

Nº 53  
2.EJ.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

SOCAVACION AL PIE DE LAS CUBETAS DE LANZAMIENTO  
FORMULACION TEORICA

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta

SHURABE CORA LILIA GUIDO AGUILAR

DIRECTOR DE TESIS:  
ING. JAIME CAMARGO H.



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

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
1.1	Consideraciones generales	1
1.2	Formulación del problema	1
1.3	Objetivos	2
1.4	Desarrollo del trabajo	2
<b>2.</b>	<b>VERTIDO DE LA CUBETA DE LANZAMIENTO</b>	<b>4</b>
2.1	Introducción	4
2.2	Disipación de la energía en el vertido libre	6
2.2.1	Características generales del flujo en el foso	6
2.2.2	Condiciones del flujo en el foso en función del tirante aguas abajo	8
2.3	Vertido libre	11
2.3.1	Características de la cubeta de lanzamiento y forma de la lámina vertida	11
2.4	Socavación en el cauce	14
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA NUMERICA</b>	<b>22</b>
3.1	Introducción	22
3.2	Programas de cálculo	24
3.3	Unificación de formulaciones para el cálculo de la socavación al pie de la cubeta de lanzamiento	26
3.3.1	Diseño de experimentos	26
3.3.2	Correlación múltiple	29
3.3.3	Generación de datos	35
3.3.4	Análisis de resultados	40
3.4	Aplicación práctica	41
3.4.1	Descripción del proyecto de la Presa de Aguamilpa, Nay.	41
3.4.2	Características hidráulicas	43
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES, APORTACIONES Y FUTUROS DESARROLLOS</b>	<b>53</b>
4.1	Conclusiones y aportaciones	53
4.2	Posibles desarrollos	54

<b>REFERENCIAS</b>	<b>56</b>
<b>INDICE DE VARIABLES</b>	<b>59</b>
<b>TABLAS Y FIGURAS</b>	<b>65</b>

## **1. INTRODUCCION**

### **1.1 Consideraciones generales**

En el diseño de las presas, especialmente aquellas que generan grandes cargas y/o están localizadas en ríos con caudales importantes, se asume una especial consideración en la correcta definición de la estructura terminal de la obra de excedencias que generalmente es un tanque amortiguador o una cubeta deflectora-foso disipador, contando con un buen diseño para obtener el valor mínimo de energía cinética y así reducir el problema de la socavación aguas abajo de la estructura terminal.

### **1.2 Formulación del problema**

La complejidad del flujo tridimensional resultante y la característica anisotrópica y no homogénea de la turbulencia inducida en el foso de disipación de energía, no permite estudiar el flujo por desarrollos analíticos. Por lo tanto, los estudios en modelo hidráulico son la herramienta básica.

Uno de los problemas es saber conducir estos estudios en modelo para la cuantificación de las acciones hidrodinámicas que actúan sobre las paredes del foso disipador.

El otro problema es que debido a la naturaleza aleatoria del proceso, no es posible describirlo por medio de una función analítica explícita en el tiempo. Sin embargo existen buenos procedimientos para caracterizar el fenómeno aleatorio, en una forma cuantitativa, por medio del análisis estocástico.

La confiabilidad de la información obtenida por el modelo hidráulico, esto es, los datos obtenidos por medio de los instrumentos de medición es fundamental; pues, de esta información dependen los resultados obtenidos en el proceso de tratamiento de la información.

### 1.3 Objetivos

El objetivo principal del estudio es llegar a resolver con seguridad y economía, aquellas estructuras hidráulicas sometidas a la acción de cargas hidrodinámicas, como son el caso de los fosos disipadores de energía al pie de una cubeta de lanzamiento. Así los objetivos principales que se persiguen, se circunscriben a los puntos siguientes.

- a. Presentar las formulaciones numéricas para el estudio de la socavación en el foso disipador de la energía hidráulica.
- b. Diseñar, poner a punto y formular una metodología experimental para el estudio del campo de presiones en el foso disipador de la energía hidráulica.

En el presente trabajo, se aborda sólo el primer punto, el segundo será tema de otro estudio.

### 1.4 Desarrollo del trabajo

El trabajo se ha dividido en varios capítulos. El capítulo uno, del cual forma parte esta sección, ha tenido la finalidad de formular el problema y los objetivos propuestos.

En el capítulo dos, se presenta en primer lugar un análisis global de la disipación de energía en la base del foso de caída. Se determinan las condiciones del flujo en el foso disipador por vertido libre de la cubeta de lanzamiento en función del remanso aguas abajo, para finalmente las formulaciones principales de las expresiones más

conocidas, que determinan las socavaciones máximas.

En el capítulo tres, se presentan los programas necesarios y la metodología numérica, para poder discutir y proponer una unificación de las formulaciones principales para calcular la socavación al pie de las cubetas de lanzamiento. Para finalmente presentar una aplicación real.

En el capítulo cuatro, se presenta un resumen de las conclusiones y aportaciones más importantes obtenidas en este trabajo, así como propuestas de futuros desarrollos.

conocidas, que determinan las socavaciones máximas.

En el capítulo tres, se presentan los programas necesarios y la metodología numérica, para poder discutir y proponer una unificación de las formulaciones principales para calcular la socavación al pie de las cubetas de lanzamiento. Para finalmente presentar una aplicación real.

En el capítulo cuatro, se presenta un resumen de las conclusiones y aportaciones más importantes obtenidas en este trabajo, así como propuestas de futuros desarrollos.

## 2. VERTIDO DE LA CUBETA DE LANZAMIENTO

### 2.1 Introducción

Un aspecto muy importante en el diseño de una presa, lo constituyen las obras de seguridad "vertedero-tanque disipador de energía" o "vertedero-cubeta de lanzamiento-foso disipador de energía", que permiten restituir al cauce natural el agua excedente del embalse.

El objetivo de los fosos disipadores de energía hidráulica es eliminar gran parte de la energía de los flujos de alta velocidad; ya sea por fricción del agua con el aire, con las paredes del suelo o formación geológica o por fricción interna; por lo tanto, limitan las socavaciones en el punto de restitución al cauce aguas abajo del foso y proporcionan un régimen de circulación lo más estable posible aguas abajo del foso.

En la Fig 2.1, se presentan los principales tipos de los fosos disipadores de energía hidráulica de las presas.

De todos los tipos, el vertido libre ver Fig 2.1(c y g), constituyen una forma de disipación de energía simple, al incidir el flujo en un colchón de agua, pudiendo ser el fondo el cauce natural del río (roca sana de buena calidad), una plancha de concreto armado, el foso labrado

por las descargas de la estructura en formaciones de poca resistencia ó el formado por una contrapresa.

El estudio realizado se circunscribe al foso labrado por las descargas y al estanque formado por la contrapresa. Su misión consiste en retornar los caudales excedentes al cauce del río, pero de una forma racional. Para ello, el flujo de la obra de excedencias en su parte terminal es guiada por la cubeta de lanzamiento; posteriormente cae libremente por la atmósfera hasta alcanzar el foso disipador, que se encuentra ubicado al pie de la estructura y que está constituido por el suelo y un colchón de agua en donde la vena líquida se difunde. A continuación se forma un resalto hidráulico ahogado, para posteriormente retornar al cauce del río.

El foso disipador de energía, se encuentra sometido a una fuerte acción erosiva, como consecuencia de las altas velocidades que se obtienen de la transformación de la energía potencial creada por el embalse.

Actualmente se presentan dudas a la hora de preveer sí la caída de un chorro de gran potencia junto al pie de la estructura, provocará socavaciones serias en el lecho del río. Por tanto, aún existen muchos problemas por esclarecer en relación a la acción del chorro en el lecho del río, tanto a nivel teórico como práctico [5].

La acción destructiva del chorro sobre el lecho y márgenes es motivada por las presiones hidrodinámicas y a sus fluctuaciones, estrechamente relacionadas con la altura de la presa, el caudal descargado, la posición relativa del chorro, etc. Así como las características geotécnicas y geológicas del lecho.

En el proyecto de un tanque disipador, problemas importantes a resolver son el determinar las condiciones de la acción mecánica del chorro y fijar la altura y longitud del colchón de agua. El diseño de estos tanques es de carácter interactivo. Una vez que se define a nivel de prediseño la forma y dimensiones del vertedero y del tanque disipador (altura del colchón y su longitud), se construye el modelo hidráulico, que determinará las presiones actuantes en el tanque. Posteriormente, al tomar en cuenta dichas presiones y los costos económicos se modifican las dimensiones y geometría del tanque disipador, con objeto de llegar a una solución adecuada.

En este capítulo, se presenta el análisis de la disipación de la energía hidráulica en el foso, en donde se definen las características generales de la disipación y la geometría del flujo. Posteriormente, se determina de una forma más detallada, las condiciones del flujo en el foso disipador en función del remanso aguas abajo.

Parte de la información que se presenta, ha sido tomada de las refs [3] y [25], con algunas adiciones encaminadas a definir la socavación al pie de las cubetas de lanzamiento.

## 2.2 Disipación de la energía en el vertido libre

La disipación de la energía se produce por el frenado del aire y la emulsión en la caída, por la difusión del chorro en el colchón de agua. El impacto en el lecho del disipador y el remanso o contrapresa crea un flujo altamente turbulento con elevada disipación de energía.

### 2.2.1 Características generales del flujo en el foso

Moore [16], presenta un estudio teórico-experimental de la disipación de energía bidimensional con base a las estructuras de caída vertical, ver Fig 2.2.

Sin considerar pérdidas de carga

$$H_1 = H + \frac{3}{2} Y_c \quad (2.1)$$

$$\frac{H_1}{V_c} = \frac{H_o}{V_c} = \frac{H}{V_c} + \frac{3}{2} \quad (2.2)$$

siendo

$$Y_c = \left[ \frac{q^2}{g} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (2.3)$$

La diferencia entre las curvas teórica y experimental, ver Fig 2.3, representa la pérdida de energía entre el tirante crítico  $\Delta H/V_c$ . La disipación puede llegar a ser hasta las 2/3 partes de la altura de caída, H. Se consigue incrementar la disipación de la energía de un caudal y una altura de una caída determinada, al aumentar el ancho del vertedero, lo que significa una reducción del tirante.

La velocidad media real en la base de la caída, se expresa como:

$$V_1 = C_v \left[ 2g(H_0 - Y_1) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.4)$$

en donde  $H_0 = H + \frac{3}{2} Y_c$  (ver Fig 2.2).

Si en la ec (2.4) se sustituye el valor de  $H_0$ , se toma en cuenta la ecuación de continuidad y se reordenan términos se obtiene

$$\left[ \frac{Y_c}{Y_1} \right]^3 - C_v^2 \frac{Y_c}{Y_1} \left[ \frac{2H}{Y_c} + 3 \right] + 2 C_v^2 = 0 \quad (2.5)$$

a partir de la ec (2.5), y teniendo en cuenta el valor de  $C_v$  (Fig 2.3), se puede calcular  $Y_1$ . La energía  $Y_1 + V_1^2/2g$ , se obtiene de la ec (2.1).

El tirante  $Y_p$ , se determina de la ecuación de cantidad de movimiento, y cuya ecuación es

$$\left[ \frac{Y_p}{Y_c} \right]^2 = \left[ \frac{Y_1}{Y_c} \right]^2 + 2 \left[ \frac{Y_c}{Y_1} \right] - 3 \quad (2.6)$$

Esta expresión concuerda con los resultados experimentales presentados por Moore [16], ver Fig 2.4.

El conjugado  $Y_2$ , se obtiene a partir de  $Y_1$ , para el caso de una sección rectangular con la ecuación siguiente

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \frac{1}{2} \left[ \left( 1 + 8 F_{r_1}^2 \right)^{0.5} - 1 \right] = \frac{1}{2} \left[ \left( 1 + 8 \left( \frac{Y_c}{Y_1} \right)^3 \right)^{0.5} - 1 \right] \quad (2.7)$$

$$F_{r_1} = \frac{V_1}{(g Y_1)^{0.5}} \quad (2.8)$$

la ec (2.7) se puede presentar de la manera siguiente

$$\frac{Y_2}{Y_c} = \frac{Y_1}{2 Y_c} \left[ \left( 1 + 8 \left( \frac{Y_c}{Y_1} \right)^3 \right)^{0.5} - 1 \right] \quad (2.9)$$

Moore [16] comprobó experimentalmente la ec (2.9), Fig 2.5.

W. Rand [18], de los datos experimentales de Bakhmeteff y Feodoroff [3], Moore [16] y de sus propios resultados, encontró que la geometría del flujo en las estructuras de caída, se pueden describir en función de un parámetro adimensional, denominado número de caída, el cual se define como

$$D_c = \frac{q^2}{g H^3} \quad (2.10)$$

las relaciones geométricas son las siguientes

$$\frac{L_d}{H} = 4.30 D_c^{0.27}$$

$$\frac{Y_p}{H} = 2.00 D_c^{0.22}$$

$$\frac{Y_1}{H} = 0.54 D_c^{0.425}$$

$$\frac{Y_2}{H} = 2.66 D_c^{0.27}$$

aplicables al caso particular de no socavación al pie de la estructura, Fig 2.2.

La longitud del foso de disipación es función de la trayectoria del chorro y de la longitud del resalto hidráulico libre  $L_r = 6.9 (Y_2 - Y_1)$ , así :  $L_c = L_d + L_r$ .

Los resultados que se obtengan, se pueden aplicar solamente a nivel de prediseño; de esta forma, se pueden definir las dimensiones del modelo hidráulico del prototipo en estudio. Las características finales del foso disipador de energía se obtendrán del análisis de resultados de los ensayos realizados en modelo.

2.2.2 Condiciones del flujo en el foso en función del tirante aguas abajo.

Las condiciones del flujo en el foso, pueden clasificarse de acuerdo al

remanso aguas abajo  $Y_b$ , en tres tipos diferentes (Fig 2.6).

Tipo I  $Y_b < Y_2$

En estas condiciones no se forma un verdadero colchón aguas abajo del punto de caída; sin embargo, aguas arriba de este punto se forma un colchón de agua de espesor  $Y_p$ , creado en la zona de caída del chorro de tirante  $Y_{co}$ .

Tipo II  $Y_b > Y_2$

Se forma un resalto hidráulico ahogado, de esta forma aguas arriba y aguas abajo del punto de caída, se tienen verdaderos colchones de agua.

Para obtener este tipo de flujo, se debe verificar que  $Y_{co}/b_o < 20$ , donde  $b_o$  es el espesor del chorro a la entrada del foso dissipador [1], Fig 2.6.

Tipo III  $Y_{co}/b_o > 20$

La inclinación de la superficie libre, aguas arriba y abajo del punto de caída, disminuye rápidamente, la diferencia entre  $Y_{co}$  y  $Y_b$  tiende a cero.

En donde se presente un remanso natural o artificial, suelen garantizarse las condiciones de flujo tipo II ó III.

Para obtener el tirante  $Y_p$ , en función del remanso aguas abajo  $Y_b$  (flujos tipos II y III), se aplica el teorema de la cantidad de movimiento entre estas dos secciones, Fig 2.6, sumándole un término adicional correspondiente a las fuerzas de resistencia del flujo; esto es:

$$\rho q v_o \cos \theta_o + \frac{1}{2} \rho g Y_p^2 = \rho q v_b + \frac{1}{2} \rho g Y_b^2 + \beta_o \rho q v_o \cos \theta_o \quad (2.11)$$

haciendo  $\beta = 1 - \beta_o$ , y reordenando

$$\frac{Y_p}{Y_b} = \left[ 1 - 2 F_b \left[ \left( \frac{V_o}{V_b} \right) \beta \cos \theta_o - 1 \right] \right]^{0.5} \quad (2.12)$$

en donde,  $F_b = V_b^2/g$   $Y_b$  representa el cuadrado del número de Froude en la sección aguas abajo;  $\beta_o$  es un coeficiente que se le puede atribuir el sentido físico de tomar en cuenta las pérdidas de carga continuas.

Cui Guang Tao [5] presentan los resultados de cálculo de  $\beta$ , por medio de la ec (2.12), a partir de valores experimentales de  $Y_p$ . Estos valores están comprendidos entre 0.5 y 0.7, pudiéndose considerar un valor medio de 0.6, ver Fig 2.7. La ec (2.12) y la Fig 2.7 permiten calcular  $Y_p$ .

Cui Guang Tao [5] presenta que los resultados analíticos ( $\beta = 0.6$ ) y experimentales, obtenidos para un modelo en particular, concuerdan razonablemente, Fig 2.8.

El cálculo de  $Y_{co}$  se realiza utilizando un método aproximado. Para aplicar el teorema de la cantidad de movimiento entre las secciones a  $Y_{co}$  y  $Y_b$ , es preciso tener en cuenta la influencia de los vórtices, las inclinaciones de la superficie libre en esas secciones, así como dos términos adicionales correspondientes a la resistencia del flujo y a la no distribución uniforme de velocidades en la sección de caída o de incidencia  $Y_{co}$ . Así se tiene que

$$\rho \theta V_o \cos \theta_o + \frac{\rho g Y_{co}^2}{2} + \alpha \rho q V_o = \beta_o \rho q V_o \cos \theta_o + \rho q V_b + \frac{\rho g Y_b^2}{2} \quad (2.13)$$

en donde  $\beta$  tiene el mismo significado que el descrito en la ec (2.12), en tanto que  $\alpha$  es un coeficiente que toma en cuenta la no distribución uniforme de velocidades. Por tanto:

$$\frac{Y_{co}}{Y_b} = \left[ 1 - 2 F_b \left[ \left( \frac{V_o}{V_b} \right) \beta \left( \frac{\alpha}{\beta} + \cos \theta_o \right) - 1 \right] \right]^{1/2} \quad (2.14)$$

El valor de  $Y_{co}$  es muy difícil de determinar experimentalmente, de modo que no se puede obtener  $\alpha$ , en la misma forma en que se obtuvo  $\beta$ .

La ec (2.14) se ajusta razonablemente a los datos experimentales, cuando  $\alpha/\beta = 1$  [1], [5].

## 2.3 Vertido libre

La literatura contempla un aspecto, sobre las características del desagüe de los vertedores y la forma de la lámina vertida.

### 2.3.1 Características de las cubetas de lanzamiento y forma de la lámina vertida

Las características hidráulicas de una cubeta se pueden determinar, conocida la geometría de esta, tomando como base un método matemático, el cual transformado en un programa de computadora, permite verificar, a bajo costo y en corto tiempo, diferentes alternativas de diseño. La característica hidráulica que se pretende determinar es: la distribución de velocidades al paso de un gasto con un tirante dado.

Definida la característica geométrico-hidráulica de la cubeta de lanzamiento, se hace necesario determinar la dispersión del chorro, es decir, obtener entre otros parámetros: la longitud y ancho máximo de lanzamiento, y el ángulo de entrada en la superficie del agua.

#### A. Longitud de lanzamiento

La longitud teórica se determina a partir de la trayectoria parabólica que describe un proyectil que es lanzado con una velocidad inicial,  $V$ , y forma un ángulo  $\theta$ , con la horizontal. En las diversas expresiones propuestas, las diferencias están en los parámetros empleados como datos iniciales.

El USBR [21] determina la trayectoria del chorro, tomando como origen de las coordenadas el labio de la cubeta, Fig 2.9, con la ecuación

$$y = x \tan \theta - \frac{x^2}{K [ 4 (d + h_v) \cos^2 \theta ]} \quad (2.15)$$

Para tomar en cuenta la reducción de la velocidad del chorro, por la resistencia del aire, turbulencias internas y su propia desintegración, el valor teórico de  $K$ , que es igual a la unidad, se reduce a 0.9.

El alcance horizontal del chorro en la salida se obtiene considerando

"y" igual a cero; de esta forma

$$x = 2 K (d + h_v) \operatorname{sen} 2\theta \quad (2.16)$$

el valor máximo de x es igual a  $2 K (d + h_v)$ , cuando  $\theta$  es  $45^\circ$ .

Para calcular la longitud de lanzamiento del flujo, medida a partir de la estructura terminal, Fig 2.10, se pueden aplicar las siguientes expresiones propuestas por diferentes investigadores soviéticos [13].

a) Vizgo calcula teóricamente la distancia relativa,  $\lambda_0$

$$\lambda_0 = \frac{L_v}{Z_0} = 2 \cos \theta \left[ m_v \operatorname{sen} \theta + \sqrt{m_v (1 - m_v \cos^2 \theta + \frac{d}{2 Z_0} \cos \theta)} \right] \quad (2.17)$$

En esta expresión no se consideran las pérdidas de energía, ni el comportamiento de lanzamiento real del chorro en el aire respecto a la trayectoria ideal supuesta.

b) Kiseliiov propone la expresión

$$L_v = 2\psi_1^2 n_k Z \cos \theta \left[ \operatorname{sen} \theta + \sqrt{\operatorname{sen}^2 \theta + \frac{d \cos \theta + 2 Z (1 - n_k)}{2\psi_1^2 n_k Z}} \right] \quad (2.18)$$

c) Eliasberk propone una fórmula que utiliza la velocidad al final de la cubeta

$$L_v = \frac{V^2 \operatorname{sen} \theta \cos \theta}{g} + V \cos \theta \sqrt{\frac{V^2 \operatorname{sen}^2 \theta + 2 Z'}{g^2}} \quad (2.19)$$

Para calcular la longitud de lanzamiento de la parte superior del chorro, en lugar de  $Z'$  se considera  $(Z' + d)$  y para la parte media del chorro  $(Z' + 0.5d)$ .

El USBR toma en cuenta el comportamiento real del chorro en el aire,

que difiere de la trayectoria ideal asumida por un coeficiente  $K_1$ .

$$L_{V(\text{real})} = K_1 L_{V(\text{teorica})} \quad (2.20)$$

#### B. Ancho máximo de lanzamiento del chorro

El ancho máximo de lanzamiento del chorro,  $a_o$ , se produce cuando éste penetra en el remanso formado aguas abajo de la estructura terminal, Fig 2.10.

Vizgo [22] lo determina con la expresión

$$a_o = B + 2 L_v \tan \varepsilon \quad (2.21)$$

El ángulo de divergencia del chorro,  $\varepsilon$ , ha sido calculado, por Rhone y Peterka [19], en función del número de Froude a la salida y de la geometría de la cubeta de lanzamiento (Fig 2.11). En cubetas de lanzamiento prismáticas de fondo plano, la divergencia está comprendida entre 2 y 5° para números de Froude de 6 y 12; para cubetas del tipo USBR, la divergencia es mayor, entre 3 y 14° para números de Froude entre 6 y 11.

#### C. Angulo de entrada del chorro en la superficie del agua

El ángulo de entrada teórico del chorro en la superficie del remanso aguas abajo de la estructura terminal, se determina con la expresión

$$\theta_o = \text{ang tan} \left[ \sqrt{\tan^2 \theta + \frac{2 g Z'}{V^2 \cos^2 \theta}} \right] \quad (2.22)$$

Debe procurarse que el ángulo  $\theta_o$  no sea muy grande, para disminuir el componente vertical de la velocidad que cae sobre la masa de agua y con ello la socavación en el cauce; se recomienda que no sea inferior el ángulo a 40°.

#### D. Velocidad de entrada del chorro en la superficie del agua

La velocidad teórica del chorro al entrar en la superficie del remanso aguas abajo de la cubeta de lanzamiento, se determina con la expresión

$$V_o = \left[ v^2 + 2 g Z' \right]^{1/2} \quad (2.23)$$

Tanto para el ángulo como para la velocidad de entrada del chorro en la superficie del remanso, parte superior y media, se hacen las mismas consideraciones anotadas para  $Z'$  con anterioridad.

#### 2.4 Socavación en el cauce

Al penetrar el chorro en el cauce se producen pérdidas de energía por el choque de las masas de líquido y por la compresión de las burbujas de aire contenidas en el remanso; fuera de esta zona las burbujas de aire se expanden y circulan hacia la superficie, perpendicularmente al flujo, incrementando la turbulencia de este, lo que contribuye a mejorar la disipación de energía dentro del remanso.

P.J. Mason y A. Kanapathypilly [12], después de estudiar la información disponible para calcular la profundidad máxima de socavación, han agrupado las ecuaciones propuestas por diferentes investigadores en los siguientes grandes grupos.

##### Grupo Uno

Expresa la profundidad máxima de socavación,  $t_s$ , en función de la caída  $Z_o$  (diferencia entre el NAME y el nivel de la superficie libre del remanso), el gasto unitario,  $q$ , y el tamaño del material  $D$ .

$$t_s = \frac{K_D q^{a_D} Z_o^{b_D}}{D^{c_D}} \quad (2.24)$$

los valores propuestos por varios investigadores, para los coeficientes  $K_D$ ,  $a_D$ ,  $b_D$ ,  $c_D$  y el tamaño de material representativo, se indican en la Tabla 2.1.

##### Grupo Dos

Además de los datos requeridos en el grupo uno ( $Z_o$ ,  $q$ ,  $D$ ) interesa la profundidad del remanso  $Y_b$ ; Jaeger [10] propone la expresión siguiente

$$t_s = 0.6 q^{0.5} Z_o^{0.25} (Y_b/D)^{0.33} \quad (2.25)$$

Martins [11] presenta la ecuación

$$t_s = 0.14 N_m - 0.73 \frac{Y_b^2}{N_m} + 1.7 Y_b \quad (2.26)$$

donde

$$N_m = \sqrt[7]{\frac{Q^3 Z_o^{1.5}}{D^2}} \quad (2.27)$$

$$Q = qB \quad (2.28)$$

### Grupo Tres

La profundidad máxima de socavación es estimada en forma empírica por Cola [12] como  $t_s = 4B$ ; por Davis y Sorensen [12] como  $t_s = 2/3 Z_o$ ; Hartung, Hausler y Cola [12] como  $t_s = 20 d_1$ , donde  $d_1$  es el diámetro del chorro.

### Grupo Cuatro

Los criterios conocidos actualmente para predecir la socavación que produce el chorro el penetrar en el remanso del cauce, han sido desarrollados principalmente por investigadores soviéticos [9]. Los métodos propuestos se presentan a continuación:

#### A. Método de Mirtsjulsava

En este método [14, 15] se toma en cuenta la dispersión del chorro en un medio líquido, Fig 2.12, considerando que el líquido del chorro  $X_{1H} + X_{2H}$ , hasta el fondo del foso de socavación, es igual a la distancia  $Z_H$ , desde este hasta la zona de la barra que se forma aguas abajo del mismo.

La profundidad del foso de socavación, se determina en función del tipo de suelo.

#### a) Para suelos granulares

$$t_s = \left[ \frac{3 \mu_o V_o b_o}{\omega} - 7.5 b_o \right] \frac{\text{sen } \theta_o}{1 - 0.175 \cot \theta_o} + 0.25 Y_b \quad (2.29)$$

donde

$$b_o = 0.8 \frac{g}{V_o} \quad (2.30)$$

$$\omega = \left[ \frac{2g (\gamma_s - \gamma_o)}{1.75 \gamma_o} D_p \right]^{0.5} \quad (2.31)$$

$$\gamma_o = \% \text{ aire } \gamma \quad (2.32)$$

sí el material del cauce es suelto (arenas y gravas), el diámetro medio de la partícula se calcula con

$$D_p = \frac{D_1 n_1 + D_2 n_2 + \dots + D_i n_i}{100} \quad (2.33)$$

donde  $n_i$  es el porcentaje del contenido de las diferentes fracciones.

Si no se cuenta con suficiente información, en una primera aproximación, se considera  $D_p = D_{90}$ .

b) Para suelos cohesivos

$$t_s = \left[ \frac{8.3 V_o b_o}{V_c} - 7.5 b_o \right] \frac{\text{sen } \theta_o}{1 - 0.175 \cot \theta_o} + 0.25_b Y \quad (2.34)$$

donde

$$V_c = 1.25 \left[ \frac{2 g m'}{0.3 \gamma_o n'} (\gamma_s - \gamma_o) D_p + 1.25 (C_f^c K_s + P_d + P_H) \right]^{0.5} \quad (2.35)$$

$$P_d = \frac{1.88 \gamma_o \alpha_1 V_f^2 \text{sen } \theta_o}{g} \quad (2.36)$$

$$P_H = \alpha_1 t_s \gamma_o \quad (2.37)$$

cuando el material es cohesivo (arcillas, limos, etc.), se caracteriza

con un diámetro equivalente,  $D_p = D_{oq}$ , de acuerdo con la **Tabla 2.2**. Si el material cohesivo se desprende en forma de flóculos con un tamaño medio de 4 mm, se tomaría otro criterio.

