI= 0.080 |
| COORD [2.386,0.170] | PSI= 0.103 |
| COORD [2.386,0.181] | PSI= 0.126 |
| COORD [2.386,0.193] | PSI= 0.150 |
| COORD [2.386,0.204] | PSI= 0.175 |
| COORD [2.800,0.105] | PSI= 0.000 |
| COORD [2.800,0.117] | PSI= 0.022 |
| COORD [2.800,0.129] | PSI= 0.044 |
| COORD [2.800,0.140] | PSI= 0.066 |
| COORD [2.800,0.151] | PSI= 0.087 |
| COORD [2.800,0.163] | PSI= 0.109 |
| COORD [2.800,0.174] | PSI= 0.131 |
| COORD [2.800,0.186] | PSI= 0.153 |
| COORD [2.800,0.197] | PSI= 0.175 |
| COORD [3.213,0.098] | PSI= 0.000 |
| COORD [3.213,0.110] | PSI= 0.022 |
| COORD [3.213,0.121] | PSI= 0.044 |
| COORD [3.213,0.133] | PSI= 0.066 |
| COORD [3.213,0.144] | PSI= 0.087 |
| COORD [3.213,0.156] | PSI= 0.109 |
| COORD [3.213,0.168] | PSI= 0.131 |
| COORD [3.213,0.179] | PSI= 0.153 |
| COORD [3.213,0.191] | PSI= 0.175 |
| COORD [3.626,0.071] | PSI= 0.000 |
| COORD [3.626,0.103] | PSI= 0.022 |
| COORD [3.626,0.114] | PSI= 0.044 |
| COORD [3.626,0.126] | PSI= 0.066 |
| COORD [3.626,0.138] | PSI= 0.087 |
| COORD [3.626,0.149] | PSI= 0.109 |
| COORD [3.626,0.161] | PSI= 0.131 |
| COORD [3.626,0.172] | PSI= 0.153 |
| COORD [3.626,0.184] | PSI= 0.175 |
| COORD [4.040,0.084] | PSI= 0.000 |
| COORD [4.040,0.096] | PSI= 0.022 |
| COORD [4.040,0.107] | PSI= 0.044 |
| COORD [4.040,0.119] | PSI= 0.066 |
| COORD [4.040,0.131] | PSI= 0.087 |
| COORD [4.040,0.142] | PSI= 0.109 |
| COORD [4.040,0.154] | PSI= 0.131 |
| COORD [4.040,0.165] | PSI= 0.153 |
| COORD [4.040,0.177] | PSI= 0.175 |

|                      |            |
|----------------------|------------|
| COORD [4.453, 0.077] | PSI= 0.000 |
| COORD [4.453, 0.089] | PSI= 0.022 |
| COORD [4.453, 0.100] | PSI= 0.044 |
| COORD [4.453, 0.112] | PSI= 0.066 |
| COORD [4.453, 0.124] | PSI= 0.088 |
| COORD [4.453, 0.135] | PSI= 0.109 |
| COORD [4.453, 0.147] | PSI= 0.131 |
| COORD [4.453, 0.158] | PSI= 0.153 |
| COORD [4.453, 0.170] | PSI= 0.175 |
| COORD [4.866, 0.070] | PSI= 0.000 |
| COORD [4.866, 0.082] | PSI= 0.022 |
| COORD [4.866, 0.093] | PSI= 0.044 |
| COORD [4.866, 0.105] | PSI= 0.066 |
| COORD [4.866, 0.117] | PSI= 0.088 |
| COORD [4.866, 0.128] | PSI= 0.109 |
| COORD [4.866, 0.140] | PSI= 0.131 |
| COORD [4.866, 0.152] | PSI= 0.153 |
| COORD [4.866, 0.163] | PSI= 0.175 |
| COORD [5.280, 0.063] | PSI= 0.000 |
| COORD [5.280, 0.075] | PSI= 0.022 |
| COORD [5.280, 0.086] | PSI= 0.044 |
| COORD [5.280, 0.098] | PSI= 0.066 |
| COORD [5.280, 0.110] | PSI= 0.088 |
| COORD [5.280, 0.121] | PSI= 0.109 |
| COORD [5.280, 0.133] | PSI= 0.131 |
| COORD [5.280, 0.145] | PSI= 0.153 |
| COORD [5.280, 0.156] | PSI= 0.175 |
| COORD [5.693, 0.056] | PSI= 0.000 |
| COORD [5.693, 0.068] | PSI= 0.022 |
| COORD [5.693, 0.079] | PSI= 0.044 |
| COORD [5.693, 0.091] | PSI= 0.066 |
| COORD [5.693, 0.103] | PSI= 0.088 |
| COORD [5.693, 0.114] | PSI= 0.109 |
| COORD [5.693, 0.126] | PSI= 0.131 |
| COORD [5.693, 0.138] | PSI= 0.153 |
| COORD [5.693, 0.149] | PSI= 0.175 |
| COORD [6.106, 0.049] | PSI= 0.000 |
| COORD [6.106, 0.061] | PSI= 0.022 |
| COORD [6.106, 0.072] | PSI= 0.044 |
| COORD [6.106, 0.084] | PSI= 0.066 |
| COORD [6.106, 0.096] | PSI= 0.088 |
| COORD [6.106, 0.107] | PSI= 0.109 |
| COORD [6.106, 0.119] | PSI= 0.131 |
| COORD [6.106, 0.131] | PSI= 0.153 |
| COORD [6.106, 0.142] | PSI= 0.175 |
| COORD [6.520, 0.042] | PSI= 0.000 |
| COORD [6.520, 0.054] | PSI= 0.022 |
| COORD [6.520, 0.066] | PSI= 0.044 |
| COORD [6.520, 0.077] | PSI= 0.066 |
| COORD [6.520, 0.089] | PSI= 0.088 |
| COORD [6.520, 0.101] | PSI= 0.109 |
| COORD [6.520, 0.112] | PSI= 0.131 |
| COORD [6.520, 0.124] | PSI= 0.153 |
| COORD [6.520, 0.156] | PSI= 0.175 |
| COORD [6.933, 0.035] | PSI= 0.000 |
| COORD [6.933, 0.047] | PSI= 0.022 |
| COORD [6.933, 0.058] | PSI= 0.044 |
| COORD [6.933, 0.070] | PSI= 0.066 |
| COORD [6.933, 0.082] | PSI= 0.088 |
| COORD [6.933, 0.094] | PSI= 0.109 |
| COORD [6.933, 0.105] | PSI= 0.131 |
| COORD [6.933, 0.117] | PSI= 0.153 |
| COORD [6.933, 0.129] | PSI= 0.175 |
| COORD [7.347, 0.028] | PSI= 0.000 |
| COORD [7.347, 0.040] | PSI= 0.022 |
| COORD [7.347, 0.051] | PSI= 0.044 |

|                     |            |
|---------------------|------------|
| COORD [7.347,0.063] | PSI= 0.066 |
| COORD [7.347,0.075] | PSI= 0.088 |
| COORD [7.347,0.086] | PSI= 0.109 |
| COORD [7.347,0.098] | PSI= 0.131 |
| COORD [7.347,0.110] | PSI= 0.153 |
| COORD [7.347,0.121] | PSI= 0.175 |
| COORD [7.760,0.021] | PSI= 0.000 |
| COORD [7.760,0.033] | PSI= 0.022 |
| COORD [7.760,0.044] | PSI= 0.044 |
| COORD [7.760,0.056] | PSI= 0.066 |
| COORD [7.760,0.068] | PSI= 0.088 |
| COORD [7.760,0.079] | PSI= 0.109 |
| COORD [7.760,0.091] | PSI= 0.131 |
| COORD [7.760,0.103] | PSI= 0.153 |
| COORD [7.760,0.114] | PSI= 0.175 |
| COORD [8.173,0.014] | PSI= 0.000 |
| COORD [8.173,0.026] | PSI= 0.022 |
| COORD [8.173,0.037] | PSI= 0.044 |
| COORD [8.173,0.049] | PSI= 0.066 |
| COORD [8.173,0.060] | PSI= 0.088 |
| COORD [8.173,0.072] | PSI= 0.109 |
| COORD [8.173,0.084] | PSI= 0.131 |
| COORD [8.173,0.095] | PSI= 0.153 |
| COORD [8.173,0.107] | PSI= 0.175 |
| COORD [8.587,0.007] | PSI= 0.000 |
| COORD [8.587,0.019] | PSI= 0.022 |
| COORD [8.587,0.030] | PSI= 0.044 |
| COORD [8.587,0.042] | PSI= 0.066 |
| COORD [8.587,0.053] | PSI= 0.088 |
| COORD [8.587,0.065] | PSI= 0.109 |
| COORD [8.587,0.076] | PSI= 0.131 |
| COORD [8.587,0.088] | PSI= 0.153 |
| COORD [8.587,0.099] | PSI= 0.175 |
| COORD [9.000,0.000] | PSI= 0.000 |
| COORD [9.000,0.011] | PSI= 0.022 |
| COORD [9.000,0.023] | PSI= 0.044 |
| COORD [9.000,0.034] | PSI= 0.065 |
| COORD [9.000,0.046] | PSI= 0.087 |
| COORD [9.000,0.057] | PSI= 0.109 |
| COORD [9.000,0.069] | PSI= 0.131 |
| COORD [9.000,0.080] | PSI= 0.153 |
| COORD [9.000,0.092] | PSI= 0.175 |

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Y (M)