Al sustituir 2.36 y 2.37 en 2.35, y esta en 2.34, se obtiene una expresión implícita en  $V_c$  y  $t_s$  que es necesario resolver por iteraciones.

c) Para suelos rocosos fracturados

$$t_s = \left[ \frac{8.3 V_o b_o}{V_c} - 7.5 b_o \right] \frac{\text{sen } \theta_o}{1 - 0.175 \cot \theta_o} + 0.25 Y_b \quad (2.38)$$

donde

$$V_c = \left[ \frac{2 g m' b_r^2 (R_f + c_r (\gamma_s - \gamma_o))}{\gamma_o n' \text{sen } \theta_o (0.6 b_r^2 + 0.2 c_r^2)} \right]^{0.5} \quad (2.39)$$

Si dentro de las fisuras se deposita material cementante, el proceso de erosión es análogo al de un material semicohesivo y la expresión anterior es válida. Cuando no existe material cementante  $R_f = 0$ .

#### B. Método de Matsman

**Matsman** [9] considera que el agua en forma de chorro libre que procede de la cubeta de lanzamiento y causa la socavación, detiene su acción erosiva al alcanzar el nivel aguas abajo un tirante,  $h_d$ , con el cual la velocidad del flujo alcanza el mismo valor que la velocidad crítica permisible para el suelo de que se trate.

El tirante  $h_d$  (**Fig 2.14**) es físicamente el resultado de la formación de un salto hidráulico en el tramo inferior que tiene a  $h_c$  y  $h_c''$  como primera y segunda conjugada, respectivamente. El aumento del tirante contraído  $h_c$  hasta el valor permisible  $h_d$  ocurre después del establecimiento del salto.

El valor de  $h_d$  se obtiene de

$$h_d = \frac{q}{V_c \psi_H} \quad (2.40)$$

de acuerdo con la Fig 2.14

$$Y_b + Y_s = t_s = h_{c''} - h_c + h_d \quad (2.41)$$

Matsman propone para calcular los conjugados del salto hidráulico

$$q = \psi_H h_c \sqrt{2g \left[ z' + d + \alpha_c \frac{v^2}{2g} + (h_{c''} - h_c) - Y_b \right]} \quad (2.42)$$

$$h_{c''} = \frac{h_c}{2} \left[ \sqrt{1 + 8 F_r^2} - 1 \right] \quad (2.43)$$

la curva adimensional de Matsman (Fig 2.15) permite calcular rápidamente  $t_s$ , con la siguiente secuencia

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (2.44)$$

$$h_d = \frac{q}{V_c \psi_H} \quad (2.45)$$

la velocidad crítica permisible del suelo,  $V_c$ , se obtiene a partir de las expresiones 2.35 y 2.39 presentadas por Mirtsjuslava

$$Z_o = Z' + d + \frac{v^2}{2g} - Y_b \quad (2.46)$$

$$N = \frac{2 Z_o}{Y_c} \quad (2.47)$$

$$T_H = \frac{t_s - h_d}{Y_c} \quad (2.48)$$

El valor de  $T_H$  se obtiene de la curva adimensional de Matsman (Fig 2.15), conocido el valor de  $N$ , y de esta manera, se obtiene el valor de  $t_s$  mediante la ec 2.48.

### c) Método de Vizgo

En 1940 Vizgo [22] presenta un esquema de la dispersión del chorro dentro del foso de disipación (Fig 2.16), que implica un análisis más

elaborado que el de Matsman. En dicho esquema estima que la disipación de la energía se realiza en dos partes, una superior y otra inferior; por esta razón su desarrollo teórico considera la relación entre los tirantes conjugados del salto hidráulico por cada parte. Después de una serie de transformaciones llega a

$$t_s = 0.95 \left[ X_v q Z_o^{0.5} \right]^{0.5} + 0.95 \left[ (1 - X_v) q Z_o^{0.5} \right]^{0.5} \quad (2.49)$$

$$t_s = 0.95 \left[ X_v^{0.5} + (1 - X_v)^{0.5} \right] \left[ q Z_o^{0.5} \right]^{0.5} \quad (2.50)$$

$$t_s = K_v \left[ q Z_o^{0.5} \right]^{0.5} \quad (2.51)$$

donde  $X_v$  representa el espesor del chorro que contribuye a la formación del salto de la parte superior y  $K_v$  corresponde a un coeficiente que se valora experimentalmente, el cual depende del ángulo de incidencia del chorro  $\theta_o$  y del tipo de suelo (Tabla 2.3).

Al tomar en cuenta el efecto de la aireación del chorro  $A_v$  (Fig 2.17) como una función del número de Froude, la ec 2.51 puede escribirse

$$t_s = A_v K_v \left[ q Z_o^{0.5} \right]^{0.5} \quad (2.52)$$

la aireación del chorro puede calcularse también a partir de

$$A_v = 0.55 + 0.3 \frac{q}{Z_o} \quad (2.53)$$

$$A_v = \left[ \frac{(g b_o)^{0.5}}{v_o} \right]^{0.2} \quad (2.54)$$

#### d) Método de Studenichnikov

El autor [20] desarrolló en el laboratorio del Instituto de Bodego de Moscú, un método que toma en cuenta las velocidades críticas permisibles sobre diversos tipos de suelo, tanto en régimen subcrítico como supercrítico. Para evaluar la profundidad de socavación propone las expresiones siguientes

$$t_s = K_{sb} \left[ 3.4 + 0.45 \frac{Z_o}{Y_c} \zeta^2 n_s \right] \left[ \frac{q \sigma_{ch}}{1.15 g^{0.5} D_p^{0.25}} \right] \quad (2.55)$$

el factor  $K_{sb}$  (Fig 2.18) toma en cuenta la disposición geométrica de la estructura terminal y adopta valores desde 0.4 hasta 1.0. El coeficiente de velocidad lo valora con la expresión de Skrebkova

$$\zeta = 1 - 0.0155 \frac{Z - d}{H_o} \quad (2.56)$$

El valor del coeficiente de aireación,  $n_s$  (Fig 2.19), se determina en función del número de Froude,  $F_r$ , y la dispersión del chorro,  $\sigma_{ch}$ , con la expresión

$$\sigma_{ch} = \frac{B}{B + L_v \text{ sen } \epsilon} \quad (2.57)$$

#### Grupo Cinco

Se toma en cuenta el parámetro tiempo, para estimar la profundidad máxima de socavación.

Doddiah *et al* [6] presenta la siguiente expresión

$$t_s = Y_b + \frac{2Y_b}{3} \left[ \frac{q}{Z_o \omega} \right]^{2/3} \left[ \frac{Z_o}{Y_b} \right]^2 \left[ \frac{q}{Z_o \omega} \right]^{1/6} \quad (2.58)$$

donde  $\omega$  es la velocidad de caída de la partícula D.

Mason y Kanapathypilly [12], partiendo del análisis de datos de laboratorio y campo obtenidos por diferentes investigadores, proponen la expresión

$$t_s = K_M \frac{q_M^a Z_o^b Y_b^c}{f_M^e D^M} \quad (2.59)$$

donde  $K_M = (6.42 - 3.10 Z_o^{0.10})$ ;  $f_M = 0.30$ ;  $e_M = 0.15$ ;  $a_M = (0.6 - \frac{Z_o}{300})$ ;

$b_M = (0.15 + \frac{Z_o}{200})$ ;  $c_M = 0.10$ ; considerando un diámetro equivalente  $D = 0.25$  m en prototipo.

Las profundidades de socavación máxima medidas en laboratorio y campo se compararon con las calculadas mediante la ec 2.79 (Fig 2.20). Al hacerlo se consideraron los valores de  $Z_o$  comprendidos entre 0.325 y 2.15 para modelo, y entre 15.82 y 109 m para prototipo; los de  $q$ , entre 0.15 y 0.426 m<sup>3</sup>/s para modelo, y entre 2.36 y 226 m<sup>3</sup>/s (gasto máximo) para prototipo; los de  $D$  entre 0.001 y 0.028 m para modelo y se consideró para prototipo un tamaño equivalente de 0.25 m cuando el material es rocoso (arenisca, pizarra, cuarcita, gneis y granito).

#### Ubicación del cono de socavación

Para calcular la erosión local en las zonas adyacentes a la estructura terminal, es importante conocer la ubicación del foso de socavación y su punto de máxima profundidad en relación con el final de la estructura (Fig 2.21). Al respecto, Eliasberk [7] presenta una expresión para ángulos de entrada del chorro ( $\theta_o$ ) mayores de 15°

$$L_c = V \cos \theta \left[ \frac{V \sin \theta + (V^2 \sin^2 \theta + 2 Z' g)^{0.5}}{g} + \frac{t_s}{(V^2 \sin^2 \theta + 2 Z' g)^{0.5}} \right] \quad (2.60)$$

el talud superior del foso hacia la estructura terminal, se determina de acuerdo con el tipo de material existente: para arenas y gravas, 2.5:1; para arcillas, 1.7:1; para roca agrietada, entre 1.5 y 1.25:1.

### 3. METODOLOGIA NUMERICA

#### 3.1 Introducción

El análisis de las diversas fórmulas para el cálculo de la socavación al pie de las cubetas de lanzamiento, se realiza a través de un problema de diseño, al tomar en cuenta las características que intervienen, como son las variables cinemáticas, la geometría de la estructura y el tipo de material al pie de la estructura.

##### A. Variables cinemáticas

El gasto unitario,  $q$

El tirante a la entrada de la cubeta de lanzamiento,  $d$

La aceleración de la gravedad,  $g$

La profundidad del remanso,  $Y_2$

##### B. Geometría de la estructura

La distancia entre el nivel de aguas máximas y el nivel del remanso al pie de la estructura,  $Z_0$

El ángulo de lanzamiento del chorro,  $\theta$

### C. Del tipo de material

La velocidad permisible del material del lecho. En el caso de suelos granulares sueltos, se considera que la velocidad permisible ( $V_p$ ) es igual a la velocidad de caída ( $\omega_0$ ) de la partícula característica ( $D_{90}$ ); para el caso de lechos rocosos la velocidad permisible es la definida por Mirtsjuslava.

La aireación del chorro se considera dependiente de algunas de las variables presentadas, razón por la cual no se enlista en las variables independientes.

El análisis inspeccional como un método complementario al dimensional, permitirá elegir los parámetros adimensionales del estudio experimental, al analizar las ecuaciones que lo rigen. Requiere entonces, como elementos indispensables y de partida, el conocer las ecuaciones descriptivas del fenómeno que se está estudiando.

De las ecuaciones presentadas en el subcapítulo 2.4, las diferentes variables que afectan la profundidad en el foso disipador, se pueden expresar como

$$f_1(\dots Z_0, Z', b_L, \kappa, \theta, R, \dots, q, d, V, L_v, a_0, \epsilon, \theta_0, V_0, g, b_0, Y_p, Y_2, t, \dots, \gamma, \mu, \dots, t_s, L_s, \omega, \sigma_\omega, \gamma_s, R_c, E, \gamma_v, \dots, c_f^c, c_s, \dots, R_f, R_c, a_r, b_r, c_r, \dots) = 0 \quad (3.1)$$

el significado de las variables, se indica en el índice de variables ó en la Fig 2.4.

De las primeras seis variables, que se refieren a la geometría de la estructura, la  $Z_0$ ,  $Z'$  y  $\theta$ , tienen mayor significancia en el estudio; de las siguientes trece variables, que se refieren al flujo,  $q$ ,  $V$ ,  $Y_p$ ,  $Y_2$ ,  $g$  y  $t$ , tienen mayor intervención significativa en el estudio y la  $d$ ,  $L_v$ ,  $a_0$ ,  $\epsilon$ ,  $\theta_0$ ,  $V_0$ ,  $b_0$  son una función de  $\theta$ ,  $Z'$ ,  $q$  y  $V$  pueden ser omitidas; los dos factores siguientes se refieren al líquido, de las cuales  $\mu$  puede ser omitida. Las otras tres grupos de ocho, dos y cinco variables, se refieren al material tratándose éste sí es no cohesivo o suelos rocosos fracturados respectivamente; para el caso particular de

no cohesivos, las variables que se consideran que tienen una intervención significativa en el estudio son  $Y_s$ ,  $L_s$ ,  $\omega$ ,  $\gamma_v$ . Al adimensionalizar la ec (3.1), se tiene

$$f_2 \left( \frac{Z'}{Z_o}, \theta, F_D, F_r, D_c, \frac{Y_p}{Z_o}, \frac{Y_2}{D}, \frac{\omega t}{V_2}, \frac{t_s}{Z_o}, \frac{L_s}{V_2}, \frac{\gamma_v}{\gamma} \right) = 0 \quad (3.2)$$

$F_D = q/[g(Z_o + Y_2)^3]^{1/2}$ , el cual Doddiah [1] lo identifica como un parámetro de descarga;  $F_r = q/g^{1/2} Y_2^{3/2}$  el número de Froude de abajo de la cubeta;  $D_c = q^2/g (Z_o + Y_2)^3$ , el número de caída;  $\omega t/V_2$  representa una función del tiempo. La relación  $\sigma_\omega/\omega$  puede considerarse igual a cero, si el sedimento es uniforme.

De la combinación de los parámetros adimensionales, se establece que

$$\frac{t_s}{Z_o} = f_3 \left( F_D, F_r, \frac{Y_2}{D}, \frac{Z'}{Z_o}, \frac{\omega t}{V_2}, \theta, \frac{\gamma_v}{\gamma} \right) \quad (3.3)$$

$$\frac{L_s}{Z_o}, \frac{Y_p}{Z_o} = f_4 \left( \frac{t_s}{Z_o}, D_c \right) \quad (3.4)$$

no obstante las hipótesis presentadas, en los análisis que se realicen se tomaran en cuenta los parámetros que se consideran más significativos.

Para suelos cohesivos y suelos rocosos fracturados, el análisis es similar al presentado para suelos no cohesivos, solo que se considera un parámetro adimensional que toma en cuenta la resistencia del suelo  $Rc/\gamma_v Y_2$ .

En los subcapítulos que preceden se presentan solo los programas de cálculo, así como la unificación de formulaciones para el cálculo de la socavación para suelos granulares y suelos rocosos fracturados; y finalmente se presenta una aplicación numérica, para el caso particular de la Presa Aguamilpa, Nay.

### 3.2 Programas de cálculo

En el presente subcapítulo, se presentan los programas de cálculo para estimar la dispersión del chorro y la socavación en el cauce.

## A. Dispersión del chorro

Entre los parámetros a determinar por la proyección del chorro lejos de la obra de control y/o de excedencias, por medio de una cubeta de lanzamiento, están

A.1 La longitud de lanzamiento del chorro, medida a partir de la estructura terminal, con las expresiones propuestas por diversos investigadores

Criterio	Tabla	Nombre del programa
USBR	3.1	Lanzamiento del chorro, USBR
Vizgo	3.2	Lanzamiento del chorro, Vizgo
Kiseliov	3.3	Lanzamiento del chorro, Kiseliov
Eliasberk	3.4	Lanzamiento del chorro, Eliasberk

A.2 El ancho máximo de lanzamiento del chorro, que se produce cuando este penetra en el remanso formado aguas abajo de la estructura terminal, con la expresión propuesta por

Criterio	Tabla	Nombre del programa
Vizgo	3.5	Ancho lanzamiento del chorro, Vizgo

A.3 El ángulo y velocidad de entrada del chorro en la superficie del remanso aguas abajo de la estructura terminal

Parámetro	Tabla	Nombre del programa
$\theta_0$	3.6	Angulo de entrada del chorro
$V_0$	3.7	Velocidades de entrada del chorro

## B. Socavación en el cauce

De acuerdo a la información disponible, para calcular la profundidad de socavación, se presentan algunos criterios propuestos por diferentes investigadores.

criterio	Tabla	Nombre del programa
Veronese (a)	3.8	Socavación, Veronese (a)
Veronese (b)	3.9	Socavación, Veronese (b)
Jaeger	3.10	Socavación, Jaeger
Martins	3.11	Socavación, Martins
Mirtsjulsava		
suelos granulares	3.12	Socavación, Mirtsjulsava (granulares)
rocosos fracturados	3.13	Socavación, Mirtsjulsava (rocosos)
Matsman	3.14	Socavación, Matsman
Vizgo	3.15	Socavación, Vizgo
Studenichnikov	3.16	Socavación, Studenichnikov
Doddiah	3.17	Socavación, Doddiah
Mason y Kanapathypilly	3.18	Socavación, Mason y Kanapathypilly

### 3.3 Unificación de formulaciones para el cálculo de la socavación al pie de la cubeta de lanzamiento

La información contenida en los subíndices 3.3.1 y 3.3.2, ha sido tomada de la ref [2], con algunas adiciones, encaminadas a definir la unificación de formulas

#### 3.3.1 Diseño de experimentos

Si el resultado de un experimento "Y" depende de los factores X<sub>1</sub> y X<sub>2</sub>, y se establece la relación lineal

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \epsilon \quad (3.5)$$

donde  $\epsilon$  es el error que se pueda cometer al valuar "Y" mediante esa relación.

De realizarse  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  ensayos y al emplear el método de errores mínimos cuadrados

$$\epsilon = Y - Y_1 \quad (3.6)$$

al sustituir en la ec 3.5 se tiene

$$\varepsilon = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 - Y_1$$

Haciendo la suma de los errores al cuadrado, desarrollando los términos y teniendo en cuenta que las constantes  $b_0$ ,  $b_1$  y  $b_2$  no se conocen, se calcula su derivada con respecto a cada una de ellas y se igualan a cero para minimizar el error, obteniéndose un sistema de ecuaciones. La solución del sistema dará como resultado los valores de las constantes  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ , que puede escribirse en forma matricial.

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n X_{1i} & \sum_{i=1}^n X_{2i} \\ \sum_{i=1}^n X_{1i} & \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 & \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} \\ \sum_{i=1}^n X_{2i} & \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} & \sum_{i=1}^n X_{2i}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n Y_i \\ \sum_{i=1}^n Y_i X_{1i} \\ \sum_{i=1}^n Y_i X_{2i} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Al aplicar el teorema estadístico que dice "la dispersión o variación de los resultados SST es igual a la suma de las variaciones de cada uno de los términos de bs que depende (SS  $b_0$ ), (SS  $b_1$ ), (SS  $b_2$ ) más la dispersión o variación de los errores SSF (ref 2)

$$\underbrace{\sum_{i=1}^n Y_i^2}_{SST} = b_0 \underbrace{\sum_{i=1}^n Y_i}_{SS(b_0)} + b_1 \underbrace{\sum_{i=1}^n X_{1i} Y_i}_{SS(b_1)} + b_2 \underbrace{\sum_{i=1}^n X_{2i} Y_i}_{SS(b_2)} + \underbrace{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i}_{SSE} \quad (3.8)$$

con lo que se puede concluir que si la variación de algunos términos es menor que la variación del error, significaría que ese o esos términos servirían de muy poco para explicar la variación de  $Y_i$  y por lo tanto no serían factores importantes en la ecuación lineal propuesta ec (3.5) y podrían eliminarse.

Suponiendo que la relación fuera lineal para determinar el número de cálculos necesarios, se propone escoger valores de  $X_1$  y  $X_2$  máximos y mínimos alternativamente, según se muestra en la Tabla 3.19. Además, es conveniente hacer un cierto número de k de cálculos complementarios,

con el fin de ver en que medida se cometería un error al obtener el resultado en el experimento, en este caso sería igual a tres. Así, en la tabla los primeros cuatro valores de Y muestran los resultados al valuar con las combinaciones de los valores máximos y mínimos que puedan tomar variables dependientes X1 y X2, y los últimos tres serían los valores que tomaría y haciendo los cálculos con los valores promedios de X1 y X2. De esta forma se obtiene el número total de cálculos mínimos a realizar.

Para saber si la relación lineal propuesta es la adecuada, se aplica el criterio de la prueba F de Fisher, de la manera siguiente

Con las condiciones expuestas en la Tabla 3.19, la media de los resultados complementarios sería

$$\bar{Y}_c = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i}{k} \quad (3.9)$$

y la variancia entre ellos estará dada por

$$S_{yc}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(Y_i - \bar{Y}_c)^2}{(k - 1)} \quad (3.10)$$

Los ensayos complementarios k serían del 5 al 7 de la Tabla 3.19.

De esta manera se puede suponer que SSE, ec (3.8), está formada por la suma de los errores que se podrían cometer en los ensayos complementarios, representados por  $\sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}_c)^2$  más un error que se atribuye a la falta de concordancia de los resultados con el modelo seleccionado, que en este caso es lineal; este error de concordancia se puede valuar a partir de la ec (3.8) mediante

$$SSL = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \underbrace{\left( b_0 \sum_{i=1}^k Y_i + b_1 \sum_{i=1}^k Y_i X_{1i} + b_2 \sum_{i=1}^k Y_i X_{2i} \right)}_{SSE} - \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}_c)^2 \quad (3.11)$$

Para evaluar  $\sum_{i=1}^n Y_i^2$  se emplean n datos, de tal forma que el número de grados de libertad asociado a esta suma será  $\nu_y = n$ ; además para valuar

cada una de las constantes de la correlación  $b_i$ , se utiliza una de las ecuaciones utilizadas para minimizar el error, de esta manera  $\nu_{b_0} = \nu_{b_1} = \nu_{b_2} = 1$  será el número de grados de libertad de cada uno de los términos encerrados en el paréntesis de la ec (3.11). Finalmente, como el número de grados de libertad asociado a SSL será  $\nu_L = n - (1 + 1 + 1) - (k - 1)$ .

De esta manera, un estimador de la variancia producida por la falta de concordancia será

$$S_{LF}^2 = \frac{SSL}{\nu_L} \quad (3.12)$$

y como el estimador de la variancia producida por el error al hacer las mediciones está dada por la ec (3.10), mediante la F de Fisher se puede comparar si la variancia debida a la falta de concordancia difiere significativamente de la variancia debida a los errores en la determinación del resultado  $Y_1$ , es decir

$$F_{calc} = \frac{S_{LF}^2}{S_{yc}^2} \quad (3.13)$$

Si  $F_{calc} > F_{0.05}$  con  $\nu_1 = \nu_L$  y  $\nu_2 = k - 1$  grados de libertad, donde  $F_{0.05}$  es la F de Fisher calculada en tablas, puede decirse que el modelo seleccionado no es el adecuado, si la desigualdad se invierte se dice que el modelo es el adecuado.

### 3.3.2 Correlación múltiple

Cuando se pretende de encontrar una ecuación que relacione todas las variables para poder predecir el resultado del experimento, existen varios tipos de correlación multiple, las más usuales son

a) Lineal

$$y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + \dots + a_n X_n$$

b) Polinomial

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_1^2 + a_3X_1^3 + \dots + a_n x_n^n$$

c) De potencias

$$Y = a_0 X_1^{a_1} X_2^{a_2} X_3^{a_3} \dots X_n^{a_n}$$

En la mayoría de los casos el experimentador busca una correlación que de alguna forma pueda ajustarse a una lineal; así, por ejemplo, si se tiene una correlación de potencias de la forma.

$$Y = a_0 X_1^{a_1} X_2^{a_2} X_3^{a_3} \dots X_n^{a_n} \quad (3.14)$$

Esta puede ajustarse a una lineal de la manera siguiente

Si se aplica logaritmos a ambos miembros de la ecuación queda

$$\log Y = \log a_0 + a_1 \log X_1 + a_2 \log X_2 + a_3 \log X_3 + \dots + a_n \log X_n$$

Haciendo los cambios de variables siguientes

$$Y' = \log Y, \quad a_0 = \log a_0, \quad X_1' = \log X_1, \quad X_2' = \log X_2, \quad X_3' = \log X_3, \\ X_n' = \log X_n$$

Con base en lo anterior la ec 3.14 se puede escribir de la forma siguiente

$$Y' = A_0 + a_1 X_1' + a_2 X_2' + a_3 X_3' + \dots + a_n X_n' \quad (3.14a)$$

Suponiendo que tenemos una correlación lineal o cualquier otra ajustada a una correlación lineal del tipo siguiente

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + \dots + a_n X_n + \epsilon \quad (3.15)$$

Donde  $\epsilon$  es el error que se puede cometer al valuar el experimento con la ec. 3.14a, además del posible error cometido al hacer las mediciones del experimento, por tanto la ec.3.15 se expresa

$$\epsilon = Y - ( a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + \dots + a_n X_n ) \quad (3.16)$$

Si aplicamos el método de mínimos cuadrados para hacer que la suma de los errores al cuadrado sea mínima se tiene

$$\sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n \left[ Y_i - [a_0 + a_1 X_{i1} + a_2 X_{i2} + a_3 X_{i3} + \dots + a_n X_{in}] \right]^2 \quad (3.17)$$

Donde "n" es el número total de experimentos realizados. Para hacer mínimo  $\sum \epsilon^2$  se deben calcular las derivadas parciales de  $\sum \epsilon^2$ , con respecto a cada incógnita, que en este caso son  $a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ , e igualarlas a cero.

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2}{\partial a_0} = 2 \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1 X_{i1} + a_2 X_{i2} + a_3 X_{i3} + \dots + a_n X_{in} - Y_i) = 0$$

$$N a_0 + a_1 \sum_{i=1}^n X_{i1} + a_2 \sum_{i=1}^n X_{i2} + a_3 \sum_{i=1}^n X_{i3} + \dots + a_n \sum_{i=1}^n X_{in} - \sum_{i=1}^n Y_i = 0 \quad (3.18a)$$

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2}{\partial a_1} = 2 \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1 X_{i1} + a_2 X_{i2} + a_3 X_{i3} + \dots + a_n X_{in} - Y_i) X_{i1} = 0$$

$$a_0 \sum_{i=1}^n X_{i1} + a_1 \sum_{i=1}^n X_{i1}^2 + a_2 \sum_{i=1}^n X_{i2} X_{i1} + a_3 \sum_{i=1}^n X_{i3} X_{i1} + \dots + a_n \sum_{i=1}^n X_{in} X_{i1} - \sum_{i=1}^n Y_i X_{i1} = 0$$

(3.18b)

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2}{\partial a_2} = 2 \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1 X_{i1} + a_2 X_{i2} + a_3 X_{i3} + \dots + a_n X_{in} - Y_i) X_{i2} = 0$$

$$a_0 \sum_{i=1}^n X_{i2} + a_1 \sum_{i=1}^n X_{i1} X_{i2} + a_2 \sum_{i=1}^n X_{i2}^2 + a_3 \sum_{i=1}^n X_{i3} X_{i2} + \dots + a_n \sum_{i=1}^n X_{in} X_{i2} - \sum_{i=1}^n Y_i X_{i2} = 0$$

(3.18c)

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2}{\partial a_3} = 2 \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1 X_{i1} + a_2 X_{i2} + a_3 X_{i3} + \dots + a_n X_{in} - Y_i) X_{i3} = 0$$

$$a_0 \sum_{i=1}^n X_{i3} + a_1 \sum_{i=1}^n X_{i1} X_{i3} + a_2 \sum_{i=1}^n X_{i2} X_{i3} + a_3 \sum_{i=1}^n X_{i3}^2 + \dots + a_n \sum_{i=1}^n X_{in} X_{i3} - \sum_{i=1}^n Y_i X_{i3} = 0$$

(3.18d)

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2}{\partial a_n} = 2 \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1 X_{i1} + a_2 X_{i2} + a_3 X_{i3} + \dots + a_n X_{in} - Y_i) X_{in} = 0$$

$$a_0 \sum_{i=1}^n X_{in} + a_1 \sum_{i=1}^n X_{i1} X_{in} + a_2 \sum_{i=1}^n X_{i2} X_{in} + a_3 \sum_{i=1}^n X_{i3} X_{in} + \dots + a_n \sum_{i=1}^n X_{in}^2 - \sum_{i=1}^n Y_i X_{in} = 0$$

(3.18e)

De las ecs 3.18, se forma un sistema de ecuaciones lineal de  $n+1$  ecuaciones y  $n+1$  incógnitas, siendo  $n$  el número de variables independientes que influyen en el resultado del experimento, siendo las incógnitas las constantes  $a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ . Para resolver el sistema se puede construir una matriz, como la expresada por la ec 3.19.

Como se mencionó antes, ésta solución es aplicable a cualquier tipo de correlación que se tenga, siempre y cuando pueda ajustarse o transformarse por medio de artificios matemáticos a una correlación del tipo lineal.

$$\begin{bmatrix} N & \sum_{i=1}^n X_{i1} & \sum_{i=1}^n X_{i2} & \dots & \sum_{i=1}^n X_{in} \\ \sum_{i=1}^n X_{i1} & \sum_{i=1}^n X_{i1}^2 & \sum_{i=1}^n X_{i1} X_{i2} & \dots & \sum_{i=1}^n X_{i1} X_{in} \\ \sum_{i=1}^n X_{i2} & \sum_{i=1}^n X_{i1} X_{i2} & \sum_{i=1}^n X_{i2}^2 & \dots & \sum_{i=1}^n X_{i2} X_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^n X_{in} & \sum_{i=1}^n X_{i1} X_{in} & \sum_{i=1}^n X_{i2} X_{in} & \dots & \sum_{i=1}^n X_{in}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n Y_i \\ \sum_{i=1}^n Y_i X_{i1} \\ \sum_{i=1}^n Y_i X_{i2} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n Y_i X_{in} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

## CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LA CORRELACION

Para valuar el grado de confiabilidad con el cual se puede aplicar la correlación obtenida, existen dos métodos.

El primero es un método gráfico el cual está basado en calcular el error típico de la estima o desviación estandar de los resultados obtenidos al aplicar la correlación [4]. Para esto es necesario dibujar la  $Y_{calc}$  (que es el valor obtenido de Y al aplicar la correlación) contra la  $Y_{medida}$  (que es el resultado real obtenido en el experimento), colocando en el eje de las abscisas el  $Y_{calc}$  y en el de las ordenadas el  $Y_{medida}$ . Posteriormente se traza una recta de  $45^\circ$  la cual representa los valores que deberían tomar los resultados si al valuar  $Y_{calc}$  fueron iguales a los obtenidos al realizar el experimento ( $Y_{calc} = Y_{med}$ ). La distancia vertical que existe entre los puntos y la recta es el error cometido (e) al valuar el experimento por medio de la correlación. De esta forma se puede valuar el error por medio de la ecuación siguiente

$$e = Y_{med} - Y_{calc} \quad (3.20)$$

Esta gráfica representa la dispersión de los resultados al valuar la correlación. Si se calcula la desviación estándar de los resultados por medio de la ecuación siguiente

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e^2}{n}} \quad (3.21)$$

donde  $\bar{e}$  es la media de los errores.

Se podría decir que la desviación estándar representaría el error típico cometido al estimar Y, por lo que se podría trazar dos rectas paralelas a la de  $45^\circ$  a una distancia S, medida verticalmente, por encima y por debajo de la misma. Estas rectas delimitarían una zona que representa que para cualquier punto que caiga dentro de la misma se

estaría cometiendo un error menor al típico. Con esto se trata de lograr que al valuar  $Y_{calc}$  pueda llegar a caer dentro del error típico o aceptable, o lo que es lo mismo, el grado de confiabilidad al valuar  $Y$  estaría dado por

$$\text{Confianza} = \frac{\# \text{ de resultados que caen dentro de la zona}}{\# \text{ total de resultados}} \quad (3.22)$$

El segundo método consiste en valuar la confiabilidad por medio de intervalos de confianza. Este método tiene dos variantes, la primera es suponer que la distribución de los errores se comporta como una distribución normal de probabilidad, siempre y cuando el tamaño de la muestra sea mayor de 30, por lo que el intervalo de confianza estaría dado por [3]

$$\Delta Y = \bar{e} \pm Z_c \sigma_e \quad (3.23)$$

donde  $\sigma_e$  es la desviación estandar de los errores. La segunda es similar a la primera pero en vez de suponer que la distribución de los errores siguen una distribución normal, éstos se comportarían como una distribución T de Student, esto se usa cuando  $n$  es menor de 30, valuando el intervalo de confianza como sigue

$$\Delta Y = \bar{e} \pm t_c \sigma_e \quad (3.24)$$

En donde los valores de  $Z_c$  y  $t_c$  dependen del nivel de confianza que se necesite según el criterio del estimador, y se pueden obtener de tablas de distribución normal y de distribución T de Student, respectivamente; para esta última también se necesitará definir los grados de libertad que es igual a  $\nu = n-1$ , en la Tabla 3.20 se pueden ver los valores que tomarían  $Z_c$  y  $t_c$  para diferentes niveles de confianza requeridos.

El error medio ( $e$ ) y la desviación estandar de los errores ( $\sigma_e$ ) se pueden valuar mediante las ecuaciones siguientes

$$\bar{e} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n} \quad (3.25)$$

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{e} - e_i)^2}{n-1}} \quad (3.26)$$

En ambos criterios el valor real de Y ( $Y_{real}$ ) estaría dentro del intervalo siguiente

$$Y_{calc} + \Delta Y < Y_{real} < Y_{calc} - \Delta Y$$

De esta forma se obtendría un rango de valores según el nivel de confianza requerido por el estimador, dentro del cual se encontraría el resultado real del experimento.

### 3.3.3 Generación de datos

Para llegar a una formulación que pueda dar como resultado la profundidad de la socavación aguas abajo de una estructura terminal, se hace necesario generar información de la profundidad de socavación, y con ello tener los datos suficientes para aplicar el método de correlación múltiple.

La generación de información, se realiza a través de un problema de diseño, utilizando por una parte, los criterios para obtener la profundidad de socavación,  $t_s$  (subcapítulo 2.4) y por otra parte, los parámetros adimensionales que se consideran más significativos (subcapítulos 3.1), ec (3.3); lo que permitirá relacionar  $Y_2/D - t_s/Z_o$ , a través de los parámetros adimensionales  $F_D$ ,  $F_r$  ó  $D_c$ , lo cual se expresa como

$$\left[ \frac{t_s}{Z_o} \right] = a_0 \left[ \frac{Y_2}{D} \right]^{a_1} \quad (3.27)$$

aplicando logaritmos en ambos miembros, esta se puede escribir de la forma siguiente

$$\log \left[ \frac{t_s}{Z_o} \right] = \log a_0 + a_1 \log \left[ \frac{Y_2}{D} \right] \quad (3.28)$$

haciendo cambio de variables

$$Y = \log \left[ \frac{t_s}{Z_o} \right], A_0 = \log a_0, X_1 = \log \left[ \frac{Y_2}{D} \right]$$

Se puede escribir la ec (3.28) de la forma siguiente

$$Y = A_0 + a_1 X_1 \quad (3.29)$$

siguiendo el procedimiento de diseño de experimentos visto en el subcapítulo 3.3.2, se tiene que la variable  $t_s/Z_o$ , depende de  $Y_2/D$  y de los parámetros  $F_D$ ,  $F_r$  ó  $D_c$ , que a su vez son función de  $q$ ,  $Z_o$  y  $Y_2$ .

Para realizar el experimento, es conveniente contrastar los valores de las variables en cada uno de los análisis, escogiendo los valores máximos y mínimos que podrían tomar las variables, y hacer análisis complementarios con valores medios con el fin de ver en que medida se cometería un error al realizar el análisis.

A. Para  $Y_2/D$

Para la relación profundidad remanso ( $Y_2$ ) a tamaño de las partículas ( $D$ ), se consideraron como valores extremos 1 y 100 (mínimo y máximo) y como valores intermedios 5, 10 y 50 (medios). Al tomar  $Y_2$  los valores de 2, 5 y 10 m, se obtienen los correspondientes a  $D$ .

Por ejemplo, para las relaciones  $Y_2/D$  consideradas y un valor de  $Y_2 = 5$  m, se obtienen tamaños de partículas de 5, 1, 0.5, 0.1 y 0.05 m.

B. Para  $Z_o$

Para la distancia entre el nivel de aguas máximas y el nivel del remanso al pie de la estructura, Fig 2.10, se consideraron valores de 20, 50, 100 y 150 m.

C. Para  $q$

Como descargas unitarias,  $q$ , se consideraron valores de 10, 50, 100 y  $200 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ .

Para correlacionar las relaciones adimensionales  $Y_2/D - t_g/Z_o$ , se consideraron los parámetros adimensionales

$$F_D = \frac{q}{[g(Z_o + Y_2)^3]^{1/2}} \quad \text{parámetro de descarga} \quad (3.30)$$

$$F_r = \frac{q}{g^{1/2} Y_2^{3/2}} \quad \text{número de Froude} \quad (3.31)$$

$$D_c = \frac{q^2}{g(Z_o + Y_2)^3} \quad \text{número de caída} \quad (3.32)$$

De los parámetros adimensionales anteriores  $D_c = F_D^2$ , motivo por el cual, se considerarán los parámetros  $F_r$  y  $D_c$ . Para  $F_r$ , número de Froude aguas abajo de la estructura terminal, se consideran valores de 0.1 y 1 y 10; y para  $D_c$ , número de caída, valores de 0.001, 0.01 y 0.1.

La secuencia de cálculo, por ejemplo, al utilizar el parámetro de descarga  $F_r$ , propuesto por Froude, y el criterio de Mirtsjulsava, sería la siguiente:

- a. Se fija una relación de  $Y_2/D = 5$
- b. Para un valor de  $Y_2 = 5$  al tomar en cuenta  $Y_2/D$ , se tiene un tamaño de material de  $D = 1.0$  m.
- c. Al fijar un valor de  $Z_o = 20$  m y un parámetro de descarga,  $F_r = 0.1$ ; se obtiene un gasto unitario de  $3.50 \text{ m}^3/\text{s/m}$ .
- d. Con los valores de  $Y_2$ ,  $D$ ,  $Z_o$  y  $q$ , obtenidos en los incisos anteriores, se determina la profundidad de socavación  $t_g$ , medida a partir del remanso aguas abajo de la estructura terminal, con los criterios presentados en el cap 2.

Por ejemplo, al utilizar el criterio de Mirtsjulsava para suelos granulares, se obtiene  $t_g = 3.29$  m.

- e. Obtener la relación  $t_g/Z_o = 3.29/20 = 0.16$

Los cálculos para correlacionar  $Y_2/D - t_s/Z_o$ , para el caso particular de  $F_r = 0.1$ , utilizando el criterio de Miritsjuslava (suelos granulares) para calcular  $t_s$ , se presentan en la Tabla 3.21a.

Para predecir el resultado del análisis se construye la matriz expresada por la ec (3.19).

$$\begin{bmatrix} 44 & 48.28 \\ 48.28 & 70.07 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_0 \\ a_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -46.77 \\ -43.90 \end{bmatrix}$$

los términos de la matriz, se tomaron de la Tabla 3.21a, columnas (1), (9) (10), (11) y (12).

Al resolver la matriz se obtienen los valores de  $a_0 = \text{ant log } A_0$  y  $a_1$ , de la correlación

$$\frac{t_s}{Z_o} = a_0 \left[ \frac{Y_2}{D} \right]^{a_1} = 0.02889 \left[ \frac{Y_2}{D} \right]^{0.43046} \quad (3.33)$$

Para valuar el grado de confiabilidad con la cual se puede aplicar la correlación obtenida, se aplicaron los métodos indicados en el inciso 3.3.2.

#### PRIMER METODO

a. El error cometido, e, con la ec (3.19)

$$c = \left[ \frac{t_s}{Z_o} \right]_{\text{teórico}} - \left[ \frac{t_s}{Z_o} \right]_{\text{calculado}}$$

en la Tabla 3.21b, columna (14), se indica el error cometido para cada uno de los datos.

b. La dispersión de los resultados

La desviación estandar S, dada por la ec (3.21), representará el error típico cometido al estimar  $t_s/Z_o$  calculado, por lo que se podrían trazar dos rectas a  $45^\circ$  a una distancia  $S = 0.130$ , ver Fig 3.1. Con la ayuda de la Tabla 3.21a, columnas (14) y (1), se estima el valor de S.

c. El porcentaje de confiabilidad

De la ec (3.22), el grado de confiabilidad al valuar  $\left[ t_s / Z_o \right]$  calculado es del 84.1%.

SEGUNDO METODO

Como el tamaño de la muestra es mayor de 30, se acepta que la distribución de los errores se comporta como una distribución normal de probabilidades

a. El error medio cometido,  $\bar{e}$ ,

De la ec (3.25) y Tabla 3.21a, columnas (14) y (1), se tiene que

$$\bar{e} = \frac{\sum_{i=1}^n e}{n} = \frac{2.46}{44} = 0.06$$

b. La desviación estandard de los errores;  $\sigma_e$

De la ec (3.26) y Tabla 3.21a, columnas (16) y (1), se tiene que

$$\sigma_e = \left[ \frac{1.68}{44-1} \right]^{0.5} = 0.20$$

c. El intervalo de confianza

De la ec (3.23), al tomar en cuenta  $\bar{e}$ ,  $\sigma_e$  y la variable  $Z_c$  estandarizada de la distribución normal, para un nivel de confianza del 95%.

$$\Delta y = 0.060 \pm 1.96 (0.20) = 0.452$$

y para un nivel de confianza del 99%,  $\Delta y = 0.576$

d. El porcentaje de confiabilidad

De la ec (3.22), el grado de confiabilidad al valuar  $\left[ t_s / Z_o \right]$  calculado es del 84.1% para un nivel de confianza del 95%.

Cuando el tamaño de la muestra fuere menor de 30, la distribución de

los errores se comportarían como una distribución T de student, valuando el intervalo de confianza con la ec (3.24).

La relación  $Y_2/D - t_g/Z_o$ , obtenida a través del parámetro de descarga  $F_r$ , con el criterio de Mirtsjuslava (suelos granulares), se muestra en la Fig 3.2 y a través del parámetro  $D_c$ , en la Fig 3.3.

### 3.3.4 Análisis de resultados

Con el fin de encontrar una formulación con la cual se pueda calcular la profundidad de socavación al pie de las cubetas de lanzamiento, se hace previamente el análisis de los resultados obtenidos con cada uno de los criterios utilizados, Figs 3.2 a 3.15 y posteriormente presentar una sola formulación. Las simplificaciones de cálculo de cada uno de los criterios, se resumen en la Tabla 3.22.

El valor de  $t_g/Z_o$ , se incrementa conforme  $Y_2/D$  aumenta, cuando se utiliza el número de caída,  $D_c = q^2/g(Z_o + Y_2)^3$ , y el número de Froude,  $F_r = q/g^{1/2} Y_2^{3/2}$ .

Con los parámetros obtenidos a partir de los 7 criterios desarrollados, Tabla 3.23, se correlacionaron los parámetros  $F_r - a_0$ ,  $F_r - a_1$ ;  $D_c - a_0$  y  $D_c - a_1$ , para los valores de  $F_r = 0.10, 1.0, 10.0$  y  $D_c = 0.001, 0.01$  y  $0.10$ ; lo cual se expresa como

$$a_1 = w_0 P^{w_1} \quad (3.34)$$

siendo  $a_1$  = coeficiente  $a_0$  ó exponente  $a_1$  y P el parámetro adimensional  $F_r$  ó  $D_c$ .

Aplicando logaritmos en ambos miembros, ésta se puede escribir de la forma siguiente

$$\log (a_1) = \log (w_0) + w_1 \log (P) \quad (3.35)$$

haciendo cambio de variables

$$Y = \log (a_1), W_0 = \log (w_0), X_1 = \log (P)$$

se puede escribir la ec (3.24) de la forma siguiente

$$Y = W_0 + w_1 X_1 \quad (3.36)$$

y así obtener el error medio con la ec (3.25) y la desviación estandar de los errores con la ec. (3.26); ver **Tablas 3.24 a 3.27.**

Para valuar la confiabilidad por medio de intervalos de confianza, en este caso se supuso que la distribución de los errores se comporta como una distribución normal de probabilidad, por lo que el intervalo de confianza estaría dado por:

$$a_0 = \bar{e} \pm Z_c \sigma_e, \quad a_1 = \bar{e} \pm Z_c \sigma_e \quad (3.37)$$

Posteriormente se obtuvo el valor máximo y mínimo:

$$a_0 = \bar{e} + a_0^+ \quad a_0 = \bar{e} - a_0^- \quad (3.38)$$

$$a_1 = \bar{e} + a_1^+ \quad a_1 = \bar{e} - a_1^-$$

En la **Tabla 3.28**, se muestra la dispersión de los resultados al correlacionar  $F_r$  y  $D_c$  con  $a_0$  y  $a_1$ .

Finalmente, en las **Figs 3.16 a 3.19** se presenta la correlación de  $a_0$  y  $a_1$  para  $F_r$  y  $D_c$ , así como la dispersión para diferentes intervalos de confianza.

Con la metodología numérica desarrollada es posible obtener

$$\left[ \frac{t_s}{Z_c} \right] = a_0 \left[ \frac{Y_2}{D} \right]^{a_1}$$

a través de los parámetros adimensionales del número de Froude ( $F_r$ ) y el número de caída ( $D_c$ ). Los valores del coeficiente ( $a_0$ ) y el exponente ( $a_1$ ), que se obtienen de la **Tabla 3.29**, en función del intervalo de confianza, ellos presentan una dispersión de valores muy amplia, que imposibilitan su aplicación.

### 3.4 Aplicación práctica

#### 3.4.1 Descripción del proyecto de la Presa Aguamilpa, Nay.

El proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa, que se ubica en la parte central

del Edo. de Nayarit, al NE de la ciudad de Tepic, tiene como finalidad principal la generación de energía eléctrica, en operación conjunta con las otras plantas previstas a lo largo del río.

El embalse de Aguamilpa reduce el riesgo de inundaciones en la planicie costera, permitiendo la incorporación de 75 000 nuevas hectáreas y garantizar dos ciclos al año mediante riego.

La obra de excedencias ubicada en la margen izquierda (Figs 3.20 y 3.21) esta constituida por una estructura de control, formada por 6 compuertas radiales de 12 x 18.50 m y 24 m de radio; descarga por medio de un canal a cielo abierto, con un muro divisorio de 3.80 m que divide a los dos canales de descarga de 45.5 m de ancho, la pendiente longitudinal de los mismos cambia de 0.10 a 0.392 y posteriormente a 0.436. La estructura terminal, es una cubeta de lanzamiento de 30 m de radio y tiene un ángulo de lanzamiento del chorro de 15°.

La obra de excedencia está desplantada en la unidad Aguamilpa ( $T_{ua}$ ) y en la unidad Colorín ( $T_{uc}$ ), Fig 3.22; la unidad Aguamilpa, está formada por una tobalítica riocácitica de coloración rojiza, masiva y compacta, construida principalmente por líticos de composición andesítica; la unidad colorín es una roca volcánica, pseudo estratificada, los 15 m superficiales son de mala calidad.

Los principales datos del proyecto se indican a continuación

Elevación de la corona	325	m. s. n. m.
Elevación del NAME	232	m. s. n. m.
Elevación de la cresta vertedora	210	m. s. n. m.
Elevación del labio de la cubeta	99	m. s. n. m.
Elevación de la plantilla del canal de salida	94	m. s. n. m.
Longitud de la cresta vertedora	72	m.
Gasto de diseño del vertedor	15,000	m <sup>3</sup> /s
Radio de curvatura de la cubeta deflectora	30	m
Angulo de lanzamiento de la cubeta	15	grados

### 3.4.2 Características hidráulicas

Entre las características hidráulicas, que se pretenden conocer, para los gastos de operación de 500, 3000, 6500 y 15,000 m<sup>3</sup>/s con que operaría la obra de excedencia de la Presa Aguamilpa, Nay., están: el obtener el funcionamiento hidráulico de la estructura, como son el tirante y la velocidad del flujo; la dispersión del chorro, es decir, la longitud de lanzamiento, el ancho máximo del chorro, el ángulo de entrada y velocidad del chorro en la superficie del agua; y finalmente la socavación que el flujo produce en el cauce.

#### a. Funcionamiento hidráulico de la estructura

En la Tablas 3.30 a 3.33 se presentan los resultados del funcionamiento hidráulico de la estructura, para diversos gastos de operación; para las condiciones de operación siguientes:

Q (m <sup>3</sup> /s)	CANAL	DESCARGA	ABERTURA DE COMP. (m)	ELEV. DEL EMBALSE (m)	d (m)
500	*	□	1.00	228	0.68(+)
3000	*	□	9.00	228	4.75(+)
6500	**	□	8.26	229	6.46(+)
15000	**	■	abiertas	232	15.30(-)

- \* Por el canal de servicio (45.50m)
- \*\* Por el de servicio y el de emergencia a (94.30 m)
- Con descarga controlada
- Con descarga libre
- + Tirante en la est 0 + 031
- Tirante en la est 0 + 000

En el extremo de la estructura terminal, cubeta deflectora, los valores de tirantes y velocidades, son las siguientes:

Q (m <sup>3</sup> /s)	d (m)	v (m/s)
500	0.68	16.24
3000	1.77	37.17
6500	3.54	40.35
15000	4.33	38.09

b. **Dispersión del chorro**

La obtención de las características geométricas de la dispersión del chorro se presenta para el gasto de  $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ ; mientras que para los otros gastos, como son para  $500$ ,  $6500$  y  $15000 \text{ m}^3/\text{s}$ , se presentan solo los resultados.

Para el significado de las variables consultar el índice de variables del cap dos.

b.1 **Longitud de lanzamiento**

a. **Criterio del USBR**

Se considera que al final de la estructura terminal el ángulo de lanzamiento del flujo  $\theta = 15^\circ$ , el tirante  $d = 1.77 \text{ m}$  y la carga de velocidad  $h_v = 13.44$ ; así como que el factor de reducción, por resistencia del aire, turbulencias internas y desintegración del chorro,  $K_1 = 0.80$ ; con ayuda de la ec (2.5), se obtiene la trayectoria del chorro tomando el labio de la cubeta como origen de las coordenadas (Fig 3.23), y se concluye que el chorro incidirá a una distancia de  $81.5 \text{ m}$ , desde su salida de la obra de excedencia hasta su incidencia en la plantilla del canal de descargas, elev  $94.00$ ; al tomar en cuenta el factor de reducción  $K_1 = 0.8$ , la longitud de lanzamiento se reduce a  $65.2 \text{ m}$ .

b. **Criterio de Vizgo**

Se considera la diferencia de niveles  $Z_o$ , entre el de aguas máximas (NAME, elev  $228.00$ ) y el de un tirante estimado (elev  $95.77$ ), dado que el chorro incide en el canal de descarga, así mediante la ec (2.17), se obtiene que la longitud de lanzamiento del chorro es  $168.27 \text{ m}$ . De incidir el chorro en el remanso del cauce (elev  $74.10$ ), Fig 3.24, la longitud de lanzamiento es  $188.10 \text{ m}$ .

c. **Criterio de Kiseliov**

Se toma en cuenta la diferencia de niveles  $Z_o$ , entre el de aguas máximas (NAME, elev  $228$ ) y la elevación del cauce (elev  $64$ ); la diferencia entre el NAME (elev  $228$ ) y la elevación del labio de la cubeta (elev  $299$ ); los valores  $\theta$  y  $d$  anotados en el primer inciso; así

como el coeficiente de velocidad  $\psi_1 = 0.85$ , que considera las pérdidas de energía desde la cresta vertedora hasta la cubeta deflectora. Así mediante la ec (2.18), se obtiene que la longitud de lanzamiento del chorro es de 150.71 m.

d. Criterio de Eliasberk

Se toman en cuenta la diferencia de niveles  $Z'$  entre el labio (elev 99) y el remanso para el gasto de diseño (elev 74.10), así como los valores la velocidad del flujo al final de la estructura terminal  $V$ , la gravedad  $g$  y el valor de  $\theta$ . Utilizando la ec (2.19), resulta que cuando el chorro incide en el remanso ha recorrido una distancia de 123.43 m, desde su formación como tal.

En la Tabla siguiente se comparan los resultados obtenidos con los cuatro criterios presentados, con los medidos en el modelo hidráulico.

Q m <sup>3</sup> /s	LONGITUD DE VUELO (m)					
	USBR(1)	USBR(2)	Vizgo	Kiseliov	Eliasberk	Mod Hid
500	18.4	36.8	92.9	147.7	40.6	25.5
3000	64.0	94.4	188.1	150.7	123.4	141.7
6500	72.8	98.4	192.9	151.7	130.1	135.4
15000	69.6	86.4	185.6	155.0	109.1	142.5

(1) Condición inicial; (2) Condición final

b.2 Ancho máximo del chorro

El ángulo de divergencia del chorro,  $\epsilon$ , se valora con el criterio de Rhone y Peterka, en función del número de Froude  $F_r = 8.92$ , y el ángulo de lanzamiento,  $\theta = 15^\circ$ ; obteniendo de la Fig 2.11, un valor de  $\epsilon = 48^\circ$ . De esta manera, según el criterio de Vizgo, el ancho máximo de vuelo es 77.05 m si se considera que  $L_v = 188.1$  m, como se obtuvo anteriormente, y el ancho del labio de la cubeta es 45.50 para 3000 m<sup>3</sup>/s. Para los otros gastos de 500, 6,500 y 15,000 m<sup>3</sup>/s el ancho máximo del chorro es de 59.6, 125.1 y 122.7 m, respectivamente.

b.3 Angulo y velocidad de entrada del chorro en la superficie del agua

De acuerdo con la ec (2.22), que calcula el ángulo de entrada en función de  $\theta$ ,  $g$ ,  $Z'$  y  $V$  anotados anteriormente, se obtiene un valor de  $\theta_0 = 19.18^\circ$  para la parte inferior del chorro.

Con la ec (2.23), que determina la velocidad teórica de entrada del chorro en la superficie del remanso, esta tiene un valor de 38.01 m/s, para la parte inferior del chorro.

De esta forma, para los otros gastos de operación, se tiene que

$Q$ ( $m^3/s$ )	$\theta_0$ ( $^\circ$ )	$V_0$ (m/s)
500	30.11	19.62
3 000	19.18	38.01
6 500	15.57	40.46
15 000	14.51	38.00

#### b.4 Socavación que el flujo produce en el cauce

Para predecir la erosión que produce el chorro al penetrar en el remanso del cauce, se aplican los criterios expuestos en el subcapítulo 2.4 para la condición de suelos rocosos fracturados.

#### CRITERIO DE VERONESE (a y b)

Al expresar la profundidad máxima de socavación,  $t_s$ , en función de la caída  $Z_0$  (diferencia entre el NAME y el nivel de la superficie del remanso) igual a 132.20 m, un gasto unitario descargado por la obra de excedencias, canal de servicio, de 65.9  $m^3/s/m$ , un tamaño de roca de 0.30 m, resulta que la profundidad del cono de socavación, dada por la ec 2.24 y tabla 2.1, es de  $t_s = 9.65$  m; si no se toma en cuenta el tamaño del material  $t_s = 54.74$  m.

#### CRITERIO JAEGER

Al tomar en cuenta la profundidad del remanso  $Y_2 = 1.77$  m, así como los valores de  $q$ ,  $Z_0$  y  $D$  anotados con el primer criterio, mediante la ec (2.46) se obtiene que la profundidad de socavación es  $t_s = 29.67$  m

## CRITERIO DE MARTINS

Al tomar en cuenta la profundidad del remanso  $Y_2$ , el gasto unitario de descarga  $q$ , la caída  $Z_0$  y el tamaño del material  $D$ , anotados con anterioridad; mediante la ec (2.26), se obtiene que la profundidad de socavación es  $t_g = 26.70$ .

## CRITERIO DE MIRTSJUSLAVA (Suelos granulares)

Para estimar la profundidad de la socavación, se obtiene previamente la velocidad de caída de las partículas con la ec (2.31), el valor del espesor del chorro en el punto de incidencia sobre el nivel del agua con la ec (2.30), y finalmente el valor de la profundidad,  $t_g$ , con la ec (2.29)

### a) Velocidad de caída de las partículas, $\omega$

Al considerar un peso específico de las partículas y del agua  $\gamma_g = 2250$   $\text{kg/m}^3$  y  $\gamma = 1000$   $\text{kg/m}^3$ , respectivamente; el tamaño de la roca es de  $D_p = 0.30$  m. De acuerdo con los datos anteriores la velocidad de caída de las partículas, dada por la ec (2.31), es 2.05 m/s.

### b) Espesor del chorro, $b_0$

Para el gasto de 3000  $\text{m}^3/\text{s}$ ,  $q = 65.93$   $\text{m}^3/\text{s/m}$  y la velocidad de entrada del chorro en las superficie del agua  $V_0 = 38.01$ , m/s obtenida con anterioridad el espesor del chorro, dado por la ec (2.30), es 1.4 m.

### c) Profundidad de socavación, $t_s$

Tomando los valores consignados en el inciso anterior, así como la variación del chorro sumergido  $\mu = 2$ , y el ángulo de entrada del chorro en la superficie del agua  $\theta_0 = 18.01^\circ$ , así como la profundidad del remanso  $Y_2 = 1.77$  m. La profundidad de socavación, obtenida con la ec (2.29), es 76.43 m, medida a partir del remanso aguas abajo de la estructura terminal.

La profundidad  $Y_2$  se consideró igual al tirante del flujo a la salida de la cubeta deflectora  $d = 1.77$  m (elev 95.77); al incidir el flujo en el canal de descarga y no en el cauce para 3000  $\text{m}^3/\text{s}$ , se tiene una elev 19.34.

#### CRITERIO DE MIRTSJUSLAVA (Suelos rocosos fracturados)

Para estimar la profundidad de la socavación, primeramente se obtiene la velocidad crítica de arrastre con la ec (2.39), y posteriormente, el valor de la profundidad,  $t_c$ , con la ec (2.38).

##### a) Velocidad crítica de arrastre

Considerando la variación de la velocidad para condiciones naturales  $n' = 4.0$ , y la influencia del sedimento en suspensión,  $m' = 1$ , es decir, sin transporte de sedimento; se determinó que el peso específico del agua con aire es  $\gamma_o = \gamma \text{ aire}$ , igual a  $788 \text{ Kg/m}^3$ , para  $\gamma = 1000 \text{ Kg/m}^3$  y  $\% \text{ aire} = 0.78$ , obtenido de la Fig 2.13, para una velocidad de entrada del chorro en la superficie del agua de  $38.01 \text{ m/s}$ . El ángulo de entrada del chorro  $\theta_o = 18.01^\circ$ ; el tamaño de la roca,  $b_r = c_r = 0.30 \text{ m}$ ; la resistencia al desprendimiento de los bloques fracturados  $R_f = 0.002 R_c$  y  $R_c = 1500 \text{ kgf/m}^3$  y un peso específico de la roca de  $2250 \text{ kgf/m}^3$ . De acuerdo con los datos anteriores la velocidad crítica de arrastre, dada por la ec (2.39), es  $2.72 \text{ m/s}$ .