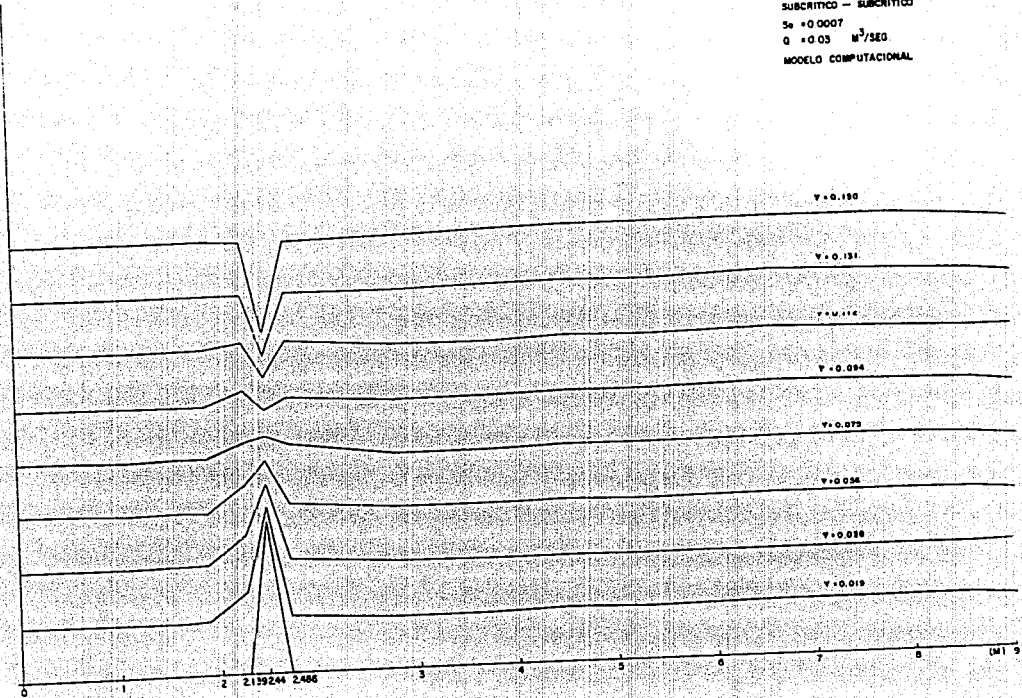


FIG. 4.1

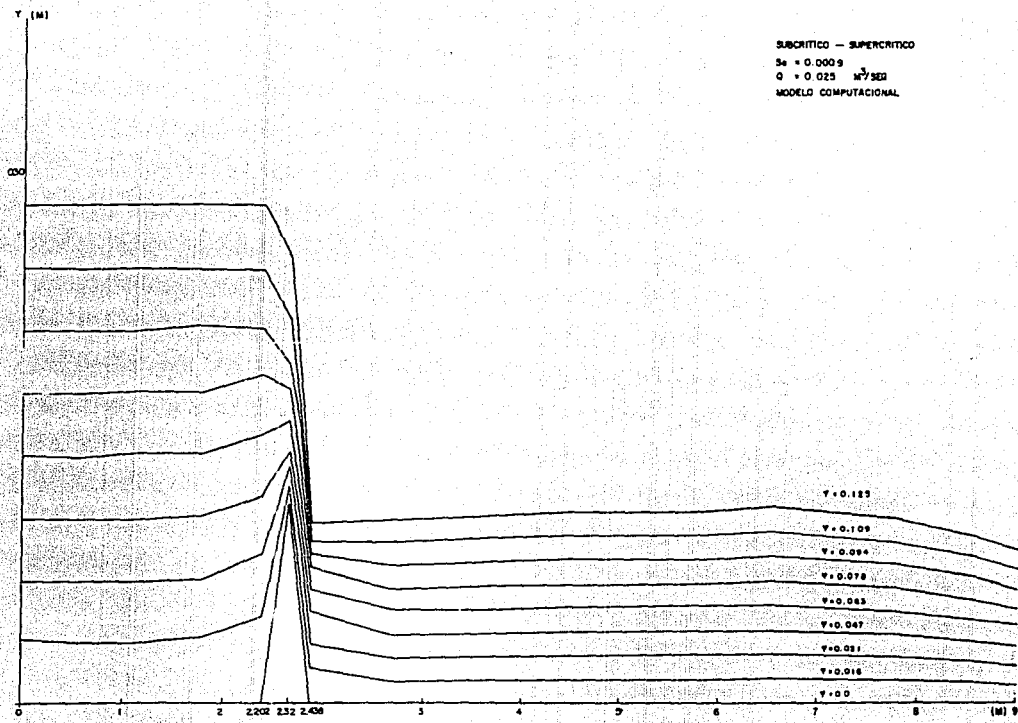


FIG. 4.2

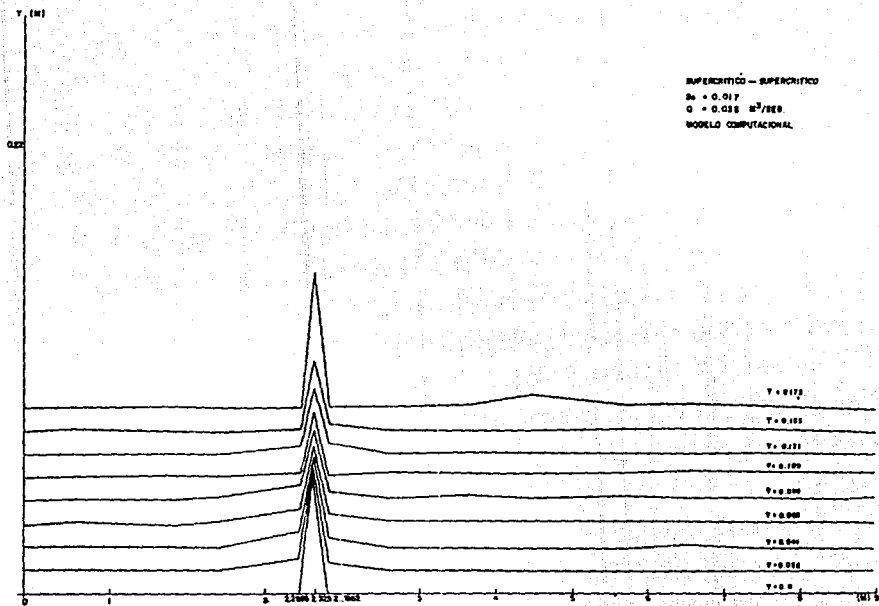


FIG. 4.3

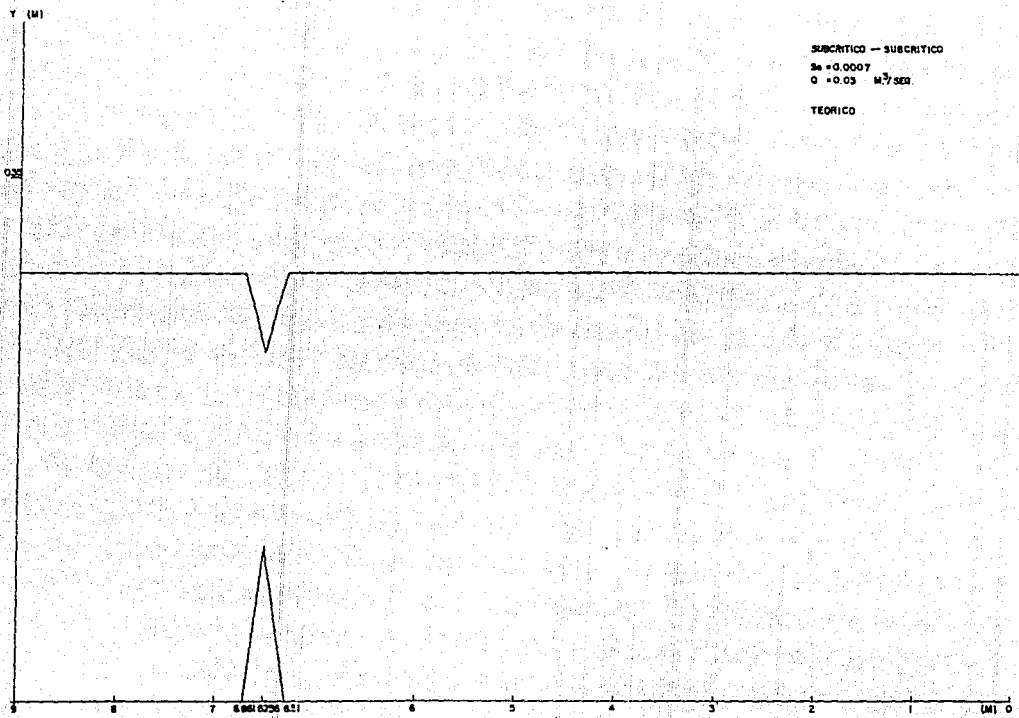


FIG 4.4

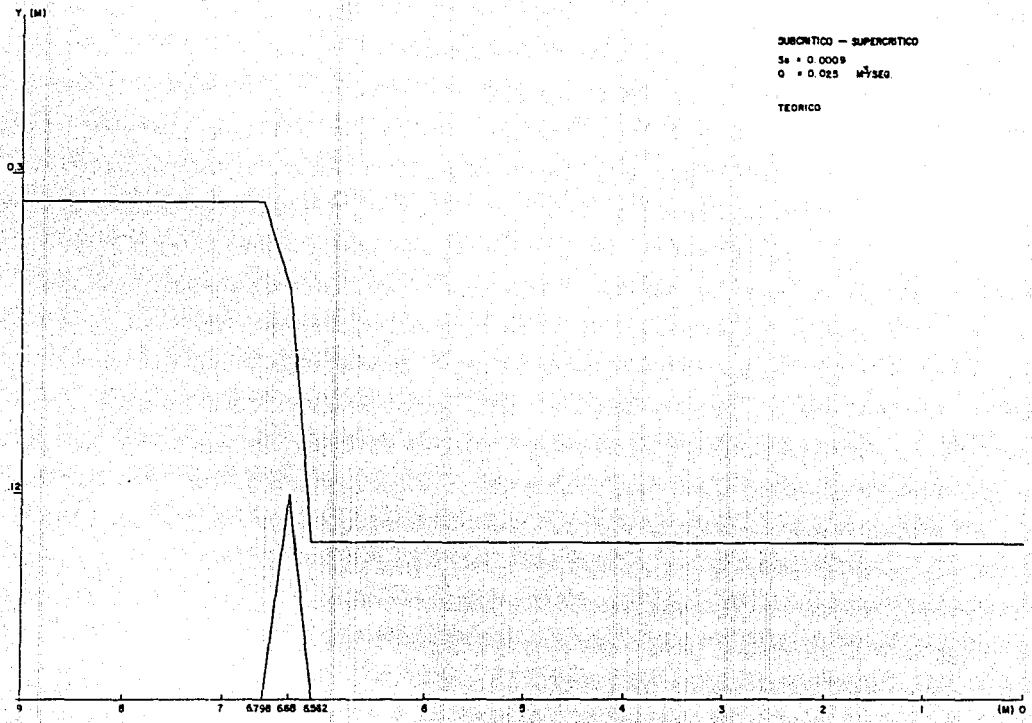


FIG. 4.5



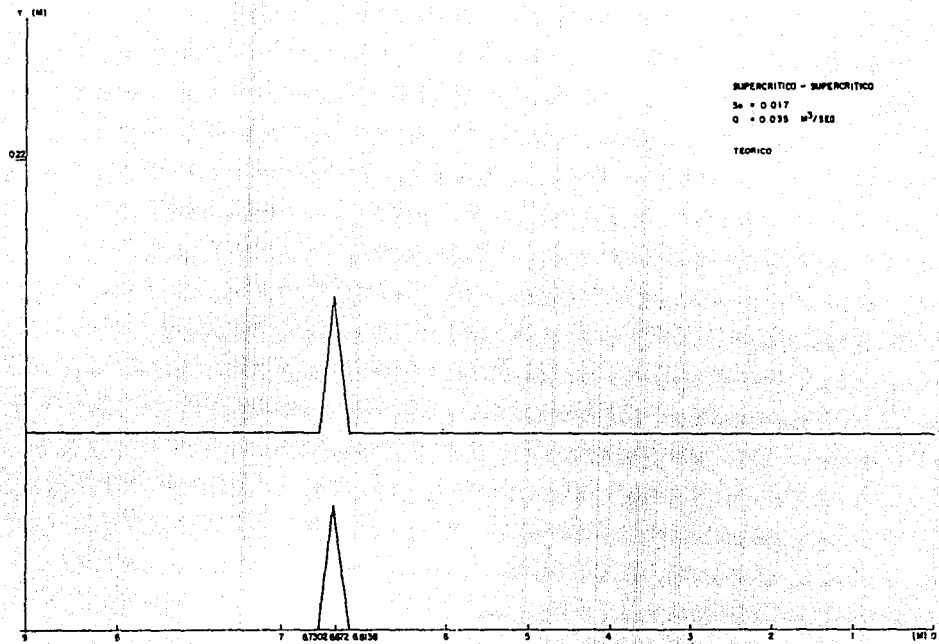


FIG. 4.6

TABLA 4.7

REGIMEN SUBCRITICO-SUBCRITICO

SO = 0.0007

DATOS

| COORDENADAS |       |
|-------------|-------|
| X           | Y     |
| 0.000       | 0.295 |
| 1.070       | 0.294 |
| 2.139       | 0.294 |
| 2.191       | 0.267 |
| 2.244       | 0.239 |
| 2.367       | 0.266 |
| 2.490       | 0.293 |
| 4.118       | 0.292 |
| 5.745       | 0.291 |
| 7.373       | 0.290 |
| 9.000       | 0.289 |

RESULTADOS

| COORDENADAS |       |
|-------------|-------|
| X           | Y     |
| 0.000       | 0.295 |
| 1.070       | 0.295 |
| 2.139       | 0.293 |
| 2.191       | 0.306 |
| 2.244       | 0.231 |
| 2.367       | 0.296 |
| 2.490       | 0.293 |
| 4.118       | 0.295 |
| 5.745       | 0.295 |
| 7.373       | 0.296 |
| 9.000       | 0.289 |

TABLA 4.8

REGIMEN SUBCRITICO-SUPERCRITICO

$S_0 = 0.0009$

DATOS

| COORDENADAS |       |
|-------------|-------|
| X           | Y     |
| 0.000       | 0.293 |
| 1.101       | 0.292 |
| 2.202       | 0.281 |
| 2.261       | 0.269 |
| 2.320       | 0.242 |
| 2.379       | 0.169 |
| 2.438       | 0.096 |
| 4.079       | 0.094 |
| 5.719       | 0.093 |
| 7.359       | 0.092 |
| 9.000       | 0.090 |

RESULTADOS

| COORDENADAS |       |
|-------------|-------|
| X           | Y     |
| 0.000       | 0.293 |
| 1.101       | 0.293 |
| 2.202       | 0.292 |
| 2.261       | 0.273 |
| 2.320       | 0.251 |
| 2.379       | 0.119 |
| 2.438       | 0.112 |
| 4.079       | 0.116 |
| 5.719       | 0.115 |
| 7.359       | 0.114 |
| 9.000       | 0.090 |

TABLA 4.9

REGIMEN SUPERCRITICO-SUPERCRITICO

$S_0 = 0.017$

DATOS

| COORDENADAS |       |
|-------------|-------|
| X           | Y     |
| 0.000       | 0.245 |
| 1.135       | 0.226 |
| 2.270       | 0.206 |
| 2.299       | 0.239 |
| 2.328       | 0.271 |
| 2.357       | 0.238 |
| 2.386       | 0.204 |
| 4.040       | 0.176 |
| 5.693       | 0.148 |
| 7.347       | 0.120 |
| 9.000       | 0.092 |

RESULTADOS

| COORDENADAS |       |
|-------------|-------|
| X           | Y     |
| 0.000       | 0.245 |
| 1.135       | 0.226 |
| 2.270       | 0.206 |
| 2.299       | 0.234 |
| 2.328       | 0.272 |
| 2.357       | 0.239 |
| 2.386       | 0.204 |
| 4.040       | 0.177 |
| 5.693       | 0.149 |
| 7.347       | 0.121 |
| 9.000       | 0.092 |

## C A P I T U L O V

## **RESULTADOS EXPERIMENTALES.**

### **5.1 CARACTERISTICAS DE LAS PRUEBAS**

Las pruebas experimentales se realizaron en el laboratorio de hidráulica de la Facultad de Ingeniería, utilizándose el canal "Plint" que se tiene ahí instalado.

Para la obtención de las características de los obstáculos que se usaron en las pruebas del laboratorio, se usó como base la teoría según Dias Frédéric (1989) y Sotelo Avila (1986), con lo que se calcularon las dimensiones de diferentes obstáculos, variando el gasto y la pendiente en el canal.

Según la teoría, la altura máxima posible en el obstáculo que evita modificaciones del flujo hacia aguas arriba, es igual a la diferencia entre la energía específica aguas arriba y la mínima posible (correspondiente al estado crítico). Es importante notar que cuando la altura del escalón corresponde a la que obliga que se presente el tirante crítico y es de corta longitud como en la figura 5.2, el régimen aguas abajo puede ser supercrítico o subcrítico, dependiendo de las condiciones ahí impuestas. De la figura 5.1 se observa que si el punto que representa al flujo se mueve de A a C, después queda libre de volver a la rama de régimen

subcrítico de la curva o de continuar a la de supercrítico, según sean las condiciones de aguas abajo.

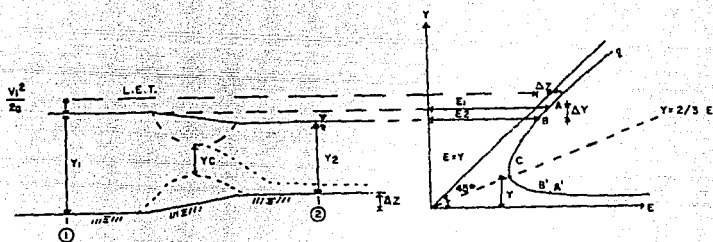


FIGURA 5.1. USO DE LA CURVA DE ENERGIA ESPECIFICA EN LA TRANSICION

Si hay algún control del lado de aguas abajo, la tendencia será hacia el régimen subcrítico de lo contrario, hacia supercrítico. La convergencia del flujo hacia el escalón produce un efecto similar después del mismo, tal como se observa en la figura 5.2. Al observar que el mismo principio opera cuando el régimen de aguas arriba es supercrítico, se concluye que cualquiera de los dos regímenes de flujo de lado aguas arriba puede pasar a cualquiera de los del lado aguas abajo del obstáculo.

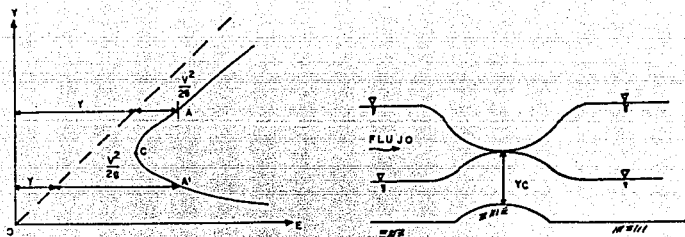


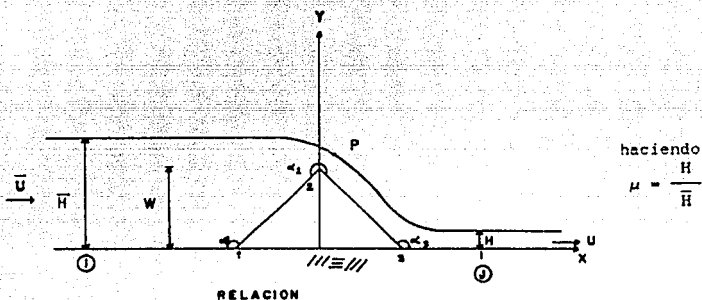
FIGURA 5.7. EFECTO DE UN ESCALON CORTO ASCENDENTE Y DE ALTURA CRITICA.

#### 5.2. OBTENCION DE LOS OBSTACIOS

Los cálculos se restringieron para triángulos isósceles, con los siguientes ángulos " $\alpha_1 = 3/4 \pi$ ", " $\alpha_2 = 3/2 \pi$ ", " $\alpha_3 = 3/4 \pi$ ". Esto es que la geometría del triángulo queda limitada a la distancia de la altura.



Trabajando con la relación



para flujo subcrítico aguas arriba y supercrítico aguas abajo  
tenemos que " $\mu \leq 1$ "

$$F^2 = 2/(\mu^2 + \mu)$$

Para la obtención de las curvas "E-Y" para diferentes gastos  
se considera lo siguiente:

Las paredes del canal en el que se realizan las pruebas  
de laboratorio son de vidrio pulido por lo que el valor de  
"n" será de 0.009, así mismo como el canal tiene un ancho de  
plantilla igual a 0.2 m queda lo siguiente.

$$\left. \begin{array}{l} n = 0.009 \\ b = 0.2 \text{ m} \end{array} \right\} \text{CTES.}$$

Q + Variable

Tomando la ecuación de la energía específica

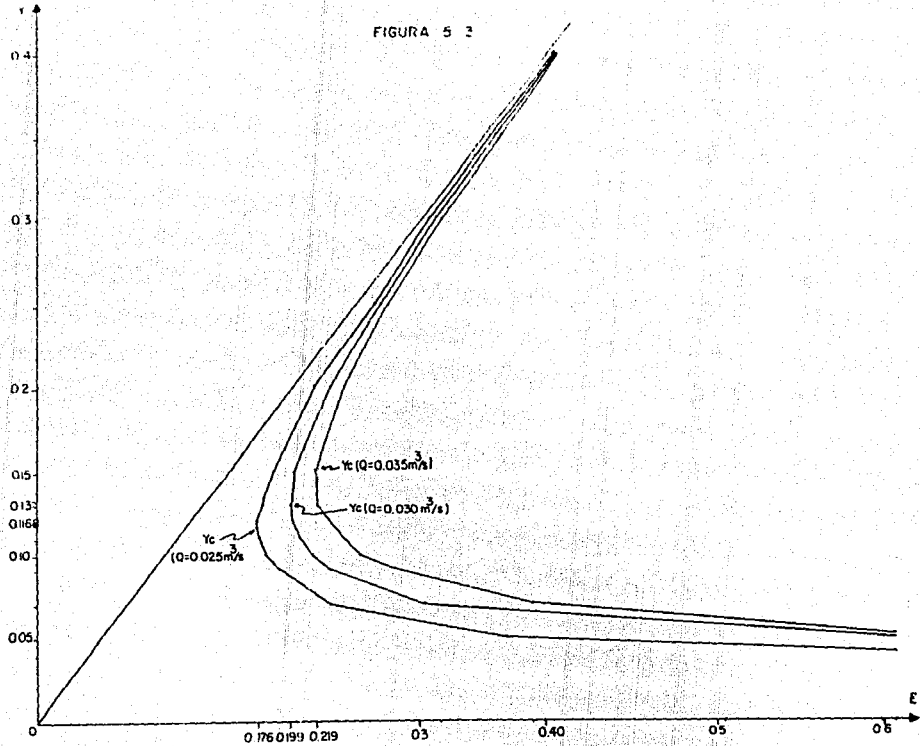
$$E = Y + \left[ \frac{q^2}{2gy^3} \right]$$

el cálculo de las curvas E-Y se hizo para gastos iguales a 0.025 m<sup>3</sup>/seg, 0.030 m<sup>3</sup>/seg y 0.035 m<sup>3</sup>/seg.