##### b. Profundidad de socavación

Tomando los valores consignados en el inciso anterior, así como el espesor del chorro en el punto de incidencia en el remanso, proporcionado por la ec (2.30),  $b_o = 1.40 \text{ m}$  y el tirante del flujo aguas abajo de la estructura terminal  $Y_2 = 1.77 \text{ m}$ . La profundidad de socavación obtenida con la ec (2.39), es  $56.57 \text{ m}$ , medida a partir del remanso aguas abajo de la estructura terminal.

#### CRITERIO DE MATSMAN

La secuencia de cálculo, para estimar la profundidad de socavación es la siguiente:

##### a. Colchón de agua característica

Considerando la velocidad crítica de arrastre obtenida con el criterio de Mirtsjuslava,  $V_c = 2.72 \text{ m/s}$ , un coeficiente que disminuya la velocidad crítica permisible del suelo igual a  $0.75$  y un gasto unitario

descargado por la obra de excedencias de  $65.93 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ , resulta que el colchón de agua característico dado por la ec (2.40), es  $h_d = 32.31$ .

b. Valor de  $Z_M$

Se determinan la distancia vertical desde el labio de la cubeta hasta el remanso que se produce en el cauce (Fig 2.10), es decir  $Z'$ , cuyo valor es 5.0 m; las características hidráulicas en el labio de la cubeta de lanzamiento, que son tirante  $d = 1.77 \text{ m}$  y velocidad  $V = 37.17 \text{ m/s}$ ; así como el tirante del flujo en el remanso  $Y_2 = d = 1.77 \text{ m}$ . Mediante la ec (2.46) se obtiene un valor de  $Z_M = 73.64 \text{ m}$ .

c. Valor de  $N$

Se determina el tirante crítico, con la ec (2.44), y su valor es  $Y_c = 7.62 \text{ m}$ ; con este y el valor de  $Z_M$ , determinado en el inciso anterior, resulta  $N = 19.32$ , mediante la ec (2.47).

d. Profundidad de erosión

Conocida  $N$ , el valor de  $T_M$  se obtiene de la curva adimensional de Matsman (fig 2.15), donde  $T_M = 2.8$ . Al sustituir los valores de  $h_d$ ,  $Y_c$  y  $T_M$  en la ec (2.47), la profundidad de socavación,  $t_\epsilon$ , resulta ser 53.64 m, medida a partir del nivel del remanso.

### CRITERIO DE VIZGO

La secuencia de cálculo, para obtener la profundidad de socavación, sería la siguiente:

a. obtención del factor  $A_v$

El factor que toma en cuenta la aireación del chorro, se calcula con la Fig 2.17, o con las ecs (2.53 ó 2.54), de las cuales Vizgo recomienda usar la última. Así, conocidas  $V_o = 38.01 \text{ m/s}$ ; el gasto unitario  $q = 65.93 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ; y la gravedad  $g = 9.81 \text{ m/s}$ , se obtiene  $A_v = 0.628$ .

b. Obtención del coeficiente  $K_v$

Utilizando la tabla 2.3, puesto que  $\theta_o = 18.01^\circ$ , el coeficiente para suelo común, es 2.10 m.

c. Profundidad de socavación

Mediante la ec (2.52), una vez conocidos los valores de  $A_v$  y  $K_v$ , el gasto unitario  $q$ , así como la distancia entre el nivel de aguas máximas y el nivel del remanso, al pie de la estructura  $Z_o = 132.23$ , se obtiene  $t_g = 32.8$  m.

CRITERIO STUDENICHNIKOV

Para estimar la profundidad de la socavación, se calcula:

a. El factor  $K_{sb}$

El factor  $K_{sb}$ , que toma en cuenta la disposición geométrica de la estructura terminal (fig 2.18), es 0.56, que corresponde a una estructura terminal tridimensional.

b. Coeficiente  $n_g$

El valor del coeficiente de aireación  $n_g$ , se determina con la Fig 2.19, que toma en cuenta el número de Froude. Para un número de Froude de 8.92 en la descarga de la cubeta deflectora, se obtiene  $n_g = 1.0$ , es decir, no se produce aireación.

c. Dispersión del chorro,  $\sigma_{ch}$

Mediante la ec (2.57), una vez conocidos el ancho de la estructura terminal,  $B = 45.50$  m, la longitud de lanzamiento del chorro libre  $L_v = 64$  m, y el ángulo de divergencia del chorro,  $\epsilon = 5^\circ$ , se obtiene  $\sigma_{ch} = 0.91$ .

d. Coeficiente de velocidad

De la ec (2.56), conocidas la carga hidráulica total al final de la estructura terminal,  $Z = 129$  m, el tirante  $d = 1.77$  m, y la carga hidráulica sobre el cimacio  $H_o = 18$  m, se obtiene  $\zeta = 0.89$ .

e. Profundidad de socavación

Conocidos los valores de  $K_{ab}$ ,  $n$ ,  $\xi$ ,  $r_{ch}$ ,  $Y_c = 7.62$  m,  $Z_o = 132.23$  m,  $q = 65.93$  m<sup>3</sup>/s/m,  $g = 9.81$  m/s<sup>2</sup> y  $D_p = 0.30$  m, con la ec (2.55) se obtiene  $t_a = 118.28$  m.

#### CRITERIO DE DODDIAH

La secuencia de cálculo, para estimar la profundidad de socavación, sería la siguiente.

##### a. Velocidad de caída

Mediante la ec (2.52), una vez conocidos el peso específico de las partículas  $\gamma_s = 2250$  kgf/m<sup>3</sup>; el peso específico del agua con aireación, ec (2.53), que toma en cuenta el peso específico del agua  $\gamma = 1000$  kgf/m<sup>3</sup> y el porcentaje del aire que el chorro introduce, Fig 2.13; y el diámetro de las partículas  $D_p = 0.30$  m, se obtiene  $\omega = 2.05$  m/s.

##### b. Profundidad de socavación

Conocidos los valores de  $\omega$ ,  $q = 65.93$  m<sup>3</sup>/s/m,  $Z_o = 132.23$  m,  $Y_2 = 1.77$  m, con la ec (2.58) se obtiene  $t_a = 10.12$  m.

#### CRITERIO DE MASON Y KANAPATHYPILLY

Para estimar la profundidad de la socavación, primeramente se obtienen los exponentes de la ec (2.59), posteriormente, el valor de la profundidad,  $t_a$ .

##### a. Exponentes $a_H$ , $b_H$ , $c_H$ , $e_H$ , $f_H$ y $K_H$

Para un valor de  $Z_o = 132.23$  m, los exponentes  $a_H$ ,  $b_H$  y  $K_H$  tienen un valor de 0.16, 0.81 y 1.37, respectivamente. Los exponentes  $c_H$ ,  $e_H$  y  $f_H$  tienen valores constantes iguales a 0.10, 0.15 y 0.30, respectivamente.

##### b. Profundidad de socavación

Tomando los valores consignados en el inciso anterior, así como  $q = 65.93$  m<sup>3</sup>/s/m,  $Y_2 = 1.77$  m,  $g = 9.81$  m/s<sup>2</sup>, y  $D = 0.30$  m. La profundidad de socavación, obtenida con la ec (2.59), es de 86.73 m, medida a

partir del remanso aguas abajo de la estructura terminal.

En la Tabla 3.34, se resumen los resultados obtenidos para estimar la socavación aguas abajo de la cubeta deflectora, para gastos de operación de 500, 3 000, 6 500 y 15 000 m<sup>3</sup>/s.

#### 4. CONCLUSIONES, APORTACIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

##### 4.1 Conclusiones y aportaciones

Tal como se indicó el subinciso 1.3, los objetivos generales, que se pretenden alcanzar son:

- A. El presentar formulaciones numéricas para el estudio de la socavación en el foso disipador de energía hidráulica, al pie de las cubetas deflectoras.
- B. Diseñar, poner a punto y formular una metodología experimental para el estudio del campo de presiones en el foso disipador de la energía hidráulica.

Con el presente trabajo, se abordó el primer punto, el segundo será tema de otro estudio.

Las principales aportaciones y conclusiones de este trabajo son

- a. Se ha realizado una revisión del estado actual del conocimiento del vertido libre presentando las formulaciones principales de las expresiones más conocidas, que determinan las socavaciones máximas.

- b. Se presentan los programas de cálculo en BASIC, para determinar la profundidad de socavación en el foso disipador, aguas abajo de la cubeta deflectora.
- c. Se ha desarrollado una metodología numérica, con el objeto de tratar la información teórica y caracterizar la profundidad de socavación en el foso disipador, a través de un problema de diseño, utilizando por una parte, los criterios para obtener la profundidad de socavación,  $t_s$ , y por otra parte, los parámetros adimensionales que se consideran más significativos; lo que permitirá relacionar la profundidad de la socavación ( $Y_2$ ) y el diámetro de las partículas ( $D$ ) contra la profundidad de socavación ( $t_s$ ) y la distancia entre el nivel de aguas máximas y el nivel del remanso al pie de la cubeta deflectora de la obra de excedencias ( $Z_o$ ), es decir

$$\left[ \frac{t_s}{Z_o} \right] = a_o \left[ \frac{Y_2}{D} \right]^{a_1}$$

a través de los parámetros adimensionales, del número de Froude ( $F_r$ ) y del número de caída ( $D_c$ ). Los valores del coeficiente ( $a_o$ ) y el exponente ( $a_1$ ) presentan una dispersión muy amplia, que imposibilita su aplicación.

- d. Finalmente, como aplicación a un problema real, se usaron las formulaciones numéricas propuestas para el estudio de la socavación máxima al pie de la cubeta deflectora del Proyecto Hidroeléctrico de Aguamilpa, Nay.

#### 4.2 Posibles desarrollos

La metodología numérica propuesta en este trabajo, al ser de carácter general, constituyen una herramienta de utilidad para el análisis de la profundidad de socavación en el foso disipador. En este sentido y teniendo en cuenta el estado actual del conocimiento, creemos de interés el ampliar el estudio con otros criterios para determinar la socavación, a efecto de proponer una unificación de las principales formulaciones.

En particular, cabe señalar la necesidad de establecer criterios de prediseño del foso disipador que permitan conocer la profundidad de socavación, en función del caudal específico, la altura de vertido, el remanso al pie de la estructura, y del tamaño del material. Para ello, sería preciso construir un dispositivo experimental que permitiera presentar una metodología experimental para realizar ensayos con una amplia gama del valor de las variables antes citadas, para un proyecto específico. Adicionalmente se podrían registrar las presiones en la zona de impacto del chorro al realizar dichos ensayos y con ello obtener un criterio de diseño del foso disipador.

## REFERENCIAS. CAPITULO 2

1. Aki, S, "Estudio de la eficiencia de los colchones de agua en relación a los chorros libres", Journal del Instituto de Investigación de las Centrales Hidroeléctricas, 1969.
2. Albertson, H L, Dai, Y B, Jensen, R A and Rouse, H, "Diffusion of submerged jets", Transactions ASCE, paper No 2409, vol 115, 1950.
3. Bakhmeteff, B A and Feodoroff, N V, "Discussion on energy loss at the base of the overall", by Moore, W, Transaction American of Civil Engineers, vol 108, pp 1364-1373, 1943.
4. Cola, R, "Energy dissipation of a high-velocity vertical jet entering a basin", Proceedings of the 11th International Association for Hydraulic Research Congress Leningrado, USSR, vol 1, 1965.
5. Cui, G T *et al*, "Efeito do impacto, no leito do rio, da lâmina descarregada sobre uma barragem abobada" I C T, TR 829 LNEC, Lisboa 1986.
6. Doddiah, D *et al*, "Scour from jets", V Congress of the International Association for Hydraulics Research, Minneapolis, Minn, pp 161-169, 1953.
7. Eliasberk, S E, "Sobre la ubicación de la sección inferior del chorro en caídas y trampolines", Laboratorio de Ingeniería Hidráulica, Ministerio de Construcción, La Habana 1967.
8. Hartung, F and Hausler, E, "Scours, stilling basins and downstream protection under free overfall jets and dams". Transactions of 11th Congress of ICOLD, vol II, Q.41, pp 39-56, Madrid, Spain 1973.
9. Instituto de Hidroeconomía, "Pronóstico de la erosión aguas abajo de las estructuras terminales de tipo trampolín", Revista del Instituto de Hidroeconomía, La Habana 1983.

10. Jaeger, C, "Engineering fluid Mechanics", Blackie and Sons Ltd, p 502, London 1965.
11. Martins, R, "Accao erosiva de jactos livres a justanca de estruturas hidraulicas", Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Memoria No 424, Lisboa 1973.
12. Mason, J, and Kanapathypilly, A, "Free jet scour below dams and flip buckets", Journal of Hydraulic Engineering, vol. III, No 2, february 1985.
13. Ministerio de Educaci3n Superior de Cuba "Revista de Ingenieria Hidraulica", No 3, La Habana, septiembre 1984.
14. Mirtsjulsava, T E, "Mechanics and computation of local and general scour in non cohesive, cohesive soils and rock beds", XII Congress of the International Association for Hydraulics Research, vol 3, september 1967.
15. Mirtsjulsava, T E, "La erosi3n de los cauces y el m3todo de la valorizaci3n de su estabilidad", Instituto de Hidroeconomia, La Habana 1983.
16. Moore, W L, "Energy loss at the base of a free overall", Transactions American Society of Civil Engineers, vol 108, pp 1343-1360, 1943.
17. Ramos, C M, "Hydrodynamic actions on hydraulic structures", LNEC-65/53/315, Lisboa 1988.
18. Rand, W, "Flow geometry at straight drop spillways", paper 791, Proceedings American Society of Civil Engineers, vol 81, pp 1-13, september, 1955.
19. Rhone, T J, y Peterka, A J, "Improved tunnel spillway flip buckets", Proceedings American Society of Civil Engineers, vol 85, No HY12, paper 2316, diciembre 1959.

20. Studenichnikov, B N, "Protección contra la erosión de los cauces y de los tramos inferiores de los aliviaderos", Instituto Bodego, Moscú 1967.
21. U S Bureau of Reclamation, "Design of small dams", Denver, Colorado 1965.
22. Vizgo, M S, "Medidas de exploración, pronóstico y posibilidades de disminución de la erosión local en las construcciones hidrotécnicas", Revista de Ingeniería Hidráulica, No 3, La Habana, septiembre 1984.
23. Wallis, B G, "One-Dimensional Two-phase Flow", Mc Graw Hill, Inc, 1969.
24. Xu Duo-Ming and Yu Chang-Zhao "Pressao no fundo de un canal devido ao choque de um jacto plano, e suas características de fluctuacao", ICT 841 LNEC, Lisboa 1986.
25. Camargo, J y Franco, V, "Diseño y funcionamiento hidráulico de cubetas deflectoras", Series del Instituto de Ingeniería, UNAM, No 523, octubre 1989.

#### REFERENCIAS. CAPITULO 3

1. Doddiah, D, "Scour below sumerged solid bucket type energy dissipators", XI Congress of the International Associaton for Hydraulic Research, C13, Leningrado 1968.
2. Espino, C, "Gasto de despegue en cubetas de lanzamiento. Estudio experimental", Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM, México 1992.
3. Sánchez Bribiesca J L, "Primeras nociones de estadística para experimentadores", Informe Interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, febrero 1982.
4. Spiegel, M R, "Probabilidad y Estadística", Serie Schaum, McGraw Hill, México 1984.

INDICE DE VARIABLES. CAPITULO 2

$A_v$	factor que toma en cuenta la aireación del chorro, Fig 2.17 ó ecs (2.53) y (2.54)
$a_D$	coeficiente definido en la Tabla 2.1
$a_H$	coeficiente definido en la ec (2.59)
$a_o$	ancho del chorro en el punto de incidencia del chorro, Fig 2.10
B	ancho de la cubeta de lanzamiento, Fig 2.10
$B_{fp}$ , $B_{fm}$	relación de flujos aire/agua, prototipo y modelo
$b_D$	coeficiente definido en la Tabla 2.1
$b_H$	coeficiente definido en la ec (2.59)
$b_o$	espesor del chorro en el punto de incidencia sobre el nivel del agua, Fig 2.6
$b_r$ , $a_r$	dimensión, perpendicular al flujo, del paralelepípedo que representa el tamaño promedio de las rocas fracturadas
$b_L$	ancho longitudinal del labio de la cubeta
$C_v$	coeficiente de velocidad
$C_f^c$	resistencia a la ruptura del material cohesivo en estado saturado, $C_f^c = 0.035 C_s$ , siendo $C_s$ la cohesión del suelo
$c_s$	cohesión del suelo
$c_D$	coeficiente definido en la Tabla 2.4
$c_H$	coeficiente definido en la ec (2.59)
$c_r$	dimensión vertical de un paralelepípedo que representa el tamaño promedio de las rocas fracturadas
D	diámetro de las partículas
$D_c$	número de caída, ec (2.10)
$D_{eq}$	diámetro equivalente para suelos cohesivos
$D_t$	diámetro de las partículas asociadas a un porcentaje de tamaños
$D_p$	diámetro medio de las partículas
d	tirante del flujo en la cubeta de lanzamiento
$E_m$	módulo de elasticidad del material
$E_u$	energía total en la entrada del colchón, $y = 0$
$e_H$	coeficiente definido en la ec (2.59)
$F_b$	cuadrado del número de Froude, aguas abajo del foso disipador, Fig 2.6
$F_{r1}$	número de Froude en la sección contraída, ec (2.8)
$f_H$	coeficiente definido en la ec (2.59)
g	aceleración de la gravedad
H	altura de caída de la presa o del salto

$H_o$	energía total en el embalse, Fig 2.2 (en la sección 0)
$H_o$	carga hidráulica sobre la cresta vertedora
$H_1$	energía total en la base de la caída, Fig 2.2 (en la sección 1)
$h$	altura del colchón de agua
$h_d$	colchón de agua característica para cada tipo de suelo y definido por la ec 2.40, en m
$h_c, h_{c''}$	tirantes conjugados que se producen en la formación del salto hidráulico, en m, Fig 2.14
$H_L$	altura del nivel del embalse al labio de la cubeta
$h_v$	carga de velocidad, $h_v = V^2/(2g)$
$K$	factor para compensar la reducción de la velocidad del chorro por la resistencia del aire, turbulencias internas y desintegración, ec (2.16)
$K_D$	coeficiente definido en la Tabla 2.1
$K_H$	coeficiente definido en la ec (2.59)
$K_S$	coeficiente de homogeneidad e igual a 0.5
$K_{Sb}$	factor que toma en cuenta la disposición geométrica de la estructura terminal, Fig 2.18
$K_v$	coeficiente de corrección de Vizgo que toma en cuenta el ángulo de incidencia del chorro, $\theta_o$ y el tipo de suelo, Tabla 2.3
$K_1$	coeficiente de corrección de longitud de vuelo, al considerar la diferencia de comportamiento del chorro en el aire y en el vacío, ec 2.20, que toma un valor entre 0.6 y 1.00
$L_c$	longitud del foso dissipador de energía
$L_d$	longitud del foso al pie de la caída, Fig 2.2
$L_r$	longitud del resalto hidráulico, Fig 2.2
$L_v$	longitud del vuelo del chorro, Fig 2.10
$m'$	coeficiente que toma en cuenta la influencia del sedimento en suspensión, cuando el flujo no transporta sedimento $m' = 1$ y cuando sí lo hace $m' = 1.6$
$m_v$	parámetro utilizado por Vizgo, $m_v = h_v/Z_o$
$N$	parámetro adimensional de Matsman, definido por la ec (2.47)
$N_H$	parámetro utilizado por Martins, definido por la ec (2.27)
$n'$	coeficiente que toma en cuenta la variación de la velocidad, para condiciones naturales $n' = 4$ y para ensayos realizados en laboratorio $n' = 2.25$
$n_1$	porcentaje de contenido de las diferentes fracciones del material $D_1$ , ec (2.33)
$n_k$	parámetro utilizado por Kiseliiov, $n_k = \frac{H_o}{Z}$

$n_s$	coeficiente de aireación, Fig 2.19
$P_h$	presión hidrostática en el canal de descarga, ec (2.37)
$p, m$	valores de modelo y prototipo
$Q$	gasto de agua descarga
$q$	caudal unitario
$R$	radio de curvatura de la cubeta de lanzamiento, Fig 2.9
$R_c$	resistencia a la compresión de la roca en estado saturado, en $kg/cm^2$
$R_f$	límite estadístico de la resistencia al desprendimiento de los bloques fracturados, $R_f = 0.002 R_c$ , en $kg/cm^2$
$R_u$	radio del chorro a la entrada del foso
$T_H$	parámetro adimensional de Matsman, definido por la ec (2.48)
$t_s$	profundidad de la socavación, Fig 2.14
$t$	tiempo
$V$	velocidad media del flujo en la cubeta de lanzamiento
$V_b$	velocidad del flujo aguas abajo del foso disipador, Fig 2.6
$V_f$	velocidad del chorro en el fondo del cono, es decir la velocidad permisible del suelo cohesivo
$V_i$	velocidad media real en la base de la caída, ec (2.4)
$V_c$	velocidad crítica permisible del suelo
$V_o$	velocidad de incidencia del chorro, Fig 2.6
$V_u$	velocidad del chorro a la entrada del colchón de agua
$v_y$	velocidad longitudinal a una distancia $y$ de la entrada del foso
$v_z$	carga de velocidad en el eje del chorro a una profundidad $z$
$X_{1H}, X_{2M}$	distancia de recorrido del chorro, según Mirtsjuslava, Fig 2.21
$y$	distancia del viaje necesaria para la difusión total de un chorro dentro del colchón del agua
$Y_b$	tirante aguas abajo del foso disipador, Fig 2.6
$Y_c$	tirante crítico en una sección rectangular, ec (2.3)
$Y_{co}$	tirante en el punto de caída o de incidencia del flujo, Fig 2.6
$Y_p$	tirante al pie de la estructura, Figs 2.2 y 2.4
$Y_s$	profundidad del cono de socavación
$Y_1$	conjugado menor en la base de la caída
$Y_2$	conjugado mayor, ec (2.7)
$Y_2$	profundidad del remanso
$Z$	distancia entre el nivel de aguas máximas y el labio de la cubeta de lanzamiento, Fig 2.10
$Z_H$	distancia de recorrido del chorro, según Mirtsjuslava, Fig 2.12
$Z_o$	distancia entre el nivel de aguas máximas y el nivel del remanso

	al pie de la estructura, Fig 2.10
$Z'$	distancia vertical entre el labio de la cubeta y el nivel del remanso al pie de la estructura, Fig 2.10
$\alpha$	coeficiente, que toma en cuenta la no distribución uniforme de velocidades en la sección de caída $Y_{co}$
$\alpha_c$	coeficiente de Coriolis
$\alpha_1$	coeficiente igual a 0.01
$\beta$	coeficiente, ec (2.12) y Fig (2.7)
$\beta_o$	coeficiente, que toma en cuenta las pérdidas de carga
$\gamma_o$	peso específico del agua con aireación, ec 2.32
$\gamma_B$	peso específico de la partícula
$\kappa$	pendiente de la parte inferior del labio
$\gamma_B$	peso volumétrico del suelo
$\epsilon$	ángulo de divergencia del chorro, Fig 2.10, en grados
$\omega$	velocidad de caída del material
$\psi_H$	coeficiente de minorización de la velocidad crítica permisible del suelo $V_c$ ; toma un valor entre 0.7 y 0.8
$\psi_1$	coeficiente de velocidad; considera las pérdidas de energía desde la cresta vertedora hasta la cubeta de lanzamiento. Toma un valor entre 0.85 y 0.92
$\Delta H$	pérdida de carga
$\lambda_o$	distancia relativa de vuelo del chorro, e igual a $L_v/Z_o$ , adimensional
$\sigma_{ch}$	dispersión del chorro, ec (2.57)
$\sigma_\omega$	desviación estandard de la velocidad de caída
$\mu_o$	coeficiente que toma en cuenta la variación de la velocidad del chorro sumergido, en prototipo toma el valor de 2, mientras que en modelo el valor de 1.5
$\theta_o$	ángulo de incidencia del chorro, Fig 2.6
$\theta$	ángulo de lanzamiento del chorro, Fig 2.9
$\zeta$	coeficiente de velocidad, ec (2.56)
$\%_{aire}$	porcentaje del aire que el chorro introduce, Fig 2.13

## INDICE DE VARIABLES. CAPITULO 3

a	coeficientes o exponentes, $i = 1, 2, 3$
$b_i$	coeficientes $i = 0, 1, 2, \dots$
D	diámetro de las partículas
$D_c$	número de caída, ec (3.32)
$\bar{e}$	error medio, ec (3.25)
$F_{calc}$	F de Fisher, ec (3.13)
$F_D$	parámetro de descarga, ec (3.30)
$F_r$	número de Froude, ec (3.31)
g	gravedad e igual a $9.81 \text{ m/s}^2$
K	número de cálculo complementarios, diseño de experimentos
n	número de variables independientes que influyen en el resultado del experimento
q	gasto unitario, $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$
S	desviación estándar de los resultados promedio, ec (3.21)
$SS(b_i)$	dispersión o variación de cada uno de los términos
SSE	variación de los errores
$SLF^2$	estimador de la variancia producida por la falta de concordancia, ec (2.12)
SSL	error de concordancia, ec (3.11)
SST	dispersión o variación de los resultados, ec (3.8)
$S^2 y_c$	variancia de los resultados coplementarios, ec (3.10)
$t_c$	variable estandarizada de la distribución t de Student, <b>Tabla 3.20</b>
$t_s$	profundidad de erosión aguas abajo de la estructura terminal
$x_1, x_i$	variable independiente, $i = 1, 2$
y, y	variable dependiente
$\bar{y}_c$	media de los resultados complementarios, ec (3.9)
$Y_{calc}$	valor obtenido de Y al aplicar la correlación
$Y_{med}$	variable dependiente medida, resultado real obtenido del experimento
$Y_2$	profundidad del remanso
$Z_o$	distancia entre el nivel de aguas máximas y el nivel del remanso al pie de la estructura, <b>Fig 2.10</b>
$Z_c$	variable estandarizada de la distribución normal, <b>Tabla 3.20</b>
c	error, ec (3.6), ec (3.16), ec (3.20)
$\Delta Y$	intervalo de confianza, c (3.23)

$\sigma_e$  desviación estandar de los errores, ec (3.26)  
 $\nu$  grados de libertad  
 $\nu_{bi}$  grados de libertad de cada uno de los términos  
 $\nu_L$  grado de libertad, asociado a SSL.

**NOTA:** EL SIGNIFICADO DE LAS VARIABLES CORRESPONDIENTES AL SUBCAPITULO 3.4, CONSULTAR INDICE DE VARIABLES DEL CAPITULO DOS.

TABLA 2.1 DIAMETROS EQUIVALENTES PAAR SUELOS COHESIVOS [12]

A U T O R	$K_D$	$a_D$	$b_D$	$C_D$	D
Schoklitsch	0.521	0.57	0.200	0.32	$D_{90}$
Veronese (a)	0.202	0.54	0.225	0.42	$D_m$
Veronese (b)	1.900	0.54	0.225	0	-
Eggenburger	1.440	0.60	0.500	0.40	$D_{90}$
Hartung	1.400	0.64	0.360	0.320	$D_{95}$
Franke	1.130	0.67	0.500	0.500	$D_{90}$
Damle (a)	0.652	0.50	0.500	0	-
Damle (b)	0.543	0.50	0.500	0	-
Damle (c)	0.362	0.50	0.500	0	-
Chee y Padiyar	2.126	0.67	0.180	0.063	$D_m$
Bizas y Tchopp*	2.760	0.90	0.250	1.000	$D_{90}$
Chee y Kung	1.663	0.60	0.200	0.100	$D_m$
Martins	1.500	0.60	0.100	0	-
Taraimovich	0.663	0.67	0.250	0	-
Machado	1.350	0.50	0.314	0.064	$D_{90}$
SOFRELEC	2.300	0.60	0.100	0	-
INCYTH	1.413	0.50	0.250	0	-

\* Diferente forma de expresión

$$t_s = \frac{k_D q^{a_D} Z_o^{b_D}}{D^{C_D}}$$

TABLA 2.2 DIAMETROS EQUIVALENTES PARA SUELOS COHESIVOS [9]

SUELOS	PORCENTAJE DE PARTICULAS		DIAMETROS EQUIVALENTES, en mm, PARA PARTICULAS DE DISTINTOS SUELOS			
	diámetros 0.005 mm	diámetros 0.005-0.05 mm	compactos $\epsilon_v > 1.2$	compactos $1.2 > \epsilon_v > 0.6$	compactos $0.6 > \epsilon_v > 0.3$	compactos $\epsilon_v < 0.3$
Arcilla	30-50	50-70	0.15	3.0	10.0	50.0
Arcilla arenosa pesada	20-30	70-80	0.15	3.0	10.0	50.0
Arcilla arenosa ligera	10-20	80-90	0.15	3.0	10.0	50.0
Lo es completamente sedimentado	-	-	0.05	1.5	10.0	50.0
$\epsilon$ relación de vacíos						

TABLA 2.3 COEFICIENTE  $k_v$  DE VIZGO [22]

Suelo	Angulo $\sigma_0$ , en grados						
	0	12	25	40	50	70	90
Duro y roca	1.4	1.7	2.1	2.5	2.8	3.2	3.4
Común	1.4	1.9	2.4	3.0	3.3	4.1	4.5
Muy débil	1.4	2.2	3.0	3.8	4.7	5.6	6.0

```

10 REM
20 REM ***** TABLA 3.1 LANZAMIENTO DEL CHORRO, USBR *****
30 REM
40 REM
50 REM          PROGRAMA LONGCHORRO.BAS
60 REM          VERSION DIC 1991, SGA
70 REM
80 REM          V A R I A B L E S   D E   E N T R A D A
90 REM
100 REM          Se proporciona con la instrucción INPUT
110 REM          X          distancia desarrollada apartir del inicio de la cubeta o del
120 REM          cinaacio, en m
130 REM          K          factor para compensar la reducci3n de la velocidad del chorro
140 REM          por la resistencia del aire, turbulencias internas y
150 REM          desintegraci3n.
160 REM          V          velocidad media del flujo en la cubeta, en m/s
170 REM          g          aceleraci3n de la gravedad, en m/s2
180 REM          B          ángulo de lanzamiento del chorro
190 REM          d          tirante del flujo, en m
200 REM
210 REM          V A R I A B L E S   D E   S A L I D A
220 REM
230 REM          Se proporciona con la instrucci3n LPRINT
240 REM          Y          longitud de lanzamiento del chorro, en m
250 REM
260 REM          V A R I A B L E S   D E L   P R O G R A M A
270 REM
280 REM          hv          carga de velocidad, en m
290 REM
300 REM          ***** (1) LECTURA DE DATOS *****
310 REM
320 DIM X(15),Y(15)
330 INPUT "K=";K
340 INPUT "V=";V
350 INPUT "g=";G
360 INPUT "B=";B1
370 INPUT "d=";D
380 FOR N=1 TO 14
390 READ X(N)
400 NEXT N
410 REM          ***** (2) CALCULOS HIDRAULICOS *****
420 REM
430 HV=V*(2/(2*G))
440 B=B1*3.1416/180
450 FOR N=1 TO 14
460 Y(N)=(X(N)*TAN(B))-((X(N)*2)/(K*(4*(D+HV)*(COS(B))^2)))
470 NEXT N
480 REM
490 REM          ***** (3) IMPRESION DE RESULTADOS *****
500 REM
510 LPRINT
520 LPRINT" LONGITUD DE LANZAMIENTO DEL CHORRO METODO USBR"
530 LPRINT
540 LPRINT"          VARIABLES DE ENTRADA"
550 LPRINT USING"          K = ###.##":K
560 LPRINT USING"          V = ###.## m/s":V
570 LPRINT USING"          g = ###.## m/s2":G
580 LPRINT USING"          B = ###.## grados":B1
590 LPRINT USING"          d = ###.## m":D
600 LPRINT
610 LPRINT"          VARIABLES DE SALIDA"
620 LPRINT "","X (m)","Y (m)"
630 FOR N=1 TO 14
640 LPRINT "" ,X(N),Y(N)
650 NEXT N
660 REM
670 REM          ***** (4) CALCULOS ADICIONALES *****
680 REM
690 INPUT "QUIERE DEJAR DE ITERAR, SI=9,X
700 IF X=9 THEN GOTO 720
710 GOTO 310
720 END
730 LPRINT
740 DATA 0.5,10,15,20,30,40,50,60,70,80,90,100,120

```

LONGITUD DE LANZAMIENTO DEL CHORRO METODO USBR

VARIABLES DE ENTRADA

K = 0.00  
V = 37.17 m/s  
g = 9.81 m/s2  
B = 15.00 grados  
d = 1.77 m

VARIABLES DE SALIDA

X (m)	Y (m)
0	0
5	1.223755
10	2.215523
15	2.975302
20	3.503094
30	3.862713
40	3.294382
50	1.7981
60	-.6261368
70	-3.978321
80	-8.25846
90	-13.46655
100	-19.60259
120	-34.65853

10 REM \*\*\*\*\* TABLA 3.2 LANZAMIENTO DEL CHORRO, VIZGO \*\*\*\*\*

20 REM  
30 REM  
40 REM PROGRAMA LONGCHORRO.BAS  
50 REM VERSION DIC 1991, SGA  
60 REM

70 REM V A R I A B L E S D E E N T R A D A

80 REM  
90 REM Se proporciona con la instrucción INPUT  
100 REM Zo distancia entre el nivel de aguas máximas y el nivel del  
110 REM remanso, en m  
120 REM V velocidad media del flujo en la cubeta, en m/s  
130 REM g aceleración de la gravedad, en m/s<sup>2</sup>  
140 REM B ángulo de lanzamiento  
150 REM d tirante del flujo, en m

160 REM V A R I A B L E S D E S A L I D A

170 REM  
180 REM  
190 REM Se proporciona con la instrucción LPRINT  
200 REM Lv longitud de lanzamiento del chorro

210 REM V A R I A B L E S D E L P R O G R A M A

220 REM  
230 REM  
240 REM I distancia relativa de vuelo, adimensional

250 REM  
260 REM \*\*\*\*\* (1) LECTURA DE DATOS \*\*\*\*\*

270 REM  
280 INPUT "Zo=",Z  
290 INPUT "V=",V  
300 INPUT "g=",G  
310 INPUT "B=",B1  
320 INPUT "d=",D

330 REM  
340 REM \*\*\*\*\* (2) CALCULOS HIDRAULICOS \*\*\*\*\*

350 REM  
360 HV= V<sup>2</sup>/(2\*G)  
370 MV= HV/Z  
380 B=B1\*3.1416/180  
390 I= 2\*COS(B)\*((MV\*SIN(B))+(MV\*(1-(MV\*(COS(B))^2)+(D/(2\*Z)\*COS(B))))^(1/2))  
400 LV= I\*Z

410 REM  
420 REM \*\*\*\*\* (3) IMPRESION DE RESULTADOS \*\*\*\*\*

430 REM  
440 LPRINT  
450 LPRINT" LONGITUD DE LANZAMIENTO DEL CHORRO METODO VIZGO "

460 LPRINT  
470 LPRINT" V A R I A B L E S D E E N T R A D A"  
480 LPRINT USING" Zo = ###.## m";Z  
490 LPRINT USING" V = ###.## m/s";V  
500 LPRINT USING" g = ###.## m/s<sup>2</sup>";G  
510 LPRINT USING" B = ###.## grados";B1  
520 LPRINT USING" d = ###.## m";D

530 LPRINT  
540 LPRINT" V A R I A B L E S D E S A L I D A"  
550 LPRINT USING" Lv = ###.## m";LV

560 LPRINT  
570 REM  
580 REM \*\*\*\*\* (4) CALCULOS ADICIONALES \*\*\*\*\*

590 REM  
600 INPUT "QUIERE DEJAR DE ITERAR, SI=9",X  
610 IF X=9 THEN GOTO 630  
620 GOTO 280  
630 END  
640 LPRINT

LONGITUD DE LANZAMIENTO DEL CHORRO METODO VIZGO

VARIABLES DE ENTRADA  
Zo = 132.20 m  
V = 37.17 m/s  
g = 9.81 m/s<sup>2</sup>  
B = 15.0 grados  
d = 1.77 m

VARIABLES DE SALIDA  
Lv = 168.25 m

```

10 REM ..... TABLA 3.3 LANZAMIENTO DEL CHORRO, KISELIOV .....
20 REM
30 REM
40 REM
50 REM          PROGRAMA LONGCHORRO.BAS
60 REM          VERSION DIC 1991. SGA
70 REM
80 REM          V A R I A B L E S   D E   E N T R A D A
90 REM
100 REM          Se proporciona con la instrucción INPUT
110 REM          P          coeficiente de velocidad, considera las pérdidas de energía
120 REM          desde la cresta vertedora hasta la cubeta de lanzamiento.
130 REM          T1         Toma un valor entre 0.85 y 0.92.
145 REM          distancia entre el nivel de aguas máximas y el fondo del
155 REM          cauce, en m
140 REM          T          distancia entre el nivel de aguas máximas y el labio de la
150 REM          cubeta de lanzamiento, en m.
165 REM          R          ángulo de lanzamiento del chorro
166 REM          d          tirante del flujo, en m
160 REM
170 REM          V A R I A B L E S   D E   S A L I D A
180 REM
190 REM          Se proporciona con la instrucción LPRINT
200 REM          Lv         longitud de vuelo del flujo, en m
210 REM
220 REM          V A R I A B L E S   D E   L   P R O G R A M A
230 REM
240 REM          nk         parámetro utilizado por Kiseliov.
250 REM
260 REM ***** (1) LECTURA DE DATOS *****
270 REM
280 INPUT "P=" ,P
290 INPUT "T1=" ,T1
300 INPUT "T=" ,T
310 INPUT "B=" ,B1
320 INPUT "d=" ,D
330 REM
340 REM ***** (2) CALCULOS HIDRAULICOS *****
350 REM
360 NK=T1/T
370 B=B1*3.1416/180
380 LV=2*P*2*NK*T*COS(B)*(SIN(B)+((SIN(B))^2+((D*COS(B)+2*T*(1-NK)^2)/(2*P*2*NK*
390 REM          T))^ (1/2))
400 REM ***** (3) IMPRESION DE RESULTADOS *****
410 REM
420 LPRINT
430 LPRINT" LONGITUD DE LANZAMIENTO DEL CHORRO METODO DE KISELIOV"
440 LPRINT
450 LPRINT"          VARIABLES DE ENTRADA"
460 LPRINT USING"          P = ###.## " ,P
470 LPRINT USING"          T1 = ###.## m" ,T1
480 LPRINT USING"          T = ###.## m" ,T
490 LPRINT USING"          B = ###.## grados" ,B1
500 LPRINT USING"          d = ###.## m" ,D
510 LPRINT
520 LPRINT"          VARIABLES DE SALIDA"
530 LPRINT USING"          Lv = ###.## m" ,LV
540 LPRINT
550 REM
560 REM ***** (4) CALCULOS ADICIONALES *****
570 REM
580 INPUT "QUIERE DEJAR DE ITERAR, SI=9" ,X
590 IF X=9 THEN GOTO 610
600 GOTO 280
610 END
620 LPRINT

```

LONGITUD DE LANZAMIENTO DEL CHORRO METODO DE KISELIOV

VARIABLES DE ENTRADA

P = 0.85  
T1 = 164.00 m  
T = 128.00 m  
B = 15.0 grados  
d = 1.77 m

VARIABLES DE SALIDA

Lv = 150.71 m

```

10 REM ***** TABLA 3.4 LANZAMIENTO DEL CHORRO, ELIASBERK *****
20 REM
30 REM
40 REM          PROGRAMA LONGCHORRO.BAS
50 REM          VERSION DIC 1991, SGA
60 REM
70 REM          V A R I A B L E S   D E   E N T R A D A
80 REM
90 REM          Se proporciona con la instrucción INPUT
100 REM          z' distancia vertical media desde el labio de la cubeta hasta
110 REM          el remanso que se produce en el cauce, en m
120 REM          g aceleración de la gravedad, en m/s2
160 REM          B ángulo de lanzamiento del chorro
130 REM          V velocidad media del flujo en la cubeta, en m/s
140 REM
150 REM          V A R I A B L E S   D E   S A L I D A
160 REM
170 REM          Se proporciona con la instrucción LPRINT
180 REM          Lv longitud de vuelo del flujo, en m
190 REM
200 REM ***** (1) LECTURA DE DATOS *****
210 REM
220 INPUT "z'=",Z
230 INPUT "g=",G
240 INPUT "B=",B1
250 INPUT "v=",V
260 REM
270 REM ***** (2) CALCULOS HIDRAULICOS *****
280 REM
290 B=B1*3.1416/180
300 LV= ((V^2*SIN(B)*COS(B))/G)+(V*COS(B))^2/((V^2*(SIN(B))^2)/(G^2))+((2*Z)/G)^(
1/2)
310 REM
320 REM ***** (3) IMPRESION DE RESULTADOS *****
330 REM
340 LPRINT
350 LPRINT" LONGITUD DE LANZAMIENTO DEL CHORRO METODO ELIASBERK"
360 LPRINT
370 LPRINT"          VARIABLES DE ENTRADA"
380 LPRINT USING"          z' = ###.## m";Z
390 LPRINT USING"          g = ###.## m/s2";G
400 LPRINT USING"          B = ###.## grados";B1
410 LPRINT USING"          V = ###.## m/s";V
420 LPRINT
430 LPRINT"          VARIABLES DE SALIDA"
440 LPRINT USING"          Lv = ###.## m";LV
450 LPRINT
460 REM
470 REM ***** (4) CALCULOS ADICIONALES *****
480 REM
490 INPUT "QUIERE DEJAR DE ITERAR, SI=9".X
500 IF X=9 THEN GOTO 520
510 GOTO 220
520 END
530 LPRINT

```

LONGITUD DE LANZAMIENTO DEL CHORRO METODO ELIASBERK

VARIABLES DE ENTRADA

z' = 24.90 m  
g = 9.81 m/s2  
B = 15.00 grados  
V = 37.17 m/s

VARIABLES DE SALIDA

Lv = 123.43 m

```

10 REM
20 REM ***** TABLA 3.5 ANCHO LANZAMIENTO DEL CHORRO, VIZGO *****
30 REM
40 REM          PROGRAMA ANCHOMAXIMO.BAS
50 REM          VERSION DIC 1991, SGA
60 REM
70 REM          V A R I A B L E S   D E   E N T R A D A
80 REM
90 REM          Se proporciona con la instrucción INPUT
100 REM          B          ancho de la cubeta de lanzamiento, en m
140 REM          Lv         longitud de vuelo del flujo, en m
110 REM          E          ángulo de divergencia del chorro, en grados, ver fig.3.18
120 REM
130 REM          V A R I A B L E S   D E   S A L I D A
140 REM
150 REM          Se proporciona con la instrucción LPRINT
160 REM          Bvuelo     ancho máximo de vuelo del chorro en m
170 REM
180 REM ***** (1) LECTURA DE DATOS *****
190 REM
200 INPUT "B=",B
210 INPUT "Lv=",LV
220 INPUT "E=",E1
230 REM
240 REM ***** (2) CALCULOS HIDRAULICOS *****
250 REM
260 E=E1*3.1416/180
270 BVUELO=B+2*LV*TAN(E)
280 REM
290 REM ***** (3) IMPRESION DE RESULTADOS *****
300 REM
310 LPRINT
320 LPRINT" ANCHO MAXIMO DE LANZAMIENTO DEL CHORRO (METODO VIZGO)"
330 LPRINT
340 LPRINT"          VARIABLES DE ENTRADA"
350 LPRINT USING"          B = ###.## m";B
360 LPRINT USING"          Lv = ###.## m";LV
370 LPRINT USING"          E = ###.# grados";E1
380 LPRINT
390 LPRINT"          VARIABLES DE SALIDA"
400 LPRINT USING"          Bvuelo= ###.## m";BVUELO
410 LPRINT
420 REM
430 REM ***** (4) CALCULOS ADICIONALES *****
440 REM
450 INPUT "QUIERE DEJAR DE ITERAR, SI=9",X
460 IF X=9 THEN GOTO 480
470 GOTO 200
480 END
490 LPRINT

```

ANCHO MAXIMO DE LANZAMIENTO DEL CHORRO (METODO VIZGO)

```

VARIABLES DE ENTRADA
B = 45.50 m
Lv = 188.01 m
E = 4.8 grados

```

```

VARIABLES DE SALIDA
Bvuelo= 77.08 m

```

```

10 REM
20 REM ***** TABLA 3.6 ANGULO DE ENTRADA DEL CHORRO *****
30 REM
40 REM
50 REM
60 REM
70 REM
80 REM
90 REM
100 REM
110 REM
120 REM
130 REM
140 REM
150 REM
160 REM
170 REM
180 REM
190 REM
200 REM
210 REM
220 REM ***** (1) LECTURA DE DATOS *****
230 REM
240 INPUT "z'=",Z
250 INPUT "v=",V
260 INPUT "B=",B1
270 INPUT "g=",G
280 REM
290 REM ***** (2) CALCULOS HIDRAULICOS *****
300 REM
310 B=B1*3.1416/180
320 A=ATN(((TAN(B))^2+((2*G*Z)/(V^2*(COS(B))^2)))^(1/2))
330 A= A*180/3.1416
340 REM
350 REM ***** (3) IMPRESION DE RESULTADOS *****
360 REM
370 LPRINT
380 LPRINT" ANGULO DE ENTRADA DEL CHORRO"
390 LPRINT
400 LPRINT"
410 LPRINT USING"          z' = ###.## m";Z
420 LPRINT USING"          v = ###.## m/s";V
430 LPRINT USING"          B = ###.## grados";B1
440 LPRINT USING"          g = ###.## m/s";G
450 LPRINT
460 LPRINT"
470 LPRINT USING"          A = ###.## grados";A
480 LPRINT
490 REM
500 REM ***** (4) CALCULOS ADICIONALES *****
510 REM
520 INPUT "QUIERE DEJAR DE ITERAR, SI=9",X
530 IF X=9 THEN GOTO 550
540 GOTO 240
550 END
560 LPRINT

```

ANGULO DE ENTRADA DEL CHORRO

VARIALES DE ENTRADA

z' = 3.23 m  
V = 37.17 m/s  
B = 15.0 grados  
g = 9.81 m/s

VARIABLES DE SALIDA

A = 19.18 grados

```

10 REM
20 REM ***** TABLA 3.7 VELOCIDAD DE ENTRADA DEL CHORRO *****
30 REM
40 REM
50 REM          PROGRAMA VENT.BAS
60 REM          VERSION DIC 1991, SGA
70 REM
80 REM          V A R I A B L E S   D E   E N T R A D A
90 REM
100 REM      Se proporciona con la instrucción INPUT
110 REM      z' distancia vertical medida desde el labio de la cubeta hasta
120 REM      el remanso que se produce en el cauce, en m
130 REM      V velocidad media del flujo en la cubeta, en m/s
140 REM      g aceleración de la gravedad, en m/s2
150 REM
160 REM          V A R I A B L E S   D E   S A L I D A
170 REM
180 REM      Se proporciona con la instrucción LPRINT
190 REM      VENT velocidad de entrada del chorro en la superficie del agua,
200 REM      en m/s
210 REM ***** (1) LECTURA DE DATOS *****
220 REM
230 INPUT "z'=",Z
240 INPUT "V=",V
250 INPUT "g=",G
260 REM
270 REM ***** (2) CALCULOS HIDRAULICOS *****
280 REM
290 VENT= (V^2+(2*G*Z))^(1/2)
300 REM
310 REM ***** (3) IMPRESION DE RESULTADOS *****
320 REM
330 LPRINT
340 LPRINT" VELOCIDAD DE ENTRADA DEL CHORRO"
350 LPRINT
360 LPRINT"          VARIABLES DE ENTRADA"
370 LPRINT USING"          z' = ###.## m";Z'
380 LPRINT USING"          V = ###.## m/s";V
390 LPRINT USING"          g = ###.## m/s2";G
400 LPRINT
410 LPRINT"          VARIABLES DE SALIDA"
420 LPRINT USING"          VENT= ###.## m/s";VENT
430 LPRINT
440 REM
450 REM ***** (4) CALCULOS ADICIONALES *****
460 REM
470 INPUT "QUIERE DEJAR DE ITERAR, SI=9",X
480 IF X=9 THEN GOTO 500
490 GOTO 230
500 END
510 LPRINT

```

VELOCIDAD DE ENTRADA DEL CHORRO

VARIABLES DE ENTRADA  
z' = 3.23 m  
V = 37.17 m/s  
g = 9.81 m/s2

VARIABLES DE SALIDA  
VENT= 38.01 m/s

```

10 REM
20 REM ***** TABLA 3.8 SOCAVACION, VERONESE (A) *****
30 REM
40 REM          PROGRAMA SOCVERONESE(A).BAS
50 REM          VERSION DIC 1991,SGA
60 REM
70 REM          V A R I A B L E S   D E   E N T R A D A
80 REM
90 REM          Se proporciona con la instrucción INPUT
100 REM          q      gasto unitario, en m3/s/m
110 REM          Zo     distancia entre el nivel de aguas máximas y el nivel del
120 REM          remanso, en m
130 REM          D      diámetro de las partículas, en m
140 REM
150 REM          V A R I A B L E S   D E   S A L I D A
160 REM
170 REM          Se proporciona con la instrucción LPRINT
180 REM          t1     profundidad del cono de socavación, en m
190 REM
200 REM          V A R I A B L E S   D E L   P R O G R A M A
210 REM
220 REM          KD,aD,bD,cD, coeficientes definido en la tabla.3.3
230 REM
240 REM ***** (1) LECTURA DE DATOS*****
250 REM
250 INPUT "q=" ,Q
260 INPUT "Zo=" ,ZO
270 INPUT "D=" ,D
280 REM
290 REM ***** (2) CALCULOS HIDRAULICOS*****
300 REM
310 KD = .202
320 AD = .54
330 BD = .225
340 CD = .42
350 T1 = (KD*Q^AD*ZO^BD)/D^CD
360 REM
370 REM ***** (3) IMPRESION DE RESULTADOS*****
380 REM
390 LPRINT
400 LPRINT" PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCAVACION CON EL METODO DE VERONESE (A)"
410 LPRINT
420 LPRINT"          VARIABLES DE ENTRADA"
430 LPRINT USING"          q = ###.## m3/s/m";Q
440 LPRINT USING"          Zo = ###.## m";ZO
450 LPRINT USING"          D = ###.## m";D
460 LPRINT
470 LPRINT"          VARIABLES DE SALIDA"
480 LPRINT USING"          t1 = ###.## m";T1
490 LPRINT
500 REM
510 REM ***** (4) CALCULOS ADICIONALES*****
520 REM
530 INPUT "QUIERE DEJAR DE ITERAR, SI=9",X
540 IF X=9 THEN GOTO 560
550 GOTO 250
560 END
570 LPRINT

```

PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCAVACION CON EL METODO DE VERONESE (A)

VARIABLES DE ENTRADA

q = 65.93 m3/s/m

Zo = 132.20 m

D = 0.30 m

VARIABLES DE SALIDA

t1 = 9.65 m

```

10 REM
20 REM ***** TABLA 3.9 SOCAVACION, VERONESE (B) *****
30 REM
40 REM          PROGRAMA SOCVERONESE(B).BAS
50 REM          VERSION DIC 1991,SGA
60 REM
70 REM          V A R I A B L E S   D E   E N T R A D A
80 REM
90 REM          Se proporciona con la instrucción INPUT
100 REM  q      gasto unitario, en m3/s/m
110 REM  Zo     distancia entre el nivel de aguas máximas y el nivel del
120 REM          remanso, en m
130 REM
140 REM          V A R I A B L E S   D E   S A L I D A
150 REM
160 REM          Se proporciona con la instrucción LPRINT
170 REM  t1     profundidad del cono de socavación, en m
180 REM
190 REM          V A R I A B L E S   D E L   P R O G R A M A
200 REM
210 REM  KD,aD,bD,cD, coeficientes definido en la tabla 3.3
220 REM
230 REM ***** (1) LECTURA DE DATOS*****
250 REM
240 INPUT "q=",Q
250 INPUT "Zo=",ZO
260 REM
270 REM ***** (2) CALCULOS HIDRAULICOS*****
280 REM
290 KD = 1.9
300 AD = .54
310 BD = .225
320 CD = 0
330 T1 = (KD*Q^AD*ZO^BD)
340 REM
350 LPRINT
360 REM ***** (3) IMPRESION DE RESULTADOS*****
370 REM
380 LPRINT" PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCAVACION CON EL METODO DE VERONESE (B)"
390 LPRINT
400 LPRINT"          VARIABLES DE ENTRADA"
410 LPRINT USING"          q = ###.## m3/s/m";Q
420 LPRINT USING"          Zo = ###.## m";ZO
430 LPRINT
440 LPRINT"          VARIABLES DE SALIDA"
450 LPRINT USING"          t1 = ###.## m";T1
460 LPRINT
470 REM
480 REM ***** (4) CALCULOS ADICIONALES*****
490 REM
500 INPUT "QUIERE DEJAR DE ITERAR, SI=9",X
510 IF X=9 THEN GOTO 530
520 GOTO 240
530 END
540 LPRINT

```

PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCAVACION CON EL METODO DE VERONESE (B)

VARIABLES DE ENTRADA  
q = 65.93 m3/s/m  
Zo = 132.20 m

VARIABLES DE SALIDA  
t1 = 54.74 m

```

10 REM
20 REM ***** TABLA 3.10 SOCAVACION, JAEGER *****
30 REM
40 REM          PROGRAMA SOCJAEGER.BAS
50 REM          VERSION DIC 1991,SGA
60 REM
70 REM          V A R I A B L E S   D E   E N T R A D A
80 REM
90 REM          Se proporciona con la instrucción INPUT
100 REM q      gasto unitario, en m3/s/m
110 REM Zo     distancia entre el nivel de aguas máximas y el nivel del
120 REM         remanso, en m
130 REM t2     profundidad del flujo en el remanso que se produce aguas abajo
140 REM         de la cubeta, en m
150 REM D      diámetro de las partículas, en m
160 REM
170 REM          V A R I A B L E S   D E   S A L I D A
180 REM
190 REM          Se proporciona con la instrucción LPRINT
200 REM t1     profundidad del cono de socavación, en m
210 REM
220 REM ***** (1) LECTURA DE DATOS*****
240 REM
250 INPUT "q=",Q
260 INPUT "Zo=",ZO
270 INPUT "t2=",T2
280 INPUT "D=",D
290 REM ***** (2) CALCULOS HIDRAULICOS*****
300 REM
310 T1 = .6*Q^.5*ZO^.25*(T2/D)^.33
320 REM
330 REM ***** (3) IMPRESION DE RESULTADOS*****
340 REM
350 LPRINT
360 LPRINT" PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCAVACION CON EL METODO DE JAEGER"
370 LPRINT
380 LPRINT"          VARIABLES DE ENTRADA"
390 LPRINT USING"          q = ###.## m3/s/m";Q
400 LPRINT USING"          Zo = ###.## m";ZO
410 LPRINT USING"          t2 = ###.## m";T2
420 LPRINT USING"          D = ###.## m";D
430 LPRINT
440 LPRINT"          VARIABLES DE SALIDA"
450 LPRINT USING"          t1 = ###.## m";T1
460 LPRINT
470 REM
480 REM ***** (4) CALCULOS ADICIONALES*****
490 REM
500 INPUT "QUIERE DEJAR DE ITERAR, SI=9",X
510 IF X=9 THEN GOTO 530
520 GOTO 230
530 END
540 LPRINT

```

PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCAVACION CON EL METODO DE JAEGER

VARIABLES DE ENTRADA  
q = 65.93 m3/s/m  
Zo = 132.20 m  
t2 = 1.77 m  
D = 0.30 m

VARIABLES DE SALIDA  
t1 = 29.67 m

```

10 REM
20 REM ***** TABLA 3.11 SOCAVACION, MARTINS *****
30 REM
40 REM          PROGRAMA SOCMARTINS.BAS
50 REM          VERSION DIC 1991,SGA
60 REM
70 REM          Se proporciona con la instrucción INPUT
80 REM          q      gasto unitario, en m3/s/m
90 REM          D      diámetro de las partículas, en m
100 REM          Zo     distancia entre el nivel de aguas máximas y el nivel del
110 REM          remanso, en m
120 REM          t2     profundidad del flujo en el remanso que se produce aguas
130 REM          abajo de la cubeta, en m
140 REM
150 REM          V A R I A B L E S   D E   S A L I D A
160 REM
170 REM          Se proporciona con la instrucción LPRINT
180 REM          t1     profundidad del cono de socavación, en m
190 REM
200 REM          V A R I A B L E S   D E L   P R O G R A M A
210 REM
220 REM          Nm     parámetro utilizado por Martins
230 REM
240 REM          ***** (1) LECTURA DE DATOS *****
250 REM
250 INPUT "q=",Q
260 INPUT "D=",D
270 INPUT "Zo=",ZO
280 INPUT "t2=",T2
290 REM
300 REM          ***** (2) CALCULOS HIDRAULICOS *****
310 REM
320 NM= 7*((Q^3*ZO^1.5)/D^2)^(1/7)
330 T1= .14*NM-.73*(T2^2/NM)+1.7*T2
340 REM
350 REM          ***** (3) IMPRESION DE RESULTADOS *****
360 REM
370 LPRINT
380 LPRINT"          PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCAVACION CON EL METODO DE MARTINS"
390 LPRINT
400 LPRINT"          VARIABLES DE ENTRADA"
410 LPRINT USING"          q = ###.## m3/s/m";Q
420 LPRINT USING"          D = ###.## m";D
430 LPRINT USING"          Zo = ###.## m";ZO
440 LPRINT USING"          t2 = ###.## m";T2
450 LPRINT
460 LPRINT"          VARIABLES DE SALIDA"
470 LPRINT USING"          t1 = ###.## m";T1
480 LPRINT
490 REM
500 REM          ***** (4) CALCULOS ADICIONALES *****
510 REM
520 INPUT "QUIERE DEJAR DE ITERAR, SI=9",X
530 IF X=9 THEN GOTO 550
540 GOTO 250
550 END
560 LPRINT