A continuación se muestran las tablas 5.1, 5.2 y 5.3 que contienen los valores con los que se construyeron las curvas "E-Y", para los diferentes gastos, además de mostrarnos cuáles son los valores críticos para cada gasto usado.

En la figura 5.3 podemos observar las curvas obtenidas para los gastos ya mencionados usando los valores de las tablas 5.1, 5.2 y 5.3, en esta figura podemos obtener los datos necesarios para la construcción de los obstáculos que se usaron en las pruebas de laboratorio.

FIGURA 5 2



$$Q = 0.025 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Y_c = 0.1167 \text{ m}$$

$$E_c = 0.1752 \text{ m}$$

$$S_c = 0.0031$$

$$q = 0.125 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$E = y + (0.0225/19.62y^2)$$

$$Fr = 0.0479/y^{3/2}$$

| Y(m)   | E(m)  | Fr     | V=q/y  |
|--------|-------|--------|--------|
| 0.0500 | 0.368 | 3.5696 | 2.5000 |
| 0.0700 | 0.233 | 2.1549 | 1.7857 |
| 0.0900 | 0.188 | 1.4781 | 1.3888 |
| 0.1000 | 0.179 | 1.2620 | 1.2500 |
| 0.1100 | 0.176 | 1.0939 | 1.1364 |
| 0.1168 | 0.175 | 0.9998 | 1.0702 |
| 0.1200 | 0.176 | 0.9601 | 1.0417 |
| 0.1300 | 0.177 | 0.8515 | 0.9615 |
| 0.1500 | 0.185 | 0.6870 | 0.8333 |
| 0.2000 | 0.219 | 0.4462 | 0.6250 |
| 0.2500 | 0.263 | 0.3193 | 0.5000 |
| 0.3000 | 0.309 | 0.2429 | 0.4167 |
| 0.3500 | 0.357 | 0.1927 | 0.3571 |
| 0.4000 | 0.405 | 0.1578 | 0.3125 |

Tabla 5.1

$$Q = 0.030 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Y_c = 0.1319 \text{ m}$$

$$E_c = 0.1978 \text{ m}$$

$$S_c = 0.0048$$

$$q = 0.15 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$E = y + (0.015625/19.62y^2)$$

$$Fr = 0.0399/y^{(3/2)}$$

| Y(m)   | E(m)   | Fr     | V=q/y  |
|--------|--------|--------|--------|
| 0.0500 | 0.509  | 4.2835 | 3.0000 |
| 0.0700 | 0.304  | 2.5859 | 2.1428 |
| 0.0900 | 0.232  | 1.7738 | 1.6670 |
| 0.1000 | 0.215  | 1.5145 | 1.5000 |
| 0.1100 | 0.205  | 1.3127 | 1.3636 |
| 0.1200 | 0.199  | 1.1521 | 1.2500 |
| 0.1300 | 0.1979 | 1.0217 | 1.1538 |
| 0.1318 | 0.1978 | 1.0009 | 1.1381 |
| 0.1500 | 0.201  | 0.8244 | 1.0000 |
| 0.2000 | 0.229  | 0.5354 | 0.7500 |
| 0.2500 | 0.268  | 0.3831 | 0.6000 |
| 0.3000 | 0.313  | 0.2915 | 0.5000 |
| 0.3500 | 0.359  | 0.2313 | 0.4286 |
| 0.4000 | 0.407  | 0.1893 | 0.3750 |

Tabla 5.2

$$\begin{aligned}
 Q &= 0.035 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Y_c &= 0.1462 \text{ m} \\
 E_c &= 0.2192 \text{ m} \\
 S_c &= 0.0050 \\
 q &= 0.175 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m} \\
 E &= y + (0.030625/19.62y^2) \\
 Fr &= 0.0559/y^{3/2}
 \end{aligned}$$

| Y(m)   | E(m)   | Fr     | V=q/y  |
|--------|--------|--------|--------|
| 0.0500 | 0.674  | 4.9975 | 3.5000 |
| 0.0700 | 0.389  | 3.0169 | 2.5000 |
| 0.0900 | 0.283  | 2.0694 | 1.9440 |
| 0.1000 | 0.256  | 1.7669 | 1.7500 |
| 0.1100 | 0.239  | 1.5315 | 1.5909 |
| 0.1200 | 0.228  | 1.3441 | 1.4583 |
| 0.1300 | 0.222  | 1.1920 | 1.3462 |
| 0.1462 | 0.2192 | 0.9995 | 1.1969 |
| 0.1500 | 0.2193 | 0.9618 | 1.1667 |
| 0.2000 | 0.239  | 0.6247 | 0.8750 |
| 0.2500 | 0.275  | 0.4470 | 0.7000 |
| 0.3000 | 0.317  | 0.3400 | 0.5833 |
| 0.3500 | 0.363  | 0.2698 | 0.5000 |
| 0.4000 | 0.409  | 0.2209 | 0.4375 |

Tabal 5.3

Para el cálculo del tirante normal se usó la fórmula iterativa siguiente

$$Y_o = \frac{\left[ \frac{Qn}{S^{1/2}} \left( 2 Y_o + b \right)^{2/3} \right]^{3/5}}{b}$$

que se obtiene a partir de la fórmula de Manning.

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

Una vez obtenido el valor del tirante normal para cada una de las pendientes con un gasto constante, se obtienen las características hidráulicas para cada caso, estas características se muestran en las tablas 5.4, 5.5 y 5.6 cada una con un gasto diferente.

Los resultados de las pruebas de laboratorio se muestran en las tablas 5.7 a 5.10, con los que podemos obtener los perfiles mostrados en las figuras 5.4 a 5.7, en las que se observa si el flujo va de régimen subcrítico a subcrítico, de subcrítico a supercrítico o de supercrítico a supercrítico, lo obtenido en estas pruebas se comparará con los resultados obtenidos con el modelo numérico.

Los datos que podemos observar en estas tablas 5.4 a 5.6 son:

$Q$  .- Gasto en  $m^3/seg$ .

$S_o$  .- Pendiente en milésimas

$Y_o$  .- Tirante normal en cada iteración en m

$\bar{Y}_o$  .- Tirante normal final en m

$A$  .- Area en  $m^2$

$P$  .- Perímetro mojado en metros

$R$  .- Radio hidráulico en m

$V$  .- Velocidad en m/s

$V^2/2g$  .- Carga de velocidad en m

$E$  .- Energía específica en m

$Fr$  .- Número de Froude

$Az$  .- Altura del escalón en m

| $Q$<br>Cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> | $E_0$  | $V_0$  | $\bar{V}_0$<br>Cm <sup>2</sup> | $A$<br>Cm <sup>2</sup> | $F$<br>Cm <sup>2</sup> | $R$<br>Cm <sup>2</sup> | $R^{2/3}$ | $AR^{2/3}$ | $U$<br>Cm/m <sup>2</sup> | $Q$<br>Cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> | $U^2/2g$ | $K$    | $F_n$  | $\Delta z$<br>Cm |
|--|--------|--|--------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------|------------|--------------------------|--|----------|--------|--------|------------------|
| 0.025                                  | 0.0027 | 0.0000<br>0.0000<br>0.0000<br>0.0000<br>0.0000           | 0.000000                       | 0.00000                | 0.00000                | 0.00000                | 0.000000  | 0.000000   | 0.000000                 | 0.00000                                | 0.00000  | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000           |
| 0.050                                  | 0.0170 | 0.0000<br>0.0000<br>0.0000<br>0.0000<br>0.0000<br>0.0000 | 0.000000                       | 0.00000                | 0.00000                | 0.00000                | 0.000000  | 0.000000   | 0.000000                 | 0.00000                                | 0.00000  | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000           |
| 0.075                                  | 0.0180 | 0.0000<br>0.0000<br>0.0000<br>0.0000<br>0.0000<br>0.0000 | 0.000000                       | 0.00000                | 0.00000                | 0.00000                | 0.000000  | 0.000000   | 0.000000                 | 0.00000                                | 0.00000  | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000           |
| 0.100                                  | 0.0093 | 0.0000<br>0.0000<br>0.0000<br>0.0000<br>0.0000<br>0.0000 | 0.000000                       | 0.00000                | 0.00000                | 0.00000                | 0.000000  | 0.000000   | 0.000000                 | 0.00000                                | 0.00000  | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000           |

TABLE 5.4



| $Q$<br>( $\text{cm}^3/\text{m}^2$ ) | $\alpha$ | $\gamma$<br>( $\text{cm}$ ) | $\beta$<br>( $\text{cm}^2$ ) | $\delta$<br>( $\text{cm}$ ) | $\epsilon$<br>( $\text{cm}$ ) | $\eta^{1/2}$ | $\eta^{3/2}$ | $u$<br>( $\text{cm}/\text{m}$ ) | $Q$<br>( $\text{cm}^3/\text{m}$ ) | $u^2/2g$ | $E$      | $F_r$    | $\Delta z$<br>( $\text{cm}$ ) |
|-------------------------------------|----------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------|----------|----------|-------------------------------|
| 0.020                               | 0.0009   | 0.000087                    | 0.001011                     | 0.71010                     | 0.070100                      | 0.170107     | 0.000000     | 0.077002                        | 0.000000                          | 0.019000 | 0.070070 | 0.000000 | 0.070000                      |
| 0.030                               | 0.0007   | 0.000703                    | 0.003701                     | 0.75010                     | 0.070077                      | 0.170700     | 0.010000     | 0.010000                        | 0.000000                          | 0.010000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000                      |
| 0.050                               | 0.0170   | 0.001000                    | 0.010000                     | 0.010000                    | 0.010000                      | 0.100000     | 0.000000     | 1.000000                        | 0.000000                          | 0.170000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000                      |
| 0.020                               | 0.0100   | 0.000000                    | 0.010000                     | 0.010000                    | 0.010000                      | 0.100000     | 0.000000     | 1.000000                        | 0.000000                          | 0.100000 | 0.010000 | 0.000000 | 0.000000                      |
| 0.030                               | 0.0000   | 0.000000                    | 0.000000                     | 0.000000                    | 0.000000                      | 0.100000     | 0.000000     | 0.000000                        | 0.000000                          | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000                      |

TABLE 5.5

| Q<br>Cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> | S <sub>0</sub> | V <sub>0</sub><br>Cm <sup>2</sup> | A<br>Cm <sup>2</sup> | F<br>Cm <sup>2</sup> | R<br>Cm <sup>2</sup> | R <sup>2/3</sup> | AR <sup>2/3</sup> | U<br>Cm/m <sup>2</sup> | Q<br>Cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> | U <sup>3/2</sup> | E        | F <sub>s</sub> | ΔZ<br>Cm |
|--------------------------------------|----------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|-------------------|------------------------|--------------------------------------|------------------|----------|----------------|----------|
| 0.000                                | 0.0000         | 0.000000                          | 0.001017             | 0.111100             | 0.070100             | 0.192377         | 0.000000          | 0.000000               | 0.000000                             | 0.000000         | 0.000000 | 0.000000       | 0.000000 |
| 0.020                                | 0.0007         | 0.000000                          | 0.000000             | 0.000000             | 0.000000             | 0.000000         | 0.000000          | 0.000000               | 0.000000                             | 0.000000         | 0.000000 | 0.000000       | 0.000000 |
| 0.040                                | 0.0000         | 0.001701                          | 0.000000             | 0.000000             | 0.000000             | 0.000000         | 0.000000          | 0.000000               | 0.000000                             | 0.000000         | 0.000000 | 0.000000       | 0.000000 |
| 0.060                                | 0.0170         | 0.001670                          | 0.000000             | 0.000000             | 0.000000             | 0.000000         | 0.000000          | 0.000000               | 0.000000                             | 0.000000         | 0.000000 | 0.000000       | 0.000000 |
| 0.080                                | 0.0180         | 0.000000                          | 0.000000             | 0.000000             | 0.000000             | 0.000000         | 0.000000          | 0.000000               | 0.000000                             | 0.000000         | 0.000000 | 0.000000       | 0.000000 |

TABLA 5.6

### 5.3 RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación se presentan las tablas 5.7 a 5.10 con los resultados obtenidos en el laboratorio, junto con las figuras 5.4 a 5.7 en las que se pueden observar el comportamiento del flujo.

$$S_0 = 0.0007$$

| X      | Y      | FONDO | SUPERFICIE |
|--------|--------|-------|------------|
| 9.0000 | 34.65  |       |            |
| 8.0000 | 34.62  |       |            |
| 7.9000 | 34.68  |       |            |
| 7.8000 | 34.65  |       |            |
| 7.7000 | 34.68  |       |            |
| 7.6000 | 34.70  |       |            |
| 7.5000 | 34.71  |       |            |
| 7.4000 | 34.80  |       |            |
| 7.3000 | 34.81  |       |            |
| 7.2000 | 34.90  |       |            |
| 7.1000 | 34.79  |       |            |
| 7.0000 | 34.65  |       |            |
| 6.9000 | 34.55  |       |            |
| 6.8000 | 34.38  |       |            |
| 6.7650 |        | 4.32  | 34.42      |
| 6.7220 |        | 8.10  | 34.31      |
| 6.6812 |        | 11.96 | 34.10      |
| 6.6530 |        | 18.31 | 33.90      |
| 6.6300 |        | 20    | 33.72      |
| 6.5670 | 32.69  |       |            |
| 6.5000 | 32.09  |       |            |
| 6.4500 | 31.61  |       |            |
| 6.4000 | 31.61  |       |            |
| 6.3500 | 31.413 |       |            |
| 6.3500 | 31.55A |       |            |
| 6.3000 | 31.503 |       |            |
| 6.3000 | 31.75A |       |            |
| 6.2500 | 32.28A |       |            |
| 6.2500 | 31.843 |       |            |
| 6.2000 | 32.51A |       |            |
| 6.2000 | 31.963 |       |            |
| 6.1500 | 32.603 |       |            |
| 6.1500 | 32.023 |       |            |
| 6.1000 | 32.19A |       |            |
| 6.1000 | 32.235 |       |            |
| 6.0000 | 32.59A |       |            |
| 6.0000 | 31.993 |       |            |
| 5.9500 | 31.713 |       |            |
| 5.9500 | 32.39A |       |            |
| 5.9000 | 32.093 |       |            |
| 5.9000 | 33.00A |       |            |
| 5.8500 | 32.153 |       |            |
| 5.8500 | 33.50A |       |            |
| 5.8000 | 33.65A |       |            |
| 5.8000 | 32.653 |       |            |
| 5.7500 | 32.91A |       |            |
| 5.7500 | 32.813 |       |            |
| 5.7000 | 34.00A |       |            |
| 5.7000 | 32.733 |       |            |
| 5.6500 | 32.51A |       |            |
| 5.6500 | 32.653 |       |            |
| 5.6000 | 33.59A |       |            |
| 5.6000 | 32.393 |       |            |
| 5.5500 | 34.10A |       |            |
| 5.5500 | 32.673 |       |            |
| 5.5000 | 34.24A |       |            |
| 5.5000 | 32.903 |       |            |
| 5.4000 | 33.65  |       |            |
| 5.3000 | 33.41  |       |            |
| 5.2000 | 33.55  |       |            |
| 5.1000 | 33.60  |       |            |
| 5.0000 | 34.12  |       |            |
| 4.0000 | 34.80  |       |            |
| 3.0000 | 33.95  |       |            |
| 2.0000 | 33.85  |       |            |
| 1.0000 | 33.90  |       |            |

$$\Delta h = 5.8 \text{ cm}$$

TABLA 5.7

$$S_a = 0.0009$$

| X      | Y     | FONDO | SUPERFICIE |
|--------|-------|-------|------------|
| 9.0000 | 32.40 |       |            |
| 8.0000 | 32.40 |       |            |
| 7.9000 | 32.50 |       |            |
| 7.8000 | 32.50 |       |            |
| 7.7000 | 32.50 |       |            |
| 7.6000 | 32.50 |       |            |
| 7.5000 | 32.50 |       |            |
| 7.4000 | 32.50 |       |            |
| 7.3000 | 32.45 |       |            |
| 7.2000 | 32.45 |       |            |
| 7.1000 | 32.45 |       |            |
| 7.0000 | 32.42 |       |            |
| 6.9000 | 32.30 |       |            |
| 6.8425 | 32.10 |       |            |
| 6.8000 | 30.90 | 1.60  | 32.50      |
| 6.8000 |       | 4.85  | 32.31      |
| 6.7500 |       | 3.20  | 32.07      |
| 6.7000 |       | 3.61  | 31.62      |
| 6.6740 | 30.85 | 0.60  | 31.45      |
| 6.6000 | 30.81 |       |            |
| 6.5500 | 30.91 |       |            |
| 6.5000 | 29.60 |       |            |
| 6.4500 | 29.51 |       |            |
| 6.4000 | 29.50 |       |            |
| 6.3500 | 29.40 |       |            |
| 6.3000 | 30.27 |       |            |
| 6.2500 | 30.60 |       |            |
| 6.2000 | 30.35 |       |            |
| 6.2000 | 30.40 |       |            |
| 6.2000 | 31.01 |       |            |
| 6.1000 | 30.51 |       |            |
| 6.0000 | 30.85 |       |            |
| 5.7500 | 30.91 |       |            |
| 5.0000 | 31.50 |       |            |
| 4.0000 | 31.65 |       |            |
| 3.0000 | 31.85 |       |            |
| 2.0000 | 31.85 |       |            |
| 1.0000 | 31.70 |       |            |

$$\Delta h = 5.8 \text{ cm}$$

$$H_{\text{TOT}} = 32.8 \text{ en la salida}$$

TABLA 5.8

$$S_a = 0.0009$$

| X      | Y     | FONDO | SUPERFICIE |
|--------|-------|-------|------------|
| 3.0000 | 27.90 |       |            |
| 0.0000 | 27.75 |       |            |
| 7.0000 | 27.60 |       |            |
| 7.0000 | 27.50 |       |            |
| 7.7000 | 27.40 |       |            |
| 7.6000 | 27.30 |       |            |
| 7.5000 | 27.20 |       |            |
| 7.4000 | 27.10 |       |            |
| 7.3000 | 27.00 |       |            |
| 7.2000 | 26.90 |       |            |
| 7.1000 | 26.80 |       |            |
| 7.0000 | 26.70 |       |            |
| 4.0000 | 26.60 |       |            |
| 6.0000 | 26.50 |       |            |
| 6.7450 |       | 2.00  | 27.41      |
| 6.7220 |       | 0.00  | 26.77      |
| 6.6000 |       | 11.00 | 26.05      |
| 6.6530 |       | 9.20  | 25.34      |
| 6.6200 |       | 6.20  | 24.78      |
| 6.5670 |       | 1.10  | 22.06      |
| 6.5000 | 17.00 |       |            |
| 6.4500 | 14.50 |       |            |
| 6.4000 | 11.00 |       |            |
| 6.3500 | 9.00  |       |            |
| 6.3000 | 0.00  |       |            |
| 6.2500 | 0.25  |       |            |
| 6.2000 | 0.05  |       |            |
| 6.1500 | 7.50  |       |            |
| 6.1000 | 0.00  |       |            |
| 6.0500 | 0.00  |       |            |
| 6.0000 | 0.10  |       |            |
| 5.9500 | 0.00  |       |            |
| 5.9000 | 0.00  |       |            |
| 5.8500 | 0.00  |       |            |
| 5.8000 | 0.00  |       |            |
| 5.7500 | 0.00  |       |            |
| 5.7000 | 0.00  |       |            |
| 5.6500 | 0.00  |       |            |
| 5.6000 | 0.00  |       |            |
| 5.5500 | 0.00  |       |            |
| 5.5000 | 0.00  |       |            |
| 5.4500 | 0.00  |       |            |
| 5.4000 | 0.00  |       |            |
| 5.3500 | 0.00  |       |            |
| 5.3000 | 0.00  |       |            |
| 5.2500 | 0.00  |       |            |
| 5.2000 | 0.00  |       |            |
| 5.1500 | 0.00  |       |            |
| 5.1000 | 0.00  |       |            |
| 5.0500 | 0.00  |       |            |
| 5.0000 | 0.00  |       |            |
| 4.9500 | 0.00  |       |            |
| 4.9000 | 0.00  |       |            |
| 4.8500 | 0.00  |       |            |
| 4.8000 | 0.00  |       |            |
| 4.7500 | 0.00  |       |            |
| 4.7000 | 0.00  |       |            |
| 4.6500 | 0.00  |       |            |
| 4.6000 | 0.00  |       |            |
| 4.5500 | 0.00  |       |            |
| 4.5000 | 0.00  |       |            |
| 4.4500 | 0.00  |       |            |
| 4.4000 | 0.00  |       |            |
| 4.3500 | 0.00  |       |            |
| 4.3000 | 0.00  |       |            |
| 4.2500 | 0.00  |       |            |
| 4.2000 | 0.00  |       |            |
| 4.1500 | 0.00  |       |            |
| 4.1000 | 0.00  |       |            |
| 4.0500 | 0.00  |       |            |
| 4.0000 | 0.00  |       |            |
| 3.9500 | 0.00  |       |            |
| 3.9000 | 0.00  |       |            |
| 3.8500 | 0.00  |       |            |
| 3.8000 | 0.00  |       |            |
| 3.7500 | 0.00  |       |            |
| 3.7000 | 0.00  |       |            |
| 3.6500 | 0.00  |       |            |
| 3.6000 | 0.00  |       |            |
| 3.5500 | 0.00  |       |            |
| 3.5000 | 0.00  |       |            |
| 3.4500 | 0.00  |       |            |
| 3.4000 | 0.00  |       |            |
| 3.3500 | 0.00  |       |            |
| 3.3000 | 0.00  |       |            |
| 3.2500 | 0.00  |       |            |
| 3.2000 | 0.00  |       |            |
| 3.1500 | 0.00  |       |            |
| 3.1000 | 0.00  |       |            |
| 3.0500 | 0.00  |       |            |
| 3.0000 | 0.00  |       |            |
| 2.9500 | 0.00  |       |            |
| 2.9000 | 0.00  |       |            |
| 2.8500 | 0.00  |       |            |
| 2.8000 | 0.00  |       |            |
| 2.7500 | 0.00  |       |            |
| 2.7000 | 0.00  |       |            |
| 2.6500 | 0.00  |       |            |
| 2.6000 | 0.00  |       |            |
| 2.5500 | 0.00  |       |            |
| 2.5000 | 0.00  |       |            |
| 2.4500 | 0.00  |       |            |
| 2.4000 | 0.00  |       |            |
| 2.3500 | 0.00  |       |            |
| 2.3000 | 0.00  |       |            |
| 2.2500 | 0.00  |       |            |
| 2.2000 | 0.00  |       |            |
| 2.1500 | 0.00  |       |            |
| 2.1000 | 0.00  |       |            |
| 2.0500 | 0.00  |       |            |
| 2.0000 | 0.00  |       |            |
| 1.9500 | 0.00  |       |            |
| 1.9000 | 0.00  |       |            |
| 1.8500 | 0.00  |       |            |
| 1.8000 | 0.00  |       |            |
| 1.7500 | 0.00  |       |            |
| 1.7000 | 0.00  |       |            |
| 1.6500 | 0.00  |       |            |
| 1.6000 | 0.00  |       |            |
| 1.5500 | 0.00  |       |            |
| 1.5000 | 0.00  |       |            |
| 1.4500 | 0.00  |       |            |
| 1.4000 | 0.00  |       |            |
| 1.3500 | 0.00  |       |            |
| 1.3000 | 0.00  |       |            |
| 1.2500 | 0.00  |       |            |
| 1.2000 | 0.00  |       |            |
| 1.1500 | 0.00  |       |            |
| 1.1000 | 0.00  |       |            |
| 1.0500 | 0.00  |       |            |
| 1.0000 | 0.00  |       |            |