```

PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCAVACION CON EL METODO DE MARTINS

VARIABLES DE ENTRADA

q = 65.93 m3/s/m

D = 0.30 m

Zo = 132.20 m

t2 = 1.77 m

VARIABLES DE SALIDA

t1 = 26.70 m

```

10 REM
20 REM ***** TABLA 3.12 SOCAVACION, MIRTSJUSLAVA (GRANULARES) *****
30 REM
40 REM          PROGRAMA SOCMIRTS-GRA.BAS
50 REM          VERSION DIC 1991,SGA
60 REM
70 REM          V A R I A B L E S   D E   E N T R A D A
80 REM
90 REM          Se proporciona con la instrucción INPUT
100 REM q      gasto unitario, en m3/s/m
110 REM Zo     distancia entre el nivel de aguas máximas y el nivel del
120 REM        remanso, en m
130 REM t2     profundidad del flujo en el remanso que se produce aguas
140 REM        abajo de la cubeta, en m
150 REM D      diámetro de las partículas, en m
160 REM VENT    velocidad de entrada de chorro en la superficie del agua,
146 REM        en m/s
170 REM m      coeficiente que toma en cuenta la variación de la velocidad del
180 REM        chorro sumergido, en prototipo es igual a 2, mientras que en
160 REM        modelo el valor es de 1.5
190 REM A      ángulo de entrada del chorro en la superficie del agua, en
200 REM        grados
210 REM P1     peso específico de la partícula, en kg/m3
220 REM P      peso específico del flujo, en kg/m3
230 REM g      aceleración de la gravedad, en m/s2
240 REM AIR    porcentaje de aire que el chorro introduce, fig.3.24
250 REM
260 REM          V A R I A B L E S   D E   S A L I D A
270 REM
280 REM          Se proporciona con la instrucción LPRINT
290 REM t1     profundidad del cono de socavación, en m
300 REM
310 REM          V A R I A B L E S   D E L   P R O G R A M A
320 REM
330 REM P2     peso específico del agua con aireación, en kg/m3
340 REM w      velocidad de caída del material, en m/s
350 REM bo     espesor del chorro en el punto de incidencia sobre el nivel
360 REM        del agua, en m
370 REM
380 REM ***** (1) LECTURA DE DATOS *****
390 LPRINT
400 REM
410 INPUT "q=",Q
420 INPUT "Zo=",ZO
430 INPUT "t2=",T2
440 INPUT "D=",D
450 INPUT "VENT=",VENT
460 INPUT "m=",M
470 INPUT "A=",A1
480 INPUT "P1=",P1
490 INPUT "P=",P
500 INPUT "g=",G
510 INPUT "AIR=",AIR
520 REM
530 REM ***** (2) CALCULOS HIDRAULICOS *****
540 REM
550 A=A1*3.1416/180
560 BO= .8*(Q/VENT)
570 P2 = AIR*P/100
580 W=((2*G*(P1-P2))/(1.75*P2))*D^.5
590 T1=(((3*M*VENT*BO)/W)-(7.5*BO))*(SIN(A)/(1-.175*(1/TAN(A))))+.25*T2
600 REM
610 REM ***** (3) IMPRESION DE RESULTADOS *****
620 REM
630 LPRINT

```

```

640 LPRINT" PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCAVACION CON EL METODO DE MIRTSJUSLAVA."
650 LPRINT      " PARA SUELOS GRANULARES"
660 LPRINT
670 LPRINT"      VARIABLES DE ENTRADA"
680 LPRINT USING"      q =   ###.## m3/s/m";Q
690 LPRINT USING"      Zo =  ###.## m";ZO
700 LPRINT USING"      t2 =  ###.## m";T2
710 LPRINT USING"      D =   ###.## m";D
720 LPRINT USING"      VENT=  ###.## m/s";VENT
730 LPRINT USING"      m =   ###.##";M
740 LPRINT USING"      A =   ###.## grados";A1
750 LPRINT USING"      P1 =  ###.## kg/m3";P1
760 LPRINT USING"      P =   ###.## kg/m3";P
770 LPRINT USING"      g =   ###.## m/s2";G
780 LPRINT USING"      AIR =  ###.## %";AIR
790 LPRINT
800 LPRINT"      VARIABLES DE SALIDA"
810 LPRINT USING"      t1 =  ###.## m";T1
820 LPRINT
830 REM
840 REM ***** (4) CALCULOS ADICIONALES*****
850 REM
860 INPUT "QUIERE DEJAR DE ITERAR, SI=9",X
870 IF X=9 THEN GOTO 890
880 GOTO 410
890 END
900 LPRINT

```

PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCAVACION CON EL METODO DE MIRTSJUSLAVA,  
PARA SUELOS GRANULARES

```

VARIABLES DE ENTRADA
q = 65.93 m3/s/m
Zo = 132.20 m
t2 = 1.77 m
D = 0.30 m
VENT= 38.01 m/s
m = 2.00
A = 19.81 grados
P1 = 2250.00 kg/m3
P = 1000.00 kg/m3
g = 9.81 m/s2
AIR = 78.00 %

```

```

VARIABLES DE SALIDA
t1 = 76.43 m

```

```

10 REM
20 REM ***** TABLA 3.13 SOCAVACION, MIRTSJUSLAVA (ROCOSOS) *****
30 REM
40 REM          PROGRAMA SOCMIRTS-ROC.BAS
50 REM          VERSION DIC 1991,SGA
60 REM
70 REM          V A R I A B L E S   D E   E N T R A D A
80 REM
90 REM          Se proporciona con la instrucción INPUT
100 REM          q      gasto unitario, en m3/s/m
110 REM          Zo     distancia entre el nivel de aguas máximas y el nivel del
120 REM                  remanso, en m
130 REM          t2     profundidad del flujo en el remanso que se produce aguas
140 REM                  abajo de la cubeta, en m
150 REM          g      aceleración de la gravedad, en m/s2
160 REM          VENT   velocidad de entrada de chorro en la superficie del agua,
146 REM                  en m/s
170 REM          m'     coeficiente que toma en cuenta la influencia del sedimento en
180 REM                  suspensión, cuando el flujo no transporta sedimento m'=1 y
160 REM                  cuando si lo hace m'= 1.6
190 REM          A      ángulo de entrada del chorro en la superficie del agua, en
200 REM                  grados
210 REM          Rc     resistencia a la compresión de la roca en estado saturado,
220 REM                  en kg/cm2
230 REM          n'     coeficiente que toma en cuenta la variación de la velocidad,
240 REM                  para condiciones naturales n'=4 y para ensayos realizados
250 REM                  en laboratorio n'=2,25
260 REM          br     dimensión perpendicular al flujo, del paralelepipedo que
270 REM                  representa el tamaño promedio de las rocas fracturadas, en m
280 REM          Cr     dimensión vertical de un paralelepipedo que representa el
290 REM                  tamaño promedio de las rocas fracturadas, en m
300 REM          P1     peso específico de la partícula, en kg/m3
310 REM          P      peso específico del flujo, en kg/m3
320 REM          AIR    porcentaje de aire que el chorro introduce,fig.3.24
330 REM
340 REM          V A R I A B L E S   D E   S A L I D A
350 REM
360 REM          Se proporciona con la instrucción LPRINT
370 REM          t1     profundidad del cono de socavación, en m
380 REM
390 REM          V A R I A B L E S   D E L   P R O G R A M A
400 REM
410 REM          P2     peso específico del agua con aireación, en kg/m3
420 REM          Vc     velocidad crítica permisible del suelo, en m/s
430 REM          bo     espesor del chorro en el punto de incidencia sobre el nivel
440 REM                  del agua, en m
450 REM          Rf     límite estadístico de la resistencia al desprendimiento de
460 REM                  Rf=.002Rc, en kg/cm2
470 REM
480 REM ***** (1) LECTURA DE DATOS *****
490 REM
500 INPUT "q=",Q
510 INPUT "Zo=",ZO
520 INPUT "t2=",T2
530 INPUT "g=",G
540 INPUT "VENT=",VENT
550 INPUT "m=",M
560 INPUT "A=",A1
570 INPUT "Rc=",R
580 INPUT "n'=",N
590 INPUT "br=",B
600 INPUT "Cr=",C
610 INPUT "P1=",P1
620 INPUT "P=",P
630 INPUT "AIR=",AIR

```

```

640 REM
650 REM ***** (2) CALCULOS HIDRAULICOS *****
660 REM
670 A=A1*3.1416/180
680 BO= .8*(Q/VENT)
690 RF= .002*RC
700 P2 = AIR*P/100
710 VC=((2*G*M)/(P2*N))*(((B^2)^(R+C*(P1-P2)))/((SIN(A))*.6*B^2+.2*C^2))^.5
720 T1=(((8.3*VENT*BO)/VC)-7.5*BO)*((SIN(A)/(1-.175*(1/TAN(A)))))+(2.5*T2)
730 REM
740 REM ***** (3) IMPRESION DE RESULTADOS *****
750 REM
760 LPRINT
770 LPRINT" PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCAVACION CON EL METODO DE MIRTSJUSLAVA,"
780 LPRINT      " PARA SUELOS ROCOSOS"
790 LPRINT
800 LPRINT"      VARIABLES DE ENTRADA"
810 LPRINT USING"      q =   ###.## m3/s/m";Q
820 LPRINT USING"      Zo =   ###.## m";ZO
830 LPRINT USING"      t2 =   ###.## m";T2
840 LPRINT USING"      g =   ###.## m/s2";G
850 LPRINT USING"      VENT=   ###.## m/s";VENT
860 LPRINT USING"      m =   ###.##";M
870 LPRINT USING"      A =   ###.## grados";A1
880 LPRINT USING"      Rc =  ###.## kg/cm2";R
890 LPRINT USING"      n' =   ###.##";N
900 LPRINT USING"      br =   ###.## m";B
910 LPRINT USING"      Cr =   ###.## m";C
920 LPRINT USING"      P1 =  ###.## kg/m3";P1
930 LPRINT USING"      P =   ###.## kg/m3";P
940 LPRINT USING"      AIR =  ###.## %";AIR
950 LPRINT
960 LPRINT"      VARIABLES DE SALIDA"
970 LPRINT USING"      t1 =   ###.## m";T1
980 LPRINT
990 REM
1000 REM ***** (4) CALCULOS ADICIONALES *****
1010 REM
1020 INPUT "QUIERE DEJAR DE ITERAR, SI=9",X
1030 IF X=9 THEN GOTO 1050
1040 GOTO 500
1050 END
1060 LPRINT

```

PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCAVACION CON EL METODO DE MIRTSJUSLAVA,  
PARA SUELOS ROCOSOS

```

VARIABLES DE ENTRADA
q = 65.93 m3/s/m
Zo = 132.20 m
t2 = 1.77 m
g = 9.81 m/s2
VENT= 38.01 m/s
m = 2.00
A = 19.18 grados
Rc = 0.00 kg/cm2
n' = 4.00
br = 0.30 m
Cr = 0.30 m
P1 = 2250.00 kg/m3
P = 1000.00 kg/m3
AIR = 78.00 %

```

```

VARIABLES DE SALIDA
t1 = 56.57 m

```

10 REM \*\*\*\*\* TABLA 3.14 SOCAVACION, MATSMAN \*\*\*\*\*

PROGRAMA SOCMATSMAN.BAS  
VERSION DIC 1991,SGA

VARIABLES DE ENTRADA

- Se proporciona con la instrucción INPUT
- 100 REM q' gasto unitario, en m<sup>3</sup>/s/m
  - 110 REM t2 profundidad del flujo en el remanso que se produce aguas abajo de la cubeta, en m
  - 130 REM z' distancia vertical medida desde el labio de la cubeta hasta el remanso que se produce en el cauce, en m
  - 140 REM g aceleración de la gravedad, en m/s<sup>2</sup>
  - 150 REM VENT velocidad de entrada de chorro en la superficie del agua, en m/s
  - 170 REM Rc resistencia a la compresión de la roca en estado saturado, en kg/cm<sup>2</sup>
  - 180 REM br dimensión perpendicular al flujo, del paralelepípedo que representa el tamaño promedio de las rocas fracturadas, en m
  - 220 REM Cr dimensión vertical de un paralelepípedo que representa el coeficiente que toma en cuenta la influencia del sedimento en suspensión, cuando el flujo no transporta sedimento m'=1 y cuando si lo hace m'=1.6
  - 230 REM m' coeficiente que toma en cuenta la variación de la velocidad, para condiciones naturales n'=4 y para ensayos realizados en laboratorio n'=2.25
  - 240 REM n' ángulo de entrada del chorro en la superficie del agua, en grados
  - 250 REM A tamaño promedio de las rocas fracturadas, en m
  - 300 REM P1 peso específico de la partícula, en kg/m<sup>3</sup>
  - 320 REM P peso específico del flujo, en kg/m<sup>3</sup>
  - 330 REM AIR porcentaje de aire que el chorro introduce, fig.3.24
  - 340 REM d tirante del flujo, en m
  - 350 REM Pm coeficiente de minorización de la velocidad crítica permisible del suelo Vc; toma valores entre 0.7 y 0.8
  - 360 REM V velocidad media del flujo en la cubeta, en m/s
  - 370 REM Tm parámetro de Matsman, definido en la fig. 3.26

VARIABLES DE SALIDA

- Se proporciona con la instrucción LPRINT
- 430 REM t1 profundidad del cono de socavación, en m

VARIABLES DEL PROGRAMA

- 460 REM Vc velocidad crítica permisible del suelo, en m/s
- 470 REM hd colchón de agua característico para cada tipo de suelo, en m
- 480 REM Zm distancia de recorrido del chorro segun Mirtsjuslava, fig.3.23
- 490 REM N parámetro utilizado por Matsman
- 500 REM P2 peso específico del agua con aireación, en kg/m<sup>3</sup>
- 510 REM Rf límite estadístico de la resistencia al desprendimiento de bloques fracturados, cuando no existe material cementante, Rf=.002Rc, en kg/cm<sup>2</sup>

\*\*\*\*\* (1) LECTURA DE DATOS \*\*\*\*\*

```

590 INPUT "q=",Q
600 INPUT "t2=",T2
610 INPUT "z'=",Z
620 INPUT "g=",G
630 INPUT "VENT=",VENT
640 INPUT "Rc=",R
650 INPUT "br=",B
660 INPUT "Cr=",C
670 INPUT "m'=",M
680 INPUT "n'=",N1
690 INPUT "A=",A1
700 INPUT "P1=",P1
710 INPUT "P=",P
720 INPUT "AIR=",AIR
730 INPUT "d=",D
740 INPUT "Pm=",PM
750 INPUT "V=",V
760 INPUT "Tm=",TM
770 REM
780 REM
790 REM ***** (2) CALCULOS HIDRAULICOS*****
800 REM
810 A=A1*3.1416/180
820 RF= .002*RC
830 P2 = AIR*P/100
840 VC= (((2*G*M)/(P2*N1))*(((B^2)*(R+C*(P1-P2)))/((SIN(A))*(.6*B^2+.2*C^2))))^
5
850 HD = Q/(VC*PM)
860 ZM= Z'+D+(V^2/(2*G))-T2
870 N= (2*ZM)/D
880 T1 = TM*D+HD
890 REM
900 REM ===== (3) IMPRESION DE RESULTADOS*****
910 REM
920 LPRINT
930 LPRINT" PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCAVACION CON EL METODO DE MATSMAN"
940 LPRINT
950 LPRINT" VARIABLES DE ENTRADA"
960 LPRINT USING" q = ###.## m3/s/m";Q
970 LPRINT USING" t2 = ###.## m";T2
980 LPRINT USING" z' = ###.## m ";Z
990 LPRINT USING" g = ###.### m/s2";G
1000 LPRINT USING" VENT = ###.### m/s";VENT
1010 LPRINT USING" Rf = ####.### kg/cm2";R
1020 LPRINT USING" br = ###.## m";B
1030 LPRINT USING" Cr = ###.## m";C
1040 LPRINT USING" m' = ###.## ";M
1050 LPRINT USING" n' = ###.## ";N1
1060 LPRINT USING" A = ###.### grados";A1
1070 LPRINT USING" P1 = ###.## kg/m3";P1
1080 LPRINT USING" P = ###.## kg/m3";P
1090 LPRINT USING" AIR = ###.## %";AIR
1100 LPRINT USING" d = ###.## m ";D
1110 LPRINT USING" Pm = ###.## ";PM
1120 LPRINT USING" V = ###.## m/s";V
1130 LPRINT USING" HD = ###.### m";HD
1140 LPRINT USING" ZM = ###.### ";ZM
1150 LPRINT USING" N = ###.### ";N
1160 LPRINT USING" Tm = ###.### ";TM
1170 LPRINT
1180 LPRINT" VARIABLES DE SALIDA"
1190 LPRINT USING" t1 = ###.##.m";T1

```

```
1200 LPRINT
1210 REM
1220 REM ***** (4) CALCULOS ADICIONALES *****
1230 REM
1240 INPUT "QUIERE DEJAR DE ITERAR, SI=9".X
1250 IF X=9 THEN GOTO 1270
1260 GOTO 590
1270 END
1280 LPRINT
```

PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCAVACION CON EL METODO DE MATSMAN

VARIABLES DE ENTRADA

```
q = 65.93 m3/s/m
t2 = 1.77 m
z' = 5.00 m
g = 9.810 m/s2
VENT = 38.010 m/s
Rf = 0.000 kg/cm2
br = 0.30 m
Cr = 0.30 m
m' = 2.00
n' = 4.00
A = 19.180 grados
P1 = 2250.00 kg/m3
P = 1000.00 kg/m3
AIR = 78.00 %
d = 1.77 m
Pm = 0.75
V = 37.17 m/s
HD = 19.136 m
ZM = 5.000 m
N = 5.650
Tm = 4.000
```

VARIABLES DE SALIDA

```
t1 = 26.22.m
```

```

10 REM
20 REM ***** TABLA 3.15 SOCACION, VIZGO *****
30 REM
40 REM          PROGRAMA SOCVIZGO.BAS
50 REM          VERSION DIC 1991,SGA
60 REM
70 REM          V A R I A B L E S   D E   E N T R A D A
80 REM
90 REM          Se proporciona con la instrucción INPUT
100 REM q      gasto unitario, en m3/s/m
110 REM Zo     distancia entre el nivel de aguas máximas y el nivel del remanso,
120 REM          en m
130 REM Kv     coeficiente que se valora experimentalmente y que depende del
140 REM          ángulo de incidencia del chorro y del tipo de suelo, tabla 2.6
150 REM g      aceleración de la gravedad, en m/s2
160 REM VENT   velocidad de entrada del chorro en la superficie del agua,
170 REM          en m/s
180 REM
190 REM          V A R I A B L E S   D E   S A L I D A
200 REM
210 REM          Se proporciona con la instrucción LPRINT
220 REM t1     profundidad del cono de socavación, en m
230 REM
240 REM          V A R I A B L E S   D E L   P R O G R A M A
250 REM
260 REM bo     espesor del chorro en el punto de incidencia sobre el nivel
270 REM          del agua, en m
280 REM Av     factor que toma en cuenta la aeración del chorro
290 REM
300 REM ***** (1) LECTURA DE DATOS*****
310 REM
310 INPUT "q=",Q
320 INPUT "Zo=",ZO
330 INPUT "Kv=",K
340 INPUT "g=",G
350 INPUT "VENT=",V
360 REM
370 REM ***** (2) CALCULOS HIDRAULICOS*****
380 REM
390 BO= .8*(Q/V)
400 AV= (((G*BO)^.5)/V)^.2
410 T1= AV*K*((Q*ZO^.5)^.5)
420 REM
430 REM ***** (3) IMPRESION DE RESULTADOS*****
440 REM
450 LPRINT
460 LPRINT" PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCACION CON EL METODO DE VIZGO".
470 LPRINT
480 LPRINT"          VARIABLES DE ENTRADA"
490 LPRINT USING"          q = ###.## m3/s/m";Q
500 LPRINT USING"          Zo = ###.## m";ZO
510 LPRINT USING"          Kv = ###.##";K
520 LPRINT USING"          g = ###.## m/s2";G
530 LPRINT USING"          VENT= ###.## m/s";V
540 LPRINT
550 LPRINT"          VARIABLES DE SALIDA"
560 LPRINT USING"          t1 = ###.## m";T1
570 LPRINT
580 REM
590 REM ***** (4) CALCULOS ADICIONALES*****
600 REM
610 INPUT "QUIERE DEJAR DE ITERAR, SI=9",X
620 IF X=9 THEN GOTO 640
630 GOTO 310
640 END
650 LPRINT

```

PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCACION CON EL METODO DE VIZGO

```

VARIABLES DE ENTRADA
q = 65.93 m3/s/m
Zo = 132.20 m
Kv = 2.10
g = 9.81 m/s2
VENT= 38.01 m/s

```

```

VARIABLES DE SALIDA
t1 = 36.26 m

```

10 REM \*\*\*\*\* TABLA 3.16 SOCAVACION, STUDENICHNIKOV \*\*\*\*\*

40 REM PROGRAMA SOCSTUDENICH.BAS  
 50 REM VERSION DIC 1991,SGA

70 REM V A R I A B L E S D E E N T R A D A

90 REM Se proporciona con la instrucción INPUT  
 100 REM q gasto unitario, en m<sup>3</sup>/s/m  
 110 REM Zo distancia entre el nivel de aguas máximas y el nivel del  
 120 REM remanso, en m  
 130 REM ksb factor que toma en cuenta la disposición geométrica de la  
 140 REM estructura terminal en m  
 150 REM Dp diámetro medio de las partículas, en m  
 160 REM ns coeficiente de aeración  
 170 REM g aceleración de la gravedad, en m/ s<sup>2</sup>  
 180 REM T distancia entre el nivel de aguas máximas y el labio de la  
 190 REM cubeta de lanzamiento, en m  
 200 REM d tirante del flujo, en m  
 210 REM Ho carga hidráulica sobre la cresta vertedora  
 220 REM B ancho de la cubeta de lanzamiento, en m  
 230 REM Lv longitud de vuelo del flujo, en m  
 190 REM E ángulo de divergencia del chorro, en grados

250 REM V A R I A B L E S D E S A L I D A

270 REM Se proporciona con la instrucción LPRINT  
 280 REM t1 profundidad del cono de socavación, en m

300 REM V A R I A B L E S D E L P R O G R A M A

320 REM dc tirante crítico del flujo, en m  
 330 REM L coeficiente de velocidad  
 340 REM S dispersión del chorro

360 REM \*\*\*\*\* (1) LECTURA DE DATOS\*\*\*\*\*

290 REM  
 370 INPUT "q=",Q  
 380 INPUT "Zo=",ZO  
 390 INPUT "ksb=",KSB  
 400 INPUT "Dp=",DP  
 410 INPUT "ns=",NS  
 420 INPUT "g =",G  
 430 INPUT "T=",T  
 440 INPUT "d=",D  
 450 INPUT "Ho=",HO  
 460 INPUT "B=",B  
 470 INPUT "Lv=",LV  
 480 INPUT "E=",E1

500 REM \*\*\*\*\* (2) CALCULOS HIDRAULICOS\*\*\*\*\*

510 REM  
 520 DC=(Q^2/G)^(1/3)  
 530 E=E1\*3.1416/180  
 540 S=B/(B+LV\*SIN(E))  
 550 L =1-.0155\*((T-D)/HO)  
 560 T1 =KSB\*(3.4+.45\*(ZO/DC)\*L^2\*NS)\*((Q\*S)/(1.15\*G\*.5\*DP\*.25))

580 REM \*\*\*\*\* (3) IMPRESION DE RESULTADOS\*\*\*\*\*

600 LPRINT  
 610 LPRINT" PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCAVACION CON EL METODO DE STUDENICHNIKOV"  
 620 LPRINT  
 630 LPRINT" VARIABLES DE ENTRADA"  
 640 LPRINT USING " q = ###.## m<sup>3</sup>/s/m":Q  
 650 LPRINT USING " Zo = ###.## m":ZO  
 660 LPRINT USING " ksb = ###.## ":KSB  
 670 LPRINT USING " Dp = ###.## m":DP  
 680 LPRINT USING " ns = ###.## ":NS  
 690 LPRINT USING " g = ###.## m/s<sup>2</sup>":G  
 700 LPRINT USING " T = ###.## m":T  
 710 LPRINT USING " d = ###.## m":D  
 720 LPRINT USING " Ho = ###.## ":HO  
 730 LPRINT USING " B = ###.## m":B  
 740 LPRINT USING " Lv = ###.## m":LV  
 750 LPRINT USING " E = ###.## grados":E1

```

760 LPRINT
770 LPRINT"          VARIABLES DE SALIDA"
780 LPRINT USING"          t1 = ###.## m";T1
790 LPRINT
800 REM
810 REM.***** (4) CALCULOS ADICIONALES*****
820 REM
830 INPUT "QUIERE DEJAR DE ITERAR, SI=9".X
840 IF X=9 THEN GOTO 860
850 GOTO 370
860 END
870 LPRINT

```

PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCACION CON EL METODO DE STUDENICHNIKOV

```

          VARIABLES DE ENTRADA
q = 65.93 m3/s/m
Zo = 132.20 m
ksb = 0.56
Dp = 0.30 m
ns = 1.00
g = 9.81 m/s2
T = 129.00 m
d = 1.77 m
Ho = 18.00
B = 45.50 m
Lv = 64.00 m
E = 5.00 grados

```

```

          VARIABLES DE SALIDA
t1 = 118.28 m

```

```

10 REM
20 REM ***** TABLA 3.17 SOCAVACION, DODDIAH *****
30 REM
40 REM          PROGRAMA SOCDODDIAH.BAS
50 REM          VERSION DIC 1991,SGA
60 REM
70 REM          V A R I A B L E S   D E   E N T R A D A
80 REM
90 REM          Se proporciona con la instrucción INPUT
100 REM          q      gasto unitario, en m3/s/m
110 REM          Zo     distancia entre el nivel de aguas máximas y el nivel del
120 REM          remanso, en m
130 REM          t2     profundidad del flujo en l remanso que se produce aguas
140 REM          abajo de la cubeta, en m
150 REM          D      diámetro de las partículas, en m
160 REM          g      aceleración de la gravedad, en m/s2
170 REM          P1     peso específico de la partícula, en kg/m3
180 REM          P      peso específico del flujo, en kg/m3
190 REM          AIR    porcentaje de aire que el chorro introduce, fig.3.24
200 REM
210 REM          V A R I A B L E S   D E   S A L I D A
220 REM
230 REM          Se proporciona con la instrucción LPRINT
240 REM          t1     profundidad del cono de socavación, en m
250 REM
260 REM          V A R I A B L E S   D E L   P R O G R A M A
270 REM
280 REM          P2     peso específico del agua con aireación, en kg/m3
290 REM          w      velocidad de caída del material, en m/s
300 REM
310 REM ***** (1) LECTURA DE DATOS*****
270 REM
320 INPUT "q=",Q
330 INPUT "Zo=",Z
340 INPUT "t2=",T2
350 INPUT "D=",D
360 INPUT "g=",G
370 INPUT "P1=",P1
380 INPUT "P=",P
390 INPUT "AIR=", AIR
400 REM
410 REM ***** (2) CALCULOS HIDRAULICOS*****
420 REM
430 P2= AIR*P/100
440 W= (((2*G*(P1-P2))/(1.75*P2))*D)^.5
450 T1= T2+((2*T2)/3*(Q/Z*W)^(2/3)*((Z/T2)^2)^(Q/Z*W)^(1/6))
460 REM
470 REM ***** (3) IMPRESTON DE RESULTADOS*****
480 REM
490 LPRINT
500 LPRINT"          PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCAVACION CON EL METODO DE DODDIAH"
510 LPRINT
520 LPRINT"          VARIABLES DE ENTRADA"
530 LPRINT USING"          q = ###.## m3/s/m";Q
540 LPRINT USING"          Zo = ###.## m";Z
550 LPRINT USING"          t2 = ###.## m";T2
560 LPRINT USING"          D = ###.## m";D
570 LPRINT USING"          g = ###.## m/s2";G
580 LPRINT USING"          P1 =###.## kg/m3";P1
590 LPRINT USING"          P =###.## kg/m3";P
600 LPRINT USING"          AIR = ###.## %";AIR
610 LPRINT
620 LPRINT"          VARIABLES DE SALIDA"
630 LPRINT USING"          t1 = ###.## m";T1
640 LPRINT
650 REM
660 REM ***** (4) CALCULOS ADICIONALES*****
670 REM
680 INPUT "QUIERE DEJAR DE ITERAR, SI=9",X
690 IF X=9 THEN GOTO 710
700 GOTO 320
710 END
720 LPRINT

```

PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCAVACION CON EL METODO DE DODDIAH

```

          VARIABLES DE ENTRADA
q = 65.93 m3/s/m
Zo = 132.20 m
t2 = 1.77 m
D = 0.30 m
g = 9.81 m/s2
P1 =2250.00 kg/m3
P =1000.00 kg/m3
AIR = 78.00 %

```

```

          VARIABLES DE SALIDA
t1 = 10.12 m

```

```

10 REM
20 REM ***** TABLA 3.18 SOCAVACION, MASON Y KANAPATHYPILLY *****
30 REM
40 REM
50 REM          PROGRAMA SOCMASON Y KANAPAT.BAS
60 REM          VERSION DIC 1991,SGA
70 REM
80 REM          V A R I A B L E S   D E   E N T R A D A
90 REM
100 REM      Se proporciona con la instrucción INPUT
110 REM      q      gasto unitario, en m3/s/m
120 REM      Zo     distancia entre el nivel de aguas máximas y el nivel del
130 REM      t2     profundidad del flujo en el remanso que se produce aguas abajo
140 REM      de la cubeta deflectora, en m
150 REM      D     diámetro de las partículas, en m
160 REM      g     aceleración de la gravedad, m/s2
170 REM
180 REM          V A R I A B L E S   D E   S A L I D A
190 REM
200 REM      Se proporciona con la instrucción LPRINT
210 REM      t1     profundidad del cono de socavación, en m
220 REM
230 REM          V A R I A B L E S   D E L   P R O G R A M A
240 REM
250 REM      KM,FM,EM,AM,BM,CM coeficientes definidos en la ec. 3.67
260 REM
270 REM      ***** (1) LECTURA DE DATOS*****
280 REM
280 INPUT "q=",Q
290 INPUT "Zo=",ZO
300 INPUT "t2=",T2
310 INPUT "D=",D
320 INPUT "g=",G
330 REM
340 REM      ***** (2) CALCULOS HIDRAULICOS*****
350 REM
360 KM= (6.42-(3.1*ZO^.1))
370 FM =.3
380 EM =.15
390 AM =(.6-ZO/300)
400 BM =(.15+ZO/200)
410 CM =.1
420 T1 =(KM)*((Q*AM*ZO*BM*T2*EM)/(G*FM*D*CM))
430 REM
440 REM      ***** (3) IMPRESION DE RESULTADOS*****
450 REM
460 LPRINT
470 LPRINT" PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCAVACION CON EL METODO DE MASON"
480 LPRINT" " Y KANAPATHYPILLY"
490 LPRINT
500 LPRINT"          VARIABLES DE ENTRADA"
510 LPRINT USING"      q = ###.## m3/s/m";Q
520 LPRINT USING"      Zo = ###.## m";ZO
530 LPRINT USING"      t2 = ###.## m";T2
540 LPRINT USING"      D = ###.## m";D
550 LPRINT USING"      g = ###.## m/s2";G
560 LPRINT
570 LPRINT"          VARIABLES DE SALIDA"
580 LPRINT USING"      t1 = ###.## m";T1
590 LPRINT
600 REM
610 REM      ***** (4) CALCULOS ADICIONALES*****
620 REM
630 INPUT "QUIERE DEJAR DE ITERAR, SI=9",X
640 IF X=9 THEN GOTO 660
650 GOTO 280
660 END
670 LPRINT

```

PROFUNDIDAD DEL CONO DE SOCAVACION CON EL METODO DE MASON  
Y KANAPATHYPILLY

VARIABLES DE ENTRADA  
q = 65.93 m3/s/m  
Zo = 132.20 m  
t2 = 1.77 m  
D = 0.30 m  
g = 9.81 m/s2

VARIABLES DE SALIDA  
t1 = 86.73 m

TABLA 3.19 CALCULOS NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Ensayo	$X_1$	$X_2$	Y
1	máximo	máximo	$Y_1$
2	máximo	mínimo	$Y_2$
3	mínimo	máximo	$Y_3$
4	mínimo	mínimo	$Y_4$
5	medio	medio	$Y_5$
6	medio	medio	$Y_6$
7	medio	medio	$Y_7$

TABLA 3.20 VALORES DE  $Z_c$  y  $t_c$  PARA DIFERENTES NIVELES DE CONFIANZA

Niv Conf	$Z_c$	$t_c$
99%	2.58	2.75
97.5%	2.24	2.11
95%	1.96	1.74
90%	1.645	1.33
85%	1.439	1.096
80%	1.28	0.863
75%	1.151	0.776
70%	1.038	0.689
65%	0.935	0.473
60%	0.842	0.257
55%	0.755	0.128
50%	0.674	

TABLA 3-21A CALCULOS PARA CORRELACIONAR  $Y2/D-t_s/Z_0$  A TRAVES DEL PARAMETRO  $FR = 0.1$ , UTILIZANDO EL CRITERIO DE MIRTSJUHLAVA, (SUELOS GRANULARES), PARA CALCULAR  $t_s$ .

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)													
DATOS	$Y2/D$	$Y2$	$D$	$Z_0$	$q$	$t_s$	$t_s/Z_0$	$X1$	$Y$	$X1^2$	$X1 Y$	$t_s/Z_0$	Error	$e^2$	$(e-ei)^2$	$Se$	$Se$													
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m3/s/m)	(m)	TEORICO					CALCULADO	e																	
1	1.00	2.000	2.00	20.00	0.89	0.81	0.040	0.0000	-1.3979	0.00000	0.00000	0.02889	0.01	0.00	0.00	0.17	-0.09													
2	5.000	2.000	0.40	20.00	0.89	1.43	0.070	0.6990	-1.1549	0.48856	-0.80724	0.05810	0.01	0.00	0.00	0.20	-0.06													
3	10.000	2.000	0.20	20.00	0.89	1.89	0.090	1.0000	-1.0458	1.00000	-1.04576	0.07850	0.01	0.00	0.00	0.22	-0.04													
4	5.000	5.000	1.00	20.00	3.50	3.29	0.160	0.6990	-0.7959	0.48856	-0.55630	0.05810	0.10	0.01	0.00	0.29	0.03													
5	10.00	5.000	0.50	20.00	3.50	4.46	0.220	1.0000	-0.6576	1.00000	-0.65758	0.07850	0.14	0.02	0.01	0.35	0.09													
6	50.00	5.000	0.10	20.00	3.50	3.50	0.470	1.6990	-0.3279	2.88650	-0.55710	0.15785	0.31	0.10	0.07	0.60	0.34													
7	100.00	5.000	0.05	20.00	3.50	13.03	0.650	2.0000	-0.1871	4.00000	-0.37417	0.21325	0.44	0.19	0.14	0.78	0.52													
8	5.00	10.000	2.00	20.00	9.90	5.96	0.300	0.6990	-0.5229	0.48856	-0.36548	0.05810	0.24	0.06	0.03	0.43	0.17													
9	10.00	10.000	1.00	20.00	9.90	8.28	0.410	1.0000	-0.3872	1.00000	-0.38722	0.07850	0.33	0.11	0.08	0.54	0.28													
10	100.00	2.000	0.10	20.00	9.90	25.43	1.270	2.0000	0.1038	4.00000	0.20761	0.21325	1.06	1.12	1.00	1.40	1.14													
11	1.00	2.000	2.00	50.00	0.89	0.67	0.020	0.0000	-1.6990	0.00000	0.00000	0.02889	-0.01	0.00	0.00	0.15	-0.11													
12	5.00	2.000	0.40	50.00	0.89	1.51	0.030	0.6990	-1.5229	0.48856	-1.06445	0.05810	-0.03	0.00	0.01	0.16	-0.10													
13	10.00	2.000	0.20	50.00	0.89	1.96	0.040	1.0000	-1.3979	1.00000	-1.39794	0.07850	-0.04	0.00	0.01	0.17	-0.09													
14	50.00	2.000	0.04	50.00	0.89	3.93	0.080	1.6990	-1.0969	2.88650	-1.86362	0.15785	-0.08	0.01	0.02	0.21	-0.05													
15	1.00	5.000	0.20	50.00	3.50	7.04	0.140	0.0000	-0.8539	0.00000	0.00000	0.02889	0.11	0.01	0.00	0.27	0.01													
16	5.00	5.000	1.00	50.00	3.50	3.57	0.070	0.6990	-1.1549	0.48856	-0.80724	0.05810	0.01	0.00	0.00	0.20	-0.06													
17	10.00	5.000	0.50	50.00	3.50	4.75	0.100	1.0000	-1.0000	1.00000	-1.00000	0.07850	0.02	0.00	0.00	0.23	-0.03													
18	50.00	5.000	0.10	50.00	3.50	8.56	0.170	1.6990	-0.7696	2.88650	-1.30744	0.15785	0.01	0.00	0.00	0.30	0.04													
19	100.00	5.000	0.05	50.00	3.50	13.37	0.270	2.0000	-0.5686	4.00000	-1.13727	0.21325	0.06	0.00	0.00	0.40	0.14													
20	5.00	10.000	2.00	50.00	9.90	6.74	0.130	0.6990	-0.8861	0.48856	-0.61933	0.05810	0.07	0.01	0.00	0.26	0.00													
21	10.00	10.000	1.00	50.00	9.90	9.07	0.180	1.0000	-0.7447	1.00000	-0.74473	0.07850	0.10	0.01	0.00	0.31	0.05													
22	100.00	10.000	0.10	50.00	9.90	26.22	0.520	2.0000	-0.2840	4.00000	-0.56799	0.21325	0.31	0.09	0.06	0.65	0.39													
23	5.00	2.000	0.40	100.00	0.89	1.54	0.150	0.6990	-0.8239	0.48856	-0.57589	0.05810	0.09	0.01	0.00	0.28	0.02													
24	10.00	2.000	0.20	100.00	0.89	2.00	0.020	1.0000	-1.6990	1.00000	-1.69907	0.07850	-0.06	0.00	0.01	0.15	-0.11													
25	50.00	2.000	0.04	100.00	0.89	3.96	0.040	1.6990	-1.3979	2.88650	-2.37506	0.15785	-0.12	0.01	0.03	0.17	-0.09													
26	5.00	5.000	1.00	100.00	3.50	3.71	0.030	0.6990	-1.5229	0.48856	-1.06445	0.05810	-0.03	0.00	0.01	0.16	-0.10													
27	10.00	5.000	0.50	100.00	3.50	4.88	0.050	1.0000	-1.3010	1.00000	-1.30103	0.07850	-0.03	0.00	0.01	0.18	-0.08													
28	50.00	5.000	0.10	100.00	3.50	9.78	0.097	1.6990	-1.0132	2.88650	-1.72144	0.15785	-0.06	0.00	0.01	0.23	-0.04													
29	100.00	5.000	0.05	100.00	3.50	13.45	0.130	2.0000	-0.8861	4.00000	-1.77211	0.21325	-0.08	0.01	0.02	0.26	0.00													
30	5.00	10.000	2.00	100.00	9.90	7.15	0.072	0.6990	-1.1427	0.48856	-0.79869	0.05810	0.01	0.00	0.00	0.21	-0.06													
31	10.00	10.000	1.00	100.00	9.90	9.47	0.095	1.0000	-1.0223	1.00000	-1.02228	0.07850	0.02	0.00	0.00	0.23	-0.04													
32	100.00	10.000	0.10	100.00	9.90	26.62	0.270	2.0000	-0.5686	4.00000	-1.13727	0.21325	0.06	0.00	0.00	0.40	0.14													
33	1.00	2.000	2.00	150.00	0.89	0.93	0.006	0.0000	-2.2218	0.00000	0.00000	0.02889	-0.02	0.00	0.01	0.14	-0.13													
34	5.00	2.000	0.40	150.00	0.89	1.55	0.010	0.6990	-2.0000	0.48856	-1.39794	0.05810	-0.05	0.00	0.01	0.14	-0.12													
35	10.00	2.000	0.20	150.00	0.89	2.02	0.013	1.0000	-1.8861	1.00000	-1.88606	0.07850	-0.07	0.00	0.01	0.15	-0.12													
36	1.00	2.000	0.04	150.00	3.50	7.24	0.050	0.0000	-1.3010	0.00000	0.00000	0.02889	0.02	0.00	0.00	0.18	-0.08													
37	5.00	5.000	1.00	150.00	3.50	3.78	0.025	0.6990	-1.6021	0.48856	-1.11979	0.05810	-0.03	0.00	0.01	0.16	-0.11													
38	10.00	5.000	0.50	150.00	3.50	4.94	0.030	1.0000	-1.5229	1.00000	-1.52208	0.07850	-0.05	0.00	0.01	0.16	-0.10													
39	50.00	5.000	0.10	150.00	3.50	9.84	0.070	1.6990	-1.1549	2.88650	-1.96214	0.15785	-0.09	0.01	0.02	0.20	-0.06													
40	100.00	5.000	0.05	150.00	3.50	13.55	0.090	2.0000	-1.0458	4.00000	-2.09151	0.21325	-0.12	0.02	0.03	0.22	-0.04													
41	5.00	10.000	2.00	150.00	9.90	7.32	0.050	0.6990	-1.3010	0.48856	-0.90938	0.05810	-0.01	0.00	0.00	0.18	-0.08													
42	10.00	10.000	1.00	150.00	9.90	9.67	0.064	1.0000	-1.1938	1.00000	-1.19382	0.07850	-0.01	0.00	0.00	0.20	-0.07													
43	50.00	10.000	0.50	150.00	9.90	12.93	0.086	1.6990	-1.0655	2.88650	-1.81026	0.15785	-0.07	0.01	0.02	0.22	-0.05													
44	100.00	10.000	0.10	150.00	9.90	26.79	0.180	2.0000	-0.7447	4.00000	-1.48945	0.21325	-0.03	0.00	0.01	0.31	0.05													
														48.20	-46.77	70.07	-43.90	2.46	1.82	1.68										

NOTAS: (6) de ec (3.30)  
 (7) de ec (2.50) y tabla 3.22  
 (9)  $X1 = \log(Y2/D)$   
 (10)  $Y = \log(t_s/Z_0)$   
 (13) de ec (3.33)  
 (14) (8)-(13)

$A_0 = -1.5392$   
 $a_0 = 0.028893$   
 $A1 = 0.434046$   
 $0.06$   
 $med e$   
 $0.02$   
 $Se^2$   
 $0.13$   
 $Se$   
 $0.20$   
 $des e$

TABLA 3.21B CALCULOS PARA CORRELACIONAR  $Y_2/D-t_s/Z_0$  A TRAVES DEL PARAMETRO  $FR = 0.1$ , UTILIZANDO EL CRITERIO DE MIRTSJUSLAVA, (SUELOS GRANULARES), PARA CALCULAR  $t_s$ .

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
DATOS	$Y_2/D$	$Y_2$	$D$	$Z_0$	$q$	$t_s$	$t_s/Z_0$	$X_1$	$Y$	$X_1^2$	$X_1 Y$	$t_s/Z_0$	Error	$e^2$	$(e-e_i)^2$	$Se^+$	$Se^-$
	(m)	(m)	(m)	(m)	( $\#3/s/m$ )	(m)	TEORICO					CALCULADO	e				
1	1.00	2.00	2.00	20.00	8.86	3.59	1.79	0.0000	0.2529	0.00000	0.00000	2.05490	-0.26	0.07	33.63	8.92	-7.13
2	5.000	2.00	0.40	20.00	8.86	9.79	0.49	0.6990	-0.3098	0.48856	-0.21654	4.20767	-3.72	13.82	5.51	7.62	-6.43
3	10.000	2.00	0.20	20.00	8.86	14.44	0.72	1.0000	-0.1427	1.00000	-0.14267	5.72916	-5.01	25.09	1.11	7.85	-6.13
4	50.000	2.00	0.04	20.00	8.86	34.05	1.70	1.6990	0.2304	2.88650	0.39153	11.73119	-10.03	100.62	15.74	8.83	-5.43
5	5.00	5.00	1.00	20.00	35.02	21.69	1.08	0.6990	0.0334	0.48856	0.02336	4.20767	-3.13	9.78	8.62	8.21	-6.43
6	10.00	5.00	0.50	20.00	35.02	33.30	1.67	1.0000	0.2227	1.00000	0.22272	5.72916	-4.06	16.48	4.02	8.80	-6.13
7	50.00	5.00	0.10	20.00	35.02	82.33	4.12	1.6990	0.6149	2.88650	1.04469	11.73119	-7.61	57.93	2.39	11.25	-5.43
8	100.00	5.00	0.05	20.00	35.02	119.07	5.95	2.0000	0.7745	4.00000	1.54903	15.97315	-10.02	100.46	15.67	13.08	-5.13
9	5.00	10.00	2.00	20.00	99.05	37.07	1.85	0.6990	0.2672	0.48856	0.18675	4.20767	-2.36	5.56	13.74	8.98	-6.43
10	10.00	10.00	1.00	20.00	99.05	60.30	3.02	1.0000	0.4800	1.00000	0.48001	5.72916	-2.71	7.34	11.26	10.15	-6.13
11	100.00	10.00	0.10	20.00	99.05	231.82	11.59	2.0000	1.0641	4.00000	2.12617	15.97315	-4.38	19.21	2.83	18.72	-5.13
12	5.00	2.00	0.40	50.00	8.86	10.50	0.21	0.6990	-0.6778	0.48856	-0.47375	4.20767	-4.00	15.98	4.27	7.34	-6.43
13	10.00	2.00	0.20	50.00	8.86	15.15	0.30	1.0000	-0.5229	1.00000	-0.52288	5.72916	-5.43	29.48	0.40	7.43	-6.13
14	50.00	2.00	0.04	50.00	8.86	34.76	0.70	1.6990	-0.1549	2.88650	-0.26317	11.73119	-11.03	121.69	24.67	7.83	-5.43
15	1.00	5.00	0.20	50.00	35.02	71.65	1.43	0.0000	0.1553	0.00000	0.00000	2.05490	-0.62	0.39	29.59	8.56	-7.13
16	5.00	5.00	1.00	50.00	35.02	24.48	0.49	0.6990	-0.3098	0.48856	-0.21654	4.20767	-3.72	13.82	5.51	7.62	-6.43
17	10.00	5.00	0.50	50.00	35.02	36.09	0.72	1.0000	-0.1427	1.00000	-0.14267	5.72916	-5.01	25.09	1.11	7.85	-6.13
18	50.00	5.00	0.10	50.00	35.02	85.12	1.70	1.6990	0.2304	2.88650	0.39153	11.73119	-10.03	100.62	15.74	8.83	-5.43
19	100.00	10.00	0.05	50.00	35.02	121.86	2.44	2.0000	0.3874	4.00000	0.77478	15.97315	-13.53	183.15	55.78	9.57	-5.13
20	5.00	10.00	2.00	50.00	99.05	44.98	0.90	0.6990	-0.0458	0.48856	-0.03198	4.20767	-3.31	10.94	7.60	8.03	-6.43
21	10.00	10.00	1.00	50.00	99.05	68.29	1.36	1.0000	0.1335	1.00000	0.13354	5.72916	-4.37	19.09	2.87	6.49	-6.13
22	100.00	10.00	0.10	50.00	99.05	239.73	4.79	2.0000	0.6803	4.00000	1.36067	15.97315	-11.18	125.06	26.20	11.92	-5.13
23	1.00	2.00	2.00	100.00	8.86	4.66	0.05	0.0000	-1.3010	0.00000	0.00000	2.05490	-2.00	4.02	16.48	7.18	-7.13
24	5.00	2.00	0.40	100.00	8.86	10.86	0.11	0.6990	-0.9586	0.48856	-0.67004	4.20767	-4.10	16.79	3.87	7.24	-6.43
25	10.00	2.00	0.20	100.00	8.86	15.50	0.16	1.0000	-0.7959	1.00000	-0.79588	5.72916	-5.57	31.02	0.25	7.29	-6.13
26	50.00	2.00	0.04	100.00	8.86	35.11	0.35	1.6990	-0.4559	2.88650	-0.77461	11.73119	-11.38	129.53	28.27	7.48	-5.43
27	5.00	5.00	1.00	100.00	35.02	25.94	0.26	0.6990	-0.5850	0.48856	-0.40892	4.20767	-3.95	15.58	4.48	7.39	-6.43
28	10.00	5.00	0.50	100.00	35.02	37.15	0.38	1.0000	-0.4202	1.00000	-0.42022	5.72916	-5.35	28.61	0.51	7.51	-6.13
29	50.00	5.00	0.10	100.00	35.02	86.54	0.86	1.6990	-0.0655	2.88650	-0.11129	11.73119	-10.87	118.18	23.11	7.99	-5.43
30	100.00	5.00	0.05	100.00	35.02	123.27	1.23	2.0000	0.0899	4.00000	0.17981	15.97315	-14.74	217.36	75.32	8.36	-5.13
31	5.00	10.00	2.00	100.00	99.05	48.97	0.49	0.6990	-0.3098	0.48856	-0.21654	4.20767	-3.72	13.82	5.51	7.62	-6.43
32	10.00	10.00	1.00	100.00	99.05	72.20	0.72	1.0000	-0.1427	1.00000	-0.14267	5.72916	-5.01	25.09	1.11	7.85	-6.13
33	50.00	10.00	0.50	100.00	99.05	105.06	1.05	1.6990	0.0212	2.88650	0.03600	11.73119	-10.68	114.09	21.31	8.18	-5.43
34	10.00	10.00	0.10	100.00	99.05	243.72	2.44	1.0000	0.3874	1.00000	0.38739	5.72916	-3.29	10.82	7.70	9.57	-6.13
									38.18	-1.32	54.60	3.74	-206.19	1726.60	476.19		

NOTAS: (6) de ec (3.30)  
 (7) de ec (2.50) y tabla 3.22  
 (9)  $X_1 = \log(Y_2/D)$   
 (10)  $Y = \log(t_s/Z_0)$   
 (13) de ec (3.33)  
 (14) (8)-(13)

$A_0 = .3198$   
 $a_0 = 2.0549$   
 $A_1 = 0.4453$   
 $-6.06$   
 $med e$   
 $Se^2$   
 $des e$   
 $Se$

TABLA 3.21C CALCULOS PARA CORRELACIONAR  $Y^2/D - t_s/Z_0$  A TRAVES DEL PARAMETRO  $FR = 0.1$ , UTILIZANDO EL CRITERIO DE MIRTSJUSLAVA, (SUELOS GRANULARES), PARA CALCULAR  $t_s$ .

(1) DATOS	(2) Y <sup>2</sup> /D (m)	(3) Y <sup>2</sup> (m)	(4) D (m)	(5) Z <sub>0</sub> (m)	(6) q (m <sup>3</sup> /s/m)	(7) t <sub>s</sub> (m)	(8) t <sub>s</sub> /Z <sub>0</sub> TEORICO	(9) X <sub>1</sub>	(10) Y	(11) X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	(12) X <sub>1</sub> Y	(13) t <sub>s</sub> /Z <sub>0</sub> CALCULADO	(14) Error e	(15) e <sup>2</sup>	(16) (e-ei) <sup>2</sup>	(17) Se+	(18) Se-		
1	1.00	2.00	2.00	20.00	88.59	31.42	1.57	0.0000	0.1959	0.00000	0.00000	2.91016	-1.34	1.8	65.90	21.48	-18.34		
2	5.000	2.00	0.40	20.00	88.59	93.43	4.67	0.6990	0.6693	0.48856	0.46783	7.03247	-2.36	5.6	83.54	24.58	-15.24		
3	10.000	2.00	0.20	20.00	88.59	139.90	7.00	1.0000	0.8451	1.00000	0.84510	10.28347	-3.28	10.8	101.23	26.91	-12.91		
4	50.000	2.00	0.04	20.00	88.59	336.01	16.80	1.6990	1.2253	2.88650	2.08176	24.85024	-8.05	64.8	219.87	36.71	-3.11		
5	1.00	5.00	0.20	20.00	350.18	552.27	27.61	0.0000	1.4411	0.00000	0.00000	2.91016	24.70	610.1	321.21	47.52	7.70		
6	5.00	5.00	1.00	20.00	350.18	205.61	10.58	0.6990	1.0245	0.48856	0.71608	7.03247	3.55	12.6	10.43	30.49	-9.33		
7	10.00	5.00	0.50	20.00	350.18	321.78	16.09	1.0000	1.2066	1.00000	1.20656	10.28347	5.81	33.7	0.94	36.00	-3.82		
8	50.00	5.00	0.10	20.00	350.18	812.04	40.60	1.6990	1.6005	2.88650	2.73284	24.85024	15.75	248.1	80.50	60.51	20.69		
9	100.00	5.00	0.05	20.00	350.18	1179.40	58.97	2.0000	1.7706	4.00000	3.54126	36.33808	22.63	512.2	251.36	78.88	39.06		
10	5.00	10.00	2.00	20.00	990.45	348.17	17.41	0.6990	1.2408	0.48856	0.86728	7.03247	10.38	107.7	13.0	37.32	-2.50		
11	10.00	10.00	1.00	20.00	990.45	580.51	29.03	1.0000	1.4628	1.00000	1.46285	10.28347	18.75	351.4	143.3	48.94	9.12		
12	50.00	10.00	0.50	20.00	990.45	909.09	45.45	1.6990	1.6575	2.88650	2.81610	24.85024	20.60	424.4	191.1	65.36	25.54		
13	100.00	10.00	0.10	20.00	990.45	2295.74	114.79	2.0000	2.0599	4.00000	4.11981	36.33808	70.45	6154.7	5137.2	134.70	94.68		
14	1.00	2.00	2.00	50.00	88.59	38.49	0.77	0.0000	-0.1135	0.00000	0.00000	2.91016	-2.14	4.6	79.5	20.68	-19.14		
15	5.00	2.00	0.40	50.00	88.59	10.50	0.21	0.6990	-0.6778	0.48856	-0.47375	7.03247	-6.82	46.5	185.0	20.12	-19.70		
16	10.00	2.00	0.20	50.00	88.59	146.98	2.94	1.0000	0.4683	1.00000	0.46835	10.28347	-7.34	53.9	199.4	22.85	-16.97		
17	50.00	2.00	0.04	50.00	88.59	343.08	6.86	1.6990	0.8363	2.88650	1.42089	24.85024	-17.99	323.6	613.4	26.77	-13.05		
18	1.00	5.00	0.20	50.00	350.18	580.24	11.60	0.0000	1.0645	0.00000	0.00000	2.91016	8.69	75.5	3.7	31.51	-8.31		
19	5.00	5.00	1.00	50.00	350.18	223.58	4.67	0.6990	0.6693	0.48856	0.46783	7.03247	-2.36	5.6	83.5	24.58	-15.24		
20	10.00	5.00	0.50	50.00	350.18	349.75	6.99	1.0000	0.8445	1.00000	0.84448	10.28347	-3.29	10.8	101.4	26.90	-12.92		
21	50.00	5.00	0.10	50.00	350.18	850.00	16.80	1.6990	1.2253	2.88650	2.08176	24.85024	-8.05	64.8	219.9	36.71	-3.11		
22	100.00	5.00	0.05	50.00	350.18	1207.36	24.15	2.0000	1.3829	4.00000	2.76583	36.33808	-12.19	148.5	359.7	44.06	4.24		
23	5.00	10.00	2.00	50.00	990.45	427.28	8.55	0.6990	0.9320	0.48856	0.65142	7.03247	1.52	2.3	27.7	28.46	-11.36		
24	10.00	10.00	1.00	100.00	990.45	659.62	32.98	1.0000	1.5183	1.00000	1.51825	10.28347	22.70	515.1	253.4	52.89	13.07		
25	100.00	10.00	0.10	100.00	990.45	2374.85	47.49	2.0000	1.6766	4.00000	3.35320	36.33808	11.15	124.4	19.1	67.40	27.58		
								26.69	26.23	39.36	33.96	169.44	9913.6	8765.2					

NOTAS: (6) de ec (3.30)  
 (7) de ec (2.50) y tabla 3.22  
 (9)  $X_1 = \log(Y^2/D)$   
 (10)  $Y = \log(t_s/Z_0)$   
 (13) de ec (3.33)  
 (14) (8)-(13)

$A_0 = 0.463917$   
 $A_0 = 2.910160$   
 $A_1 = 0.548222$   
 6.78 396.54 19.11  
 med e  $Se^2$  des e  
 19.91  
 Se

TABLA 3.22 CONSIDERACIONES DE CALCULO PARA VALUAR t.