TABLA 5.9

$$S_{\sigma} = 0.017$$

| X      | Y     | FONDO | SUPERFICIE |
|--------|-------|-------|------------|
| 9.0000 | 8.40  | 0.45  |            |
| 8.9500 | 7.90  | 0.45  |            |
| 7.9500 | 7.95  | 0.45  |            |
| 7.9000 | 7.95  | 0.45  |            |
| 7.8500 | 7.95  | 0.50  |            |
| 7.8000 | 8.00  | 0.50  |            |
| 7.7500 | 8.00  | 0.50  |            |
| 7.7000 | 7.95  | 0.45  |            |
| 7.6500 | 7.90  | 0.41  |            |
| 7.6000 | 7.90  | 0.41  |            |
| 7.5500 | 7.90  | 0.41  |            |
| 7.5000 | 7.76  | 0.45  |            |
| 7.4500 | 7.90  | 0.40  |            |
| 7.4000 | 7.80  | 0.40  |            |
| 7.3500 | 8.00  | 0.31  |            |
| 7.3000 | 8.30  | 0.30  |            |
| 7.2500 | 7.15  | 0.25  |            |
| 7.2000 | 14.00 | 0.25  |            |
| 7.1500 | 14.00 | 0.25  |            |
| 7.1000 | 14.82 | 0.30  |            |
| 7.0500 | 15.00 | 0.42  |            |
| 7.0000 | 16.00 | 0.45  |            |
| 6.9500 | 17.72 | 0.45  |            |
| 6.9000 | 18.47 | 0.39  |            |
| 6.8500 | 19.05 | 0.35  |            |
| 6.8000 | 19.60 | 0.40  |            |
| 6.7300 |       | 0.40  |            |
| 6.7230 |       | 3.10  | 20.60      |
| 6.6720 |       | 6.90  | 20.65      |
| 6.6450 |       | 2.80  | 20.40      |
| 6.6120 |       |       | 19.90      |
| 6.5500 | 17.35 | 0.65  | 19.60      |
| 6.5000 | 15.30 | 0.60  |            |
| 6.4500 | 12.40 | 0.50  |            |
| 6.4000 | 11.60 | 0.50  |            |
| 6.3500 | 10.32 | 0.40  |            |
| 6.3000 | 9.08  | 0.32  |            |
| 6.2500 | 9.44  | 0.31  |            |
| 6.2000 | 9.00  | 0.40  |            |
| 6.1500 | 8.80  | 0.40  |            |
| 6.1000 | 8.00  | 0.40  |            |
| 6.0500 | 8.99  | 0.41  |            |
| 6.0000 | 8.09  | 0.41  |            |
| 5.9000 | 9.09  | 0.41  |            |
| 5.8000 | 0.55  | 0.45  |            |
| 5.7000 | 8.60  | 0.30  |            |
| 5.6000 | 8.49  | 0.31  |            |
| 5.5000 | 7.20  | 0.40  |            |
| 5.4000 | 8.20  | 0.40  |            |
| 5.3000 | 8.40  | 0.40  |            |
| 5.2000 | 8.50  | 0.45  |            |
| 5.1000 | 8.40  | 0.50  |            |
| 5.0000 | 8.38  | 0.47  |            |
| 4.0000 | 7.90  | 0.45  |            |
| 3.0000 | 7.90  | 0.45  |            |
| 2.0000 | 7.49  | 0.41  |            |
| 1.0000 | 7.40  | 0.41  |            |

TABLA 5.10

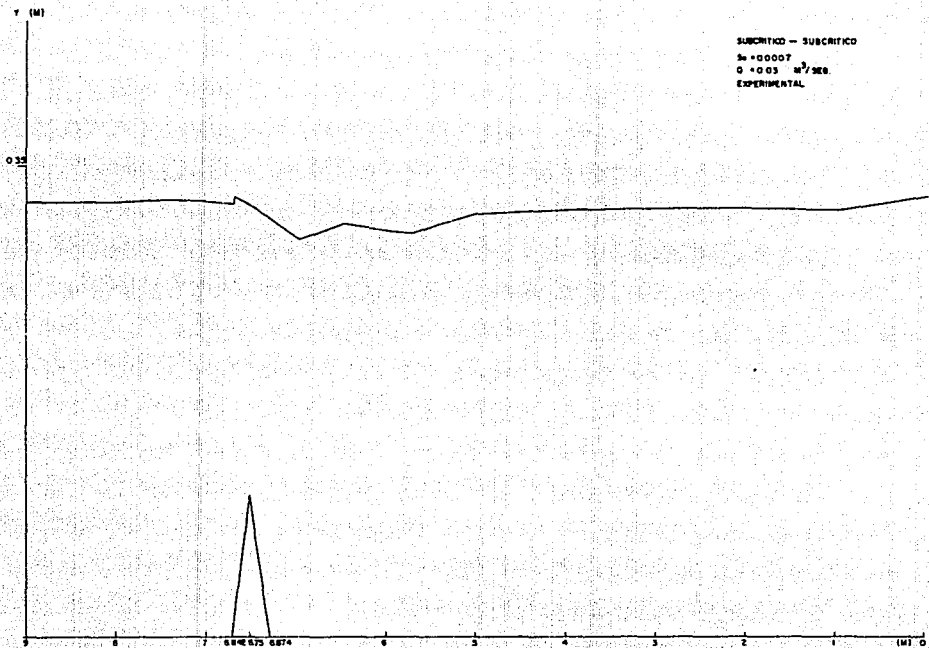


FIG. 5.4



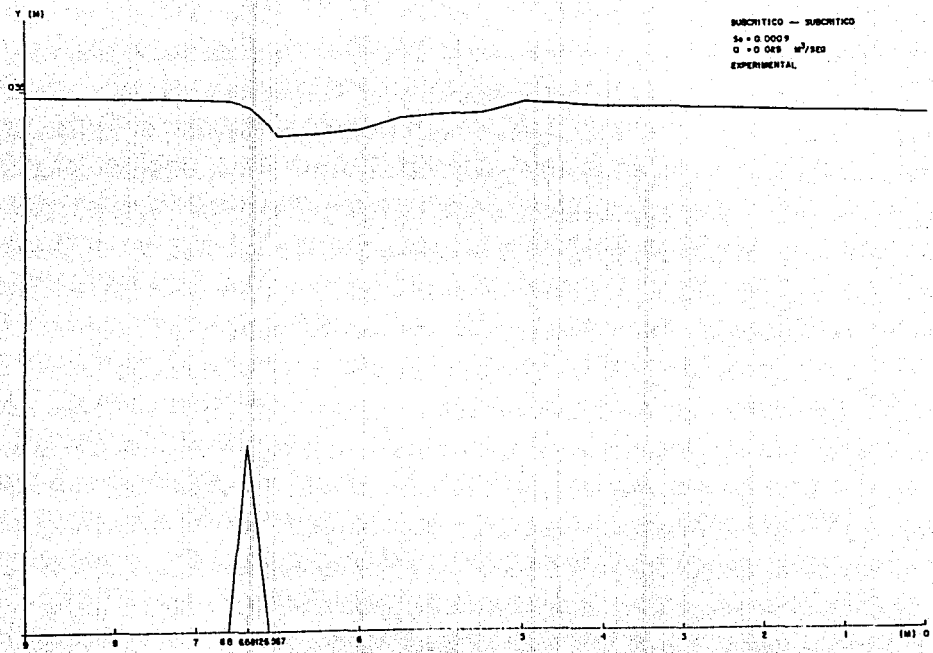


FIG. 5.5

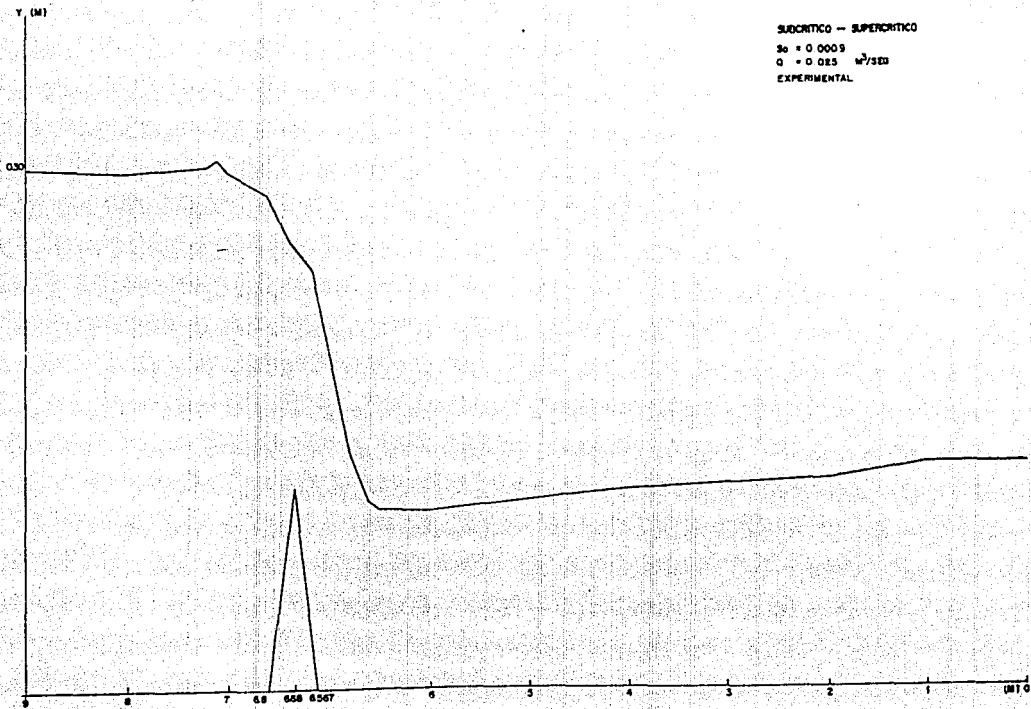
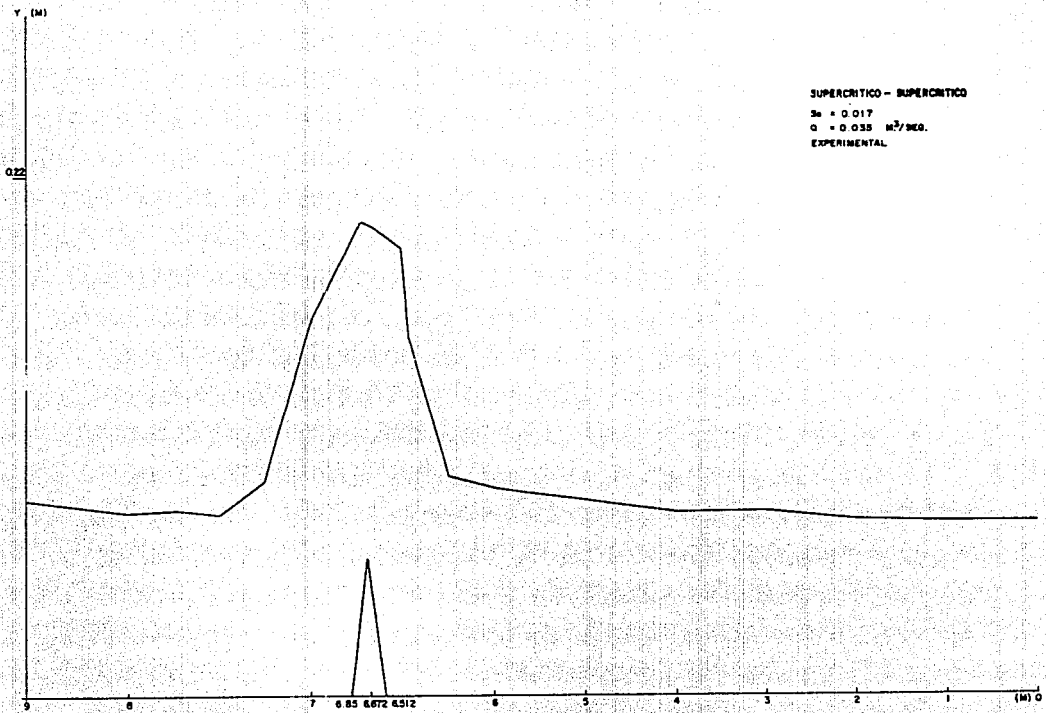


FIG. 56



SUPERCRITICAL - SUPERCRITICAL  
 $S_b = 0.017$   
 $Q = 0.035 \text{ m}^3/\text{SEC.}$   
 EXPERIMENTAL

FIG. 5.7

## C A P I T U L O   V I

## COMPARACION DE RESULTADOS.

Para realizar la comparación de los resultados obtenidos, numérica, experimental y teóricamente, aparecen las gráficas 6.1 a 6.3. en las que se muestran los resultados de los 3 casos, estas gráficas son las curvas de los tres tipos de caudalo, con esto se puede hacer una mejor comparación.

Primeramente se comparan los resultados teóricos con respecto a los resultados numéricos, en este caso se observa que existe una gran similitud, ésta se debe a que las consideraciones tomadas en ambos casos son las mismas. flujo ideal y rotacional no viscoso y además no se consideran pérdidas por fricción.

Si se comparan los resultados numéricos con los resultados obtenidos en el laboratorio, se observa que la superficie libre del agua que arroja el modelo numérico y la teoría, se encuentran por debajo de la superficie libre del agua obtenida experimentalmente. esto se cumple para todos los casos estudiados.

Las razones para este comportamiento dependen de si se tiene el caso subcrítico-supercrítico ó supercrítico-supercrítico. Primeramente se analizará el caso subcrítico-supercrítico.

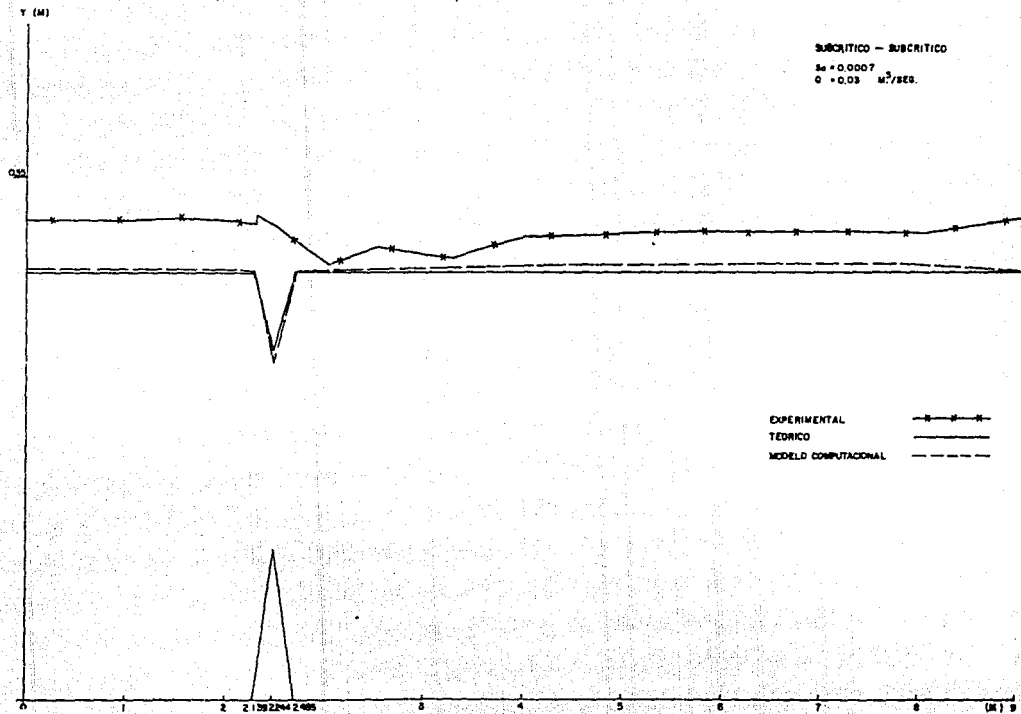


FIG. 6.1

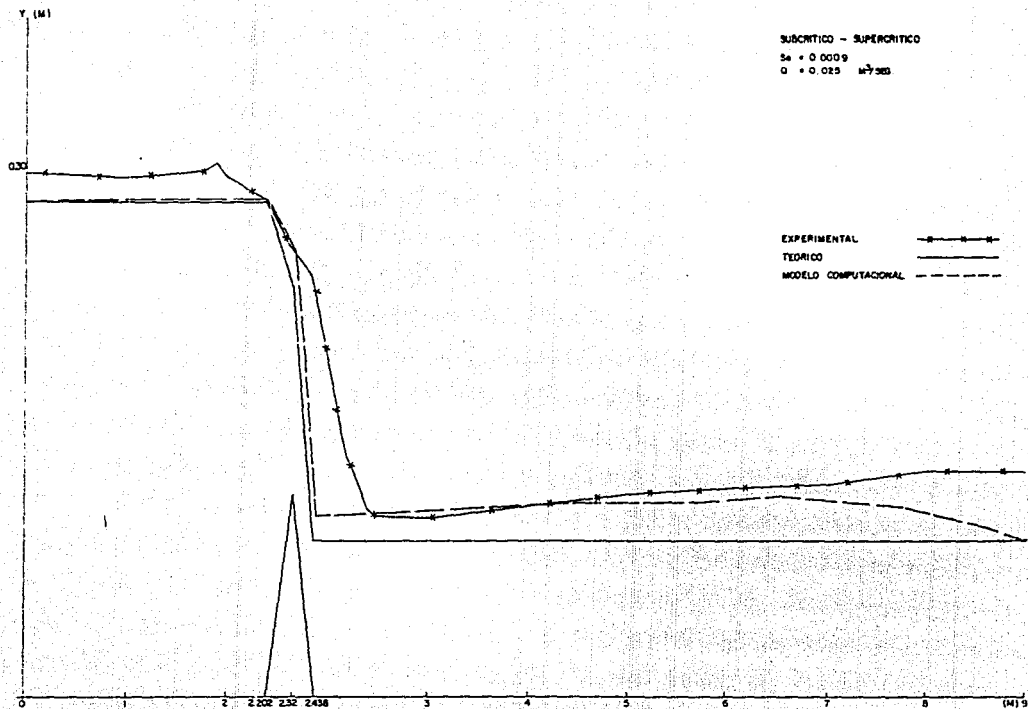


FIG. 6.2

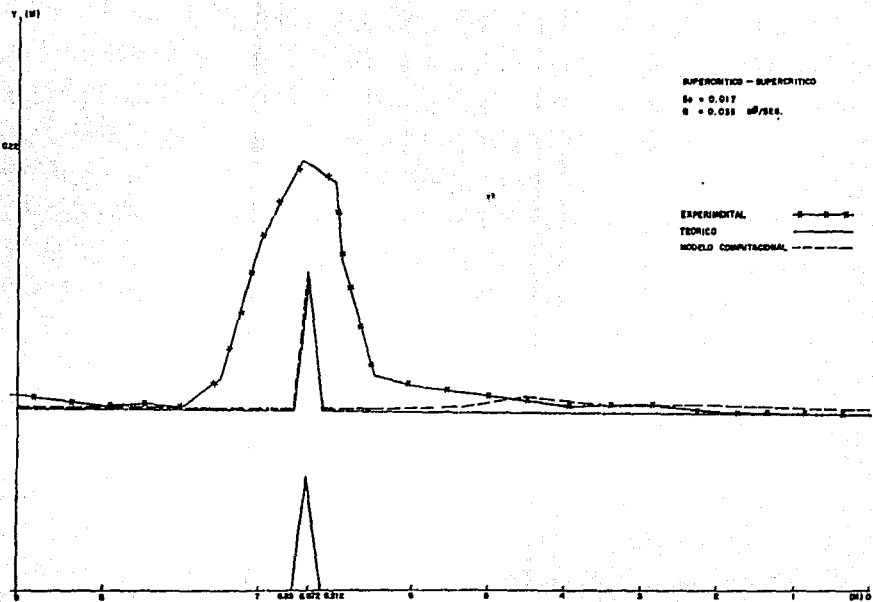


FIG. 6.3



a) Subcrítico-super-crítico:

En realidad la consideración de que el flujo es irrotacional no es verdadera, como todos sabemos la condición de irrotacionalidad depende de la vorticidad del fluido, la cual está dada por:

$$\eta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$

Por otro lado, el perfil de velocidades que se considera generalmente en la teoría de flujo en canales en régimen establecido es del siguiente tipo

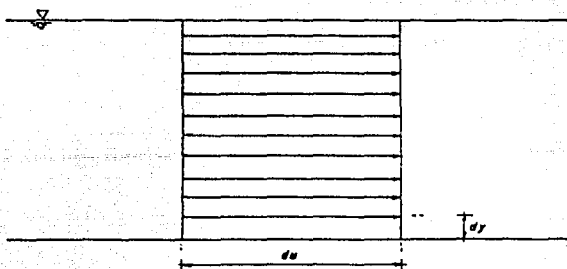


Figura d.4 Perfil de velocidad teórico

pero en realidad es como lo muestra la siguiente figura

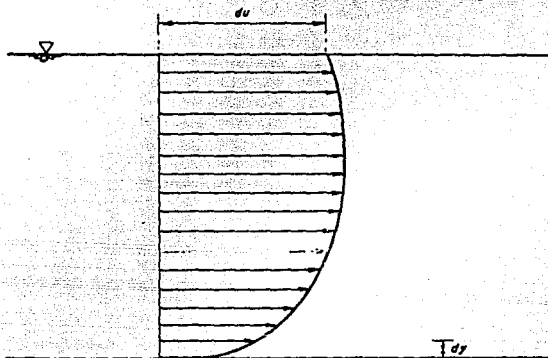


Figura 6.5 Perfil de velocidad real

En el presente trabajo se consideró un fluido ideal, por lo que por definición " $\eta = 0$ ". equivalentemente es como considerar el perfil de velocidades de la figura 6.4, tomando en cuenta el perfil de velocidades de la figura 6.5 se tiene evidentemente que en la parte cercana a la plantilla del canal " $v \neq 0$ " y además se tiene un gradiente de "u" con respecto a "y" por lo que

$$\eta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \neq 0$$

es decir que existe vorticidad.

Si se considera, por simplificación, que " $v = 0$ " entonces tendremos que

$$\eta = - \frac{\partial u}{\partial y}$$

al pasar de regimen subcritico a supercritico la velocidad aumenta pues el tirante disminuye y se tendrá lo siguiente:

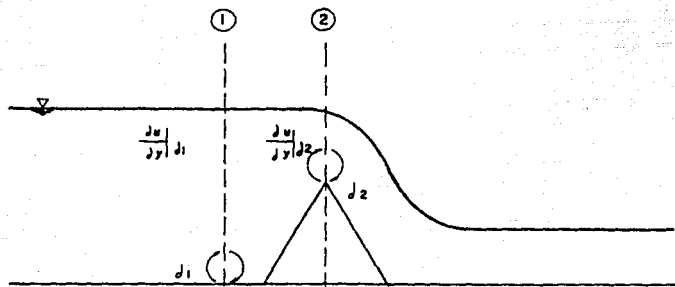


Figura 4.6

Es obvio que

$$\frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{d_2} > \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{d_1}$$

por lo que el efecto de vorticidad tenderá a impulsar hacia arriba a la superficie libre del agua, razón por la cual los resultados de laboratorio son mayores que los resultados numéricos. También se observa que las pérdidas por fricción no influyen considerablemente ya que de cualquier manera se está obteniendo en un momento dado la energía específica mínima.

b) Supercrítico-supercrítico:

En este caso tendremos que buscar la explicación en las curvas de energía específica, considere la fig. 6.7.

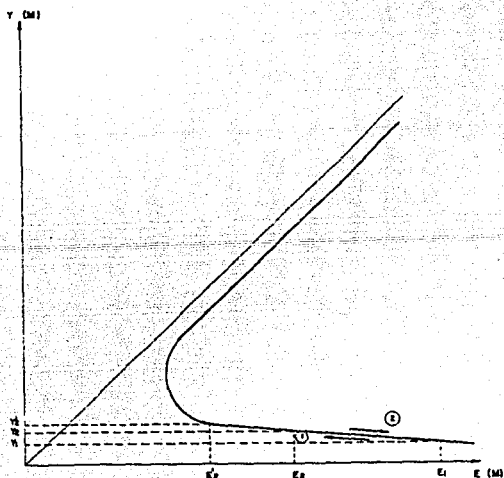


Figura 6.7

Inicialmente se tiene  $E_1$  y por escalón se llega a  $E_2$  al ser régimen supercrítico y con tirante de menos de 10 cm. las pérdidas por fricción si son considerables. por lo que en realidad se llega a tener una energía  $E_2'$  que corresponderá a un tirante  $Y_2' > Y_2$  teórico. que independientemente coincide con el  $Y_2$  numérico. Así se explica el porqué de las diferencias de los resultados teóricos y numéricos con los resultados experimentales.

## C A P I T U L O   V I I

## CONCLUSIONES.

Para terminar con el desarrollo del presente trabajo, se puede concluir:

- 1.- Los resultados que se obtienen por medio del método numérico aplicado en computadora son bastante aceptables comparados con los resultados teóricos. En comparación con los resultados experimentales se tiene una diferencia máxima del 5% y del 15% con respecto a los resultados experimentales.
- 2.- Para acercar más los resultados numéricos a los resultados experimentales se tendrían que hacer algunas consideraciones extras, como el tomar en cuenta la vorticidad, esto implicaría que ya no sería posible trabajar con la ecuación de Laplace, si no que habría que formular la ecuación de Poisson.

Los resultados obtenidos por medio de la simulación numérica son de muy buena calidad, es necesario impulsar el desarrollo de los métodos numéricos y sobre todo profundizar en el área de la Hidráulica, ciencia que tradicionalmente ha sido experimental, pero hay que reconocer la ayuda que métodos como el del Elemento Finito nos pueden prestar pues son más económicos que los métodos experimentales y pueden optimizar el uso de los laboratorios pues se podría acudir a estos ya con una muy buena idea de la posible

solución que se habría obtenido con la ayuda de la modelación computacional.

Es importante recalcar la interacción que debe existir entre modelos físicos (de laboratorio) y modelos numéricos, pues sin los primeros no será posible en ningún caso validar los segundos.



A P E N D I C E

| VARIABLE | SIGNIFICADO  |
|----------|--|
| HEAD     | Tirante inicial aguas arriba.                                  |
| ITER     | Número de iteraciones máximo.                                  |
| MOOTH    | Número de veces que se desea suavizar la red.                  |
| NMASX    | Número de elementos maestros en la dirección "X".              |
| NMASY    | Número de elementos maestros en la dirección "Y".              |
| NPME     | Número de puntos por elemento maestro.                         |
| X.Y      | Arreglos de coordenadas de elementos maestros.                 |
| NNX      | Número total de nodos en la dirección "X".                     |
| NNY      | Número total de nodos en la dirección "Y".                     |
| NNODE    | Número total de nodos.   |
| NELM     | Número total de elementos.                                     |
| COORD    | Coordenadas globales de los nodos de cada elemento.            |
| COORL    | Coordenadas locales de los nodos de cada elemento.             |
| ELEM     | Nodos por elemento.  |
| NX{I}    | Número de divisiones por elemento maestro en la dirección "X". |

| VARIABLE  | SIGNIFICADO   |
|-----------|---|
| NY [I]    | Número de divisiones por elemento maestro en dirección "Y".   |
| A [I]     | Toma los valores de la diagonal principal y los valores diferentes de cero tanto de arriba de la diagonal principal como abajo en la matriz global.     |
| J [DIAG]  | Nos indica la posición en la cual se encuentra el valor del vector A[I] dentro de la matriz global.   |
| B [I]     | Contiene inicialmente las condiciones de frontera. Al finalizar el programa contiene los valores de las líneas de flujo.                                |
| KEL [I,J] | Son las matrices de rigideces de cada elemento.   |
| DP[I]     | Son los valores del error en los puntos de la superficie libre del agua.  |
| DY[I]     | Son los valores de las correcciones que se aplicarán a los puntos en la superficie libre para con los valores corregidos empezar nuevamente el cálculo. |

| VARIABLE      | SIGNIFICADO   |
|---------------|---|
| FEL [I] ----- | Es el vector de términos independientes de cada elemento. |
| TIRSAL -----  | Es el tirante aguas abajo del escalón en el canal         |

## B I B L I O G R A F I A

1.- Aitchison, Joyce M.

A finite element solution for critical flow over a weir.  
3<sup>rd</sup> International conference on finite elements in flow  
problems, Banff, Alberta, Canada 1980.

2.- Alcaraz Paz, Alberto

Desarrollo de un modelo computacional para resolver el  
problema de flujo subterráneo regional en 2-D en estado  
estacionario, Trabajo Predoctoral, Instituto de  
Geofísica, U.N.A.M. 1989.

3.- Alcaraz Paz, Alberto

Finite element simulation of flow under a sluice gate,  
Tesis de maestría, University of Alberta, Canadá 1988.

4.- Alcaraz Paz, Alberto

Apuntes de la materia "Temas especiales de Hidráulica",  
Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., Semestre 90-I.

- 5.- Díaz Frédéric  
Open channel flows with submerged obstructions.  
Journal of Fluid Mechanics (1989) vol. 206, pp. 155-170.
- 6.- King, Horace  
Hidráulica. Ed. Trillas, México 1988.
- 7.- Lawrence, G.A.  
Steady flow over an obstacle, Journal of Hydraulics  
Engineering, vol 113 No. 8, August 1987, pp. 981-991.
- 8.- Levi, Enzo  
Mecánica de fluidos. Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.,  
México, D.F., 1965.
- 9.- O'Carroll, M.J.  
Numerical computations of critical flow over a  
weir, International Journal for Numeric Methods in  
Fluids, 1984, vol. 4, pp. 499-509.

10.- Shames, Irving Herman

La mecánica de los fluidos, Mc. Graw-Hill Book Company,  
1967.

11.- Sotelo Avila, Gilberto

Hidráulica General, Limusa, México 1985.

12.- Sotelo Avila, Gilberto

Apuntes de hidráulica II, Facultad de Ingeniería,  
U.N.A.M., México, D.F., 1986.

13.- Zienkiewies, O.C.

The finite element method, 3<sup>rd</sup> edition, Mc. Graw-Hill  
Book Company, London 1977.