<b>A. Criterio de Mirtsjusalava (suelos granulares)</b>		
$\mu = 2$ (prototipo)	$\gamma_o = 1000 \text{ kg/m}^3$	$V_o = (2 g Z_o)^{1/2}$
$\gamma_s = 2650 \text{ kg/m}^3$	$\theta_o = 30^\circ$	
<b>B. Criterio de Mirtsjusalava (suelos rocosos fracturados)</b>		
$m' = 1.0$	$R_f = 0$	$\theta_o = 30^\circ$
$n' = 4.0$	$\gamma_s = 2650 \text{ kg/m}^3$	
$b_r = c_r = D$	$\gamma_o = 1000 \text{ kg/m}^3$	
<b>C. Criterio de Jaeger</b>		
$D = 0.30 \text{ m}$		
<b>D. Criterio de Vizgo</b>		
$K_v = 2.10$		
<b>E. Criterio de Doddiah</b>		
$D = 0.30 \text{ m}$	$\gamma_o = 1000 \text{ kg/m}^3$	
$\gamma_s = 2250 \text{ kg/m}^3$	$\%_{\text{aire}} = 78.0$	
<b>F. Criterio de Martins</b>		
$D = 0.30 \text{ m}$		
$B = 45.50 \text{ m}$		
<b>G. Criterio de Mason y Kanapathypilli</b>		
$D = 0.30 \text{ m}$	$e_H = 0.15$	
$f_H = 0.3$	$c_H = 0.1$	

TABLA 3.23 PARAMETROS DE LAS ECUACIONES DE CALCULO DE LA SOCAVACION EN EN EL FOSO DISIPADOR AL PIE DE LAS CUBETAS DE LANZAMIENTO

Criterio	$F_r = 0.10$		$F_r = 1.0$		$F_r = 10.0$		Fig
	$a_0$	$a_1$	$a_0$	$a_1$	$a_0$	$a_1$	
1	0.0470	0.3481	0.4168	0.4315	3.7301	0.2764	3.4
2	0.0288	0.4304	0.4076	0.3124	2.9106	0.5482	3.2
3	0.0652	0.2873	0.3866	0.3063	7.0038	0.3971	3.6
4	0.1623	0.0803	0.7679	0.0485	2.3760	0.0310	3.8
5	0.0541	0.3182	0.2419	0.1564	0.7948	0.1403	3.10
6	0.0478	0.2131	0.1294	0.1552	0.3476	0.1261	3.12
7	0.2394	0.1178	0.5347	0.0251	1.2309	0.0836	3.14

Criterio	$D_c = .001$		$D_c = 0.01$		$D_c = 0.1$		Fig
	$a_0$	$a_1$	$a_0$	$a_1$	$a_0$	$a_1$	
1	0.7604	0.2834	1.5863	0.3394	5.3513	0.1743	3.5
2	0.3126	0.4943	0.6664	0.5431	2.2027	0.4566	3.3
3	1.1242	0.0238	1.9418	0.1883	5.9420	0.0175	3.7
4	0.8195	0.0376	1.5446	0.0095	2.7076	0.0496	3.9
5	0.2809	0.2419	0.5631	0.1751	0.6748	0.3473	3.11
6	0.1072	0.1278	0.2408	0.1015	0.3574	0.1251	3.13
7	0.5581	0.0749	0.9767	0.0401	1.7378	0.0776	3.15

$$\left[ \frac{y_s}{Z_0} \right] = a_0 \left[ \frac{y_2}{D} \right]^{a_1}$$
  

$$F_r = \frac{q}{g^{1/2} y_2^{3/2}} \quad ; \quad D_c = \frac{q^2}{g (Z_0 + y_2)^3}$$

Criterios:

- |                                     |                            |
|-------------------------------------|----------------------------|
| (1) Mirtsjuslava, suelos rocosos    | (5) Jaeger                 |
| (2) Mirtsjuslava, suelos granulares | (6) Martins                |
| (3) Doddiah                         | (7) Mason y Kanapathypilly |
| (4) Vizgo                           |                            |

TABLA 3.24 ERROR MEDIO Y SU DESVIACION ESTANDAR AL CORRELACIONAR  
Fr - ao A TRAVES DEL PARAMETRO Fr = 0.10, 1.0, 10.0

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	
DATOS	Fr	ao	X1	Y	X1 <sup>2</sup>	X1 Y	ao	Error	e <sup>2</sup>	(e-ei) <sup>2</sup>	Se+	Se-	
	TEORICO						CALCULADO						
1	0.10	0.0470	-1.0000	-1.3279	1.00000	1.32790	0.07118	-0.02	0.00	0.10	1.94	-1.85	
2	0.10	0.0288	-1.0000	-1.5406	1.00000	1.54061	0.07118	-0.04	0.00	0.11	1.93	-1.87	
3	0.10	0.0652	-1.0000	-1.1858	1.00000	1.18575	0.07118	-0.01	0.00	0.09	1.96	-1.83	
4	0.10	0.1623	-1.0000	-0.7897	1.00000	0.78968	0.07118	0.09	0.01	0.04	2.06	-1.73	
5	0.10	0.0541	-1.0000	-1.2668	1.00000	1.26680	0.07118	-0.02	0.00	0.10	1.95	-1.84	
6	0.10	0.0478	-1.0000	-1.3206	1.00000	1.32057	0.07118	-0.02	0.00	0.10	1.94	-1.85	
7	0.10	0.2394	-1.0000	-0.6209	1.00000	0.62088	0.07118	0.17	0.03	0.02	2.14	-1.66	
8	1.00	0.4168	0.0000	-0.3801	0.00000	0.00000	0.35912	0.06	0.00	0.06	2.31	-1.48	
9	1.00	0.4076	0.0000	-0.3898	0.00000	0.00000	0.35912	0.05	0.00	0.06	2.30	-1.49	
10	1.00	0.3866	0.0000	-0.4127	0.00000	0.00000	0.35912	0.03	0.00	0.07	2.28	-1.51	
11	1.00	0.7679	0.0000	-0.1147	0.00000	0.00000	0.35912	0.41	0.17	0.01	2.66	-1.13	
12	1.00	0.2419	0.0000	-0.6164	0.00000	0.00000	0.35912	-0.12	0.01	0.17	2.14	-1.66	
13	1.00	0.1294	0.0000	-0.8881	0.00000	0.00000	0.35912	-0.23	0.05	0.28	2.03	-1.77	
14	1.00	0.5347	0.0000	-0.2719	0.00000	0.00000	0.35912	0.18	0.03	0.01	2.43	-1.36	
15	10.00	3.7301	1.0000	0.5717	1.00000	0.57172	1.81174	1.92	3.68	2.63	5.63	1.83	
16	10.00	2.9106	1.0000	0.4640	1.00000	0.46398	1.81174	1.10	1.21	0.64	4.81	1.01	
17	10.00	7.0038	1.0000	0.8453	1.00000	0.84533	1.81174	5.19	26.96	23.97	8.90	5.11	
18	10.00	2.3760	1.0000	0.3758	1.00000	0.37585	1.81174	0.56	0.32	0.07	4.27	0.48	
19	10.00	0.7948	1.0000	-0.0997	1.00000	-0.09974	1.81174	-1.02	1.03	1.73	2.69	-1.10	
20	10.00	0.3476	1.0000	-0.4589	1.00000	-0.45892	1.81174	-1.46	2.14	3.10	2.24	-1.55	
21	10.00	1.2309	1.0000	0.0902	1.00000	0.09022	1.81174	-0.58	0.34	0.77	3.13	-0.67	
			0.00	-9.34	14.00	9.84				6.23	35.99	34.14	
								Wo= -0.44476	0.30	3.60	1.31		
								wo= 0.359118	med e	Se <sup>2</sup>	des e		
								W1= 0.702857	1.90				
									Se				

Notas: (3) ao de tabla 3.23  
 (4) X1=log(Fr)  
 (5) Y=log(ao)  
 (8) de ec (3.34)  
 (9) (3)-(8)

TABLA 3.25 ERROR MEDIO Y SU DESVIACION ESTANDAR AL CORRELACIONAR  
Fr = a<sub>0</sub> A TRAVES DEL PARAMETRO Fr = 0.10, 1.0, 10.0

(1) DATOS	(2) Fr	(3) a <sub>1</sub> TEORICO	(4) X <sub>1</sub>	(5) Y	(6) X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	(7) X <sub>1</sub> Y	(8) a <sub>1</sub> CALCULADO	(9) Error e	(10) e <sup>2</sup>	(11) (e-ei) <sup>2</sup>	(12) Se <sub>e</sub>	(13) Se <sub>e</sub>
1	0.10	0.3481	-1.0000	-0.4583	1.00000	0.45830	0.20328	0.14	0.02	0.01	0.58	0.12
2	0.10	0.4304	-1.0000	-0.3661	1.00000	0.36613	0.20328	0.23	0.05	0.03	0.66	0.20
3	0.10	0.2873	-1.0000	-0.5417	1.00000	0.54166	0.20328	0.08	0.01	0.00	0.51	0.06
4	0.10	0.0803	-1.0000	-1.0953	1.00000	1.09528	0.20328	-0.12	0.02	0.03	0.31	-0.15
5	0.10	0.3182	-1.0000	-0.4973	1.00000	0.49727	0.20328	0.11	0.01	0.00	0.55	0.09
6	0.10	0.2131	-1.0000	-0.6714	1.00000	0.67142	0.20328	0.01	0.00	0.00	0.44	-0.01
7	0.10	0.1178	-1.0000	-0.9289	1.00000	0.92885	0.20328	-0.09	0.01	0.02	0.35	-0.11
8	1.00	0.4315	0.0000	-0.3650	0.00000	0.00000	0.17245	0.26	0.07	0.04	0.66	0.20
9	1.00	0.3124	0.0000	-0.5053	0.00000	0.00000	0.17245	0.14	0.02	0.01	0.54	0.09
10	1.00	0.3063	0.0000	-0.5139	0.00000	0.00000	0.17245	0.13	0.02	0.01	0.53	0.08
11	1.00	0.0485	0.0000	-1.3143	0.00000	0.00000	0.17245	-0.12	0.02	0.03	0.28	-0.18
12	1.00	0.1564	0.0000	-0.8058	0.00000	0.00000	0.17245	-0.02	0.00	0.01	0.38	-0.07
13	1.00	0.1552	0.0000	-0.8091	0.00000	0.00000	0.17245	-0.02	0.00	0.01	0.38	-0.07
14	1.00	0.0251	0.0000	-1.6003	0.00000	0.00000	0.17245	-0.15	0.02	0.04	0.25	-0.20
15	10.00	0.2764	1.0000	-0.5585	1.00000	-0.55846	0.14630	0.13	0.02	0.01	0.50	0.05
16	10.00	0.5482	1.0000	-0.2611	1.00000	-0.26106	0.14630	0.40	0.16	0.12	0.78	0.32
17	10.00	0.3971	1.0000	-0.4011	1.00000	-0.40110	0.14630	0.25	0.06	0.04	0.62	0.17
18	10.00	0.0310	1.0000	-1.5086	1.00000	-1.50864	0.14630	-0.12	0.01	0.03	0.26	-0.20
19	10.00	0.1403	1.0000	-0.8529	1.00000	-0.85294	0.14630	-0.01	0.00	0.00	0.37	-0.09
20	10.00	0.1261	1.0000	-0.8993	1.00000	-0.89928	0.14630	-0.02	0.00	0.01	0.35	-0.10
21	10.00	0.0836	1.0000	-1.0778	1.00000	-1.07779	0.14630	-0.06	0.00	0.01	0.31	-0.14
			0.00	-16.03	14.00	-1.00		1.18	0.52	0.45		
				W <sub>0</sub> = -0.76333					0.06	0.05	0.15	
				w <sub>0</sub> = 0.172451				med e	Se <sup>2</sup>	des e		
				W <sub>1</sub> = -0.07142					0.23			
									Se			

Notas: (3) a<sub>1</sub> de tabla 3.23  
(4) X<sub>1</sub> = log(Fr)  
(5) Y = log(a<sub>1</sub>)  
(8) de ec (3.34)  
(9) (3)-(8)

TABLA 3.26 ERROR MEDIO Y SU DESVIACION ESTANDAR AL CORRELACIONAR  
 $D_c$  -  $a_0$  A TRAVES DEL PARAMETRO  $D_c = 0.001, 0.01, 0.1$

(1) DATOS	(2) $D_c$	(3) $a_0$ TEORICO	(4) $X_1$	(5) $Y$	(6) $X_1^2$	(7) $X_1 Y$	(8) $a_0$ CALCULADO	(9) Error e	(10) $e^2$	(11) $(e-e_i)^2$	(12) $Se$	(13) $Se$
1	0.001	0.7604	-3.0000	-0.1190	9.00000	0.35687	0.44497	0.32	0.10	0.00	20.03	-18.51
2	0.001	0.3126	-3.0000	-0.5050	9.00000	1.51503	0.44497	-0.13	0.02	0.27	19.58	-18.96
3	0.001	1.1242	-3.0000	0.0508	9.00000	-0.15253	0.44497	0.68	0.46	0.09	20.40	-18.15
4	0.001	0.8195	-3.0000	-0.0865	9.00000	0.25935	0.44497	0.37	0.14	0.00	20.09	-18.45
5	0.001	0.2809	-3.0000	-0.5514	9.00000	1.65434	0.44497	-0.16	0.03	0.30	19.55	-18.99
6	0.001	0.1072	-3.0000	-0.9698	9.00000	2.90942	0.44497	-0.34	0.11	0.52	19.38	-19.17
7	0.001	0.5581	-3.0000	-0.2533	9.00000	0.75986	0.44497	0.11	0.01	0.07	19.83	-18.71
8	0.010	1.5863	-2.0000	0.2004	4.00000	-0.40077	0.90108	0.69	0.47	0.09	20.86	-17.69
9	0.010	0.6664	-2.0000	-0.1763	4.00000	0.35253	0.90108	-0.23	0.06	0.38	19.94	-18.61
10	0.010	1.9418	-2.0000	0.2882	4.00000	-0.57641	0.90108	1.04	1.08	0.43	21.21	-17.33
11	0.010	1.5446	-2.0000	0.1888	4.00000	-0.37763	0.90108	0.64	0.41	0.07	20.82	-17.73
12	0.010	0.5631	-2.0000	-0.2494	4.00000	0.49883	0.90108	-0.34	0.11	0.52	19.84	-18.71
13	0.010	0.2408	-2.0000	-0.6183	4.00000	1.23669	0.90108	-0.66	0.44	1.09	19.51	-19.03
14	0.010	0.9767	-2.0000	-0.0102	4.00000	0.02048	0.90108	0.08	0.01	0.10	20.25	-18.30
15	0.100	5.3513	-1.0000	0.7285	1.00000	-0.72846	1.82470	3.53	12.44	9.87	24.62	-13.92
16	0.100	2.0270	-1.0000	0.3069	1.00000	-0.30685	1.82470	0.20	0.04	0.03	21.30	-17.25
17	0.100	5.9420	-1.0000	0.7739	1.00000	-0.77393	1.82470	4.12	16.95	13.93	25.21	-13.33
18	0.100	2.7076	-1.0000	0.4326	1.00000	-0.43258	1.82470	0.88	0.78	0.25	21.98	-16.56
19	0.100	0.6748	-1.0000	-0.1708	1.00000	0.17082	1.82470	-1.15	1.32	2.36	19.95	-18.60
20	0.100	0.3574	-1.0000	-0.4468	1.00000	0.44685	1.82470	-1.47	2.15	3.43	19.63	-18.91
21	0.100	1.7378	-1.0000	0.2400	1.00000	-0.24000	1.82470	-0.09	0.01	0.22	21.01	-17.53
			-42.00	-0.95	98.00	6.19				8.09	37.14	34.03

$W_0 = 0.567619$   
 $W_0 = 3.695038$   
 $W_1 = 0.306428$

0.39 371.43 1.30  
 $\bar{e}$   $Se^2$   $des e$   
 19.27  
 $Se$

Notas: (3)  $a_0$  de tabla 3.23  
 (4)  $X_1 = \log(D_c)$   
 (5)  $Y = \log(a_0)$   
 (8) de ec (3.34)  
 (9) (3)-(8)

TABLA 3.27 ERROR MEDIO Y SU DESVIACION ESTANDAR AL CORRELACIONAR  
 $D_c - a_1$  A TRAVES DEL PARAMETRO  $D_c = 0.001, 0.01, 0.1$

(1) DATOS	(2) $D_c$	(3) $a_1$ TEORICO	(4) $X_1$	(5) $Y$	(6) $X_1^2$	(7) $X_1 Y$	(8) $a_1$ CALCULADO	(9) Error e	(10) $e^2$	(11) $(e-e_i)^2$	(12) $Se+$	(13) $Se-$
1	0.001	0.2834	-3.0000	-0.5476	9.00000	1.64280	0.12269	0.16	0.03	0.01	2.82	-2.26
2	0.001	0.4943	-3.0000	-0.3060	9.00000	0.91803	0.12269	0.37	0.14	0.09	3.04	-2.05
3	0.001	0.0380	-3.0000	-1.4202	9.00000	4.26065	0.12269	-0.08	0.01	0.02	2.58	-2.50
4	0.001	0.0376	-3.0000	-1.4248	9.00000	4.27444	0.12269	-0.09	0.01	0.02	2.58	-2.50
5	0.001	0.2419	-3.0000	-0.6164	9.00000	1.84909	0.12269	0.12	0.01	0.00	2.78	-2.30
6	0.001	0.1278	-3.0000	-0.8935	9.00000	2.68041	0.12269	0.01	0.00	0.00	2.67	-2.41
7	0.001	0.0749	-3.0000	-1.1255	9.00000	3.37655	0.12269	-0.05	0.00	0.01	2.62	-2.47
8	0.010	0.3394	-2.0000	-0.4693	4.00000	0.93858	0.11659	0.22	0.05	0.02	2.88	-2.20
9	0.010	0.5431	-2.0000	-0.2651	4.00000	0.53024	0.11659	0.43	0.18	0.13	3.08	-2.00
10	0.010	0.1883	-2.0000	-0.7251	4.00000	1.45030	0.11659	0.07	0.01	0.00	2.73	-2.35
11	0.010	0.0095	-2.0000	-2.0223	4.00000	4.04455	0.11659	-0.11	0.01	0.03	2.55	-2.53
12	0.010	0.1751	-2.0000	-0.7567	4.00000	1.51343	0.11659	0.06	0.00	0.00	2.72	-2.37
13	0.010	0.1015	-2.0000	-0.9935	4.00000	1.98707	0.11659	-0.02	0.00	0.01	2.64	-2.44
14	0.010	0.0401	-2.0000	-1.3969	4.00000	2.79371	0.11659	-0.08	0.01	0.02	2.59	-2.50
15	0.100	0.1743	-1.0000	-0.7587	1.00000	0.75870	0.11080	0.06	0.00	0.00	2.72	-2.37
16	0.100	0.4566	-1.0000	-0.3405	1.00000	0.34046	0.11080	0.35	0.12	0.08	3.00	-2.08
17	0.100	0.0175	-1.0000	-1.7570	1.00000	1.75696	0.11080	-0.09	0.01	0.03	2.56	-2.52
18	0.100	0.0496	-1.0000	-1.3045	1.00000	1.30452	0.11080	-0.06	0.00	0.02	2.59	-2.49
19	0.100	0.3473	-1.0000	-0.4593	1.00000	0.45930	0.11080	0.24	0.06	0.03	2.89	-2.19
20	0.100	0.1251	-1.0000	-0.9027	1.00000	0.90274	0.11080	0.01	0.00	0.00	2.67	-2.42
21	0.100	0.0776	-1.0000	-1.1101	1.00000	1.11014	0.11080	-0.03	0.00	0.01	2.62	-2.46
			-42.00	-19.60	98.00	38.89				1.49	0.65	0.54
									$w_0 = -0.97761$	0.07	6.46	0.16
									$w_0 = 0.105288$	med e	$Se^2$	des e
									$w_1 = -0.02214$	2.54		
									Se			

Notas: (3)  $a_1$  de tabla 3.23  
(4)  $X_1 = \log(D_c)$   
(5)  $Y = \log(a_1)$   
(8) de ec (3.34)  
(9) (3)-(8)

TABLA 3.28 DISPERSION DE LOS RESULTADOS AL CORRELACIONAR Fr y Dc CON ao y ai Y SU INTERVALO DE CONFIANZA

Fr - ao						Fr - ai					
(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)
confianza	Zc	ao+	ao-	aomax	aomin	confianza	Zc	ai+	ai-	almax	almin
99.00	2.5800	3.6675	-4.4952	3.9642	-4.1986	99.00	2.5800	0.4433	-0.3310	0.4995	0.39
97.50	2.2400	3.2233	-3.9148	3.5199	-3.6182	97.50	2.2400	0.3923	-0.2800	0.4484	0.34
95.00	1.9600	2.8575	-3.4368	3.1541	-3.1402	95.00	1.9600	0.3503	-0.2380	0.4064	0.29
90.00	1.6450	2.4459	-2.8991	2.7425	-2.6025	90.00	1.6450	0.3030	-0.1907	0.3592	0.25
85.00	1.4390	2.1768	-2.5474	2.4734	-2.2508	85.00	1.4390	0.2721	-0.1598	0.3282	0.22
80.00	1.2800	1.9050	-2.2700	2.2030	-1.9794	80.00	1.2800	0.2482	-0.1359	0.3044	0.19
75.00	1.1510	1.8005	-2.0558	2.0971	-1.7592	75.00	1.1510	0.2289	-0.1166	0.2850	0.17
70.00	1.0380	1.6528	-1.8629	1.9494	-1.5663	70.00	1.0380	0.2119	-0.0996	0.2681	0.16
65.00	0.9350	1.5183	-1.6871	1.8149	-1.3904	65.00	0.9350	0.1965	-0.0842	0.2526	0.14
60.00	0.8420	1.3967	-1.5283	1.6934	-1.2317	60.00	0.8420	0.1825	-0.0702	0.2387	0.13
55.00	0.7550	1.2831	-1.3798	1.5797	-1.0832	55.00	0.7550	0.1694	-0.0572	0.2256	0.11
50.00	0.6745	1.1779	-1.2424	1.4745	-0.9457	50.00	0.6745	0.1574	-0.0451	0.2135	0.10

INTERVALO DE CONFIANZA: 19/21=0.905=90.5%

INTERVALO DE CONFIANZA: 17/21=0.809=80.09%

Dc - ao						Dc - ai					
(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)
confianza	Zc	ao+	ao-	aomax	aomin	confianza	Zc	ai+	ai-	almax	almin
99.00	2.5800	3.75	-4.51	4.14	-4.12	99.00	2.5800	1.92	1.07	1.99	-1.00
97.50	2.2400	3.31	-3.93	3.69	-3.54	97.50	2.2400	1.86	1.12	1.93	-1.05
95.00	1.9600	2.94	-3.45	3.33	-3.07	95.00	1.9600	1.81	1.17	1.89	-1.10
90.00	1.6450	2.53	-2.92	2.92	-2.53	90.00	1.6450	1.76	1.22	1.83	-1.15
85.00	1.4390	2.26	-2.57	2.65	-2.18	85.00	1.4390	1.73	1.26	1.80	-1.18
80.00	1.2800	2.05	-2.30	2.44	-1.91	80.00	1.2800	1.70	1.28	1.77	-1.21
75.00	1.1510	1.89	-2.08	2.27	-1.69	75.00	1.1510	1.68	1.30	1.75	-1.23
70.00	1.0380	1.74	-1.88	2.12	-1.50	70.00	1.0380	1.66	1.32	1.73	-1.25
65.00	0.9350	1.60	-1.71	1.99	-1.32	65.00	0.9350	1.65	1.34	1.72	-1.27
60.00	0.8420	1.48	-1.55	1.87	-1.16	60.00	0.8420	1.63	1.35	1.70	-1.28
55.00	0.7550	1.37	-1.40	1.75	-1.02	55.00	0.7550	1.62	1.37	1.69	-1.30
50.00	0.6745	1.26	-1.26	1.65	-0.88	50.00	0.6745	1.60	1.38	1.67	-1.31

INTERVALO DE CONFIANZA: 21/21=1.00=100%

INTERVALO DE CONFIANZA: 21/21=1.00=100%

NOTAS: (16), (17) de ec (3.37)  
(18), (19) de ec (3.38)

TABLA 3.29 VALORES DEL COEFICIENTE ( $a_0$ ) Y EL EXPONENTE ( $a_1$ ), EN FUNCION DEL INTERVALO DE CONFIANZA

NIVEL CONFIANZA	$a_{0max}$	$a_{0min}^*$	$a_{1max}$	$a_{1min}^*$	NIVEL CONFIANZA	$a_{0max}$	$a_{0min}^*$	$a_{1max}$	$a_{1min}^*$
99	3.74	-	0.65	-	99	3.75	-	0.61	-
98	3.29	-	0.60	-	98	3.31	-	0.56	-
95	2.93	-	0.55	-	95	2.94	-	0.51	-
90	2.52	-	0.51	0.01	90	2.53	-	0.46	-
85	2.25	-	0.48	0.04	85	2.26	-	0.43	-
80	Fr=0.1 2.04	-	0.45	0.07	80	Dc=0.001 2.05	-	0.40	-
75	1.87	-	0.43	0.09	75	1.89	-	0.38	0.00
70	1.72	-	0.42	0.10	70	1.74	-	0.40	0.02
65	1.59	-	0.40	0.12	65	1.60	-	0.34	0.04
60	1.47	-	0.39	0.13	60	1.48	-	0.33	0.05
55	1.35	-	0.37	0.15	55	1.37	-	0.32	0.07
50	1.25	-	0.36	0.16	50	1.26	-	0.30	0.08
99	4.03	-	0.62	-	99	4.65	-	0.61	-
98	3.58	-	0.56	-	98	4.21	-	0.56	-
95	3.22	-	0.52	-	95	3.84	-	0.51	-
90	2.81	-	0.48	-	90	3.43	-	0.46	-
85	2.54	-	0.44	0.01	85	3.16	-	0.43	-
80	Fr=1.0 2.33	-	0.42	0.04	80	Dc=0.01 2.95	-	0.40	-
75	2.16	-	0.40	0.06	75	2.79	-	0.38	-
70	2.01	-	0.38	0.07	70	2.64	-	0.36	0.02
65	1.88	-	0.37	0.09	65	2.50	-	0.34	0.04
60	1.76	-	0.35	0.10	60	2.38	-	0.33	0.05
55	1.64	-	0.34	0.12	55	2.27	-	0.32	0.07
50	1.54	-	0.33	0.13	50	2.16	-	0.30	0.08
99	5.48	-	0.59	-	99	5.57	-	0.60	-
98	5.04	-	0.54	-	98	5.13	-	0.55	-
95	4.67	-	0.50	-	95	4.76	-	0.50	-
90	4.26	-	0.45	-	90	4.35	-	0.45	-
85	3.99	-	0.42	-	85	4.08	-	0.42	-
80	Fr=10.0 3.78	-	0.39	0.01	80	Dc=0.10 3.87	-	0.39	-
75	3.61	-	0.38	0.03	75	3.71	-	0.37	-
70	3.46	-	0.36	0.05	70	3.56	-	0.35	0.01
65	3.33	0.12	0.34	0.06	65	3.42	0.11	0.33	0.03
60	3.21	0.28	0.33	0.08	60	3.30	0.27	0.32	0.04
55	3.09	0.43	0.32	0.09	55	3.19	0.42	0.31	0.06
50	2.99	0.57	0.30	0.10	50	3.08	0.56	0.29	0.07

\* Cuando no aparece ningun valor es debido a que este es negativo y por tanto carece de sentido fisico.

**TABLA 3.30 PERFIL HIDRAULICO DE LA OBRA DE EXCEDENCIAS DE LA PRESA AGUAMILPA, NAY.**

<b>n = 0.014</b>	<b>Q = 500.00 m<sup>3</sup>/s</b>	
<b>ESTACION</b>	<b>TIRANTE (m)</b>	<b>VELOCIDAD (m/s)</b>
31.09	0.68	16.16
50.00	0.68	16.28
100.00	0.67	16.49
150.00	0.66	16.60
200.00	0.66	16.67
250.00	0.66	16.70
300.00	0.66	16.73
308.23	0.66	16.73
338.18	0.60	18.30
368.13	0.53	20.62
398.08	0.47	23.20
433.04	0.44	24.72
468.00	0.43	25.47
502.97	0.43	25.83
524.98	0.46	24.02
546.89	0.52	21.12
568.80	0.68	16.24

**TABLA 3.31 PERFIL HIDRAULICO DE LA OBRA DE EXCEDENCIAS DE LA PRESA AGUAMILPA, NAY.**

$n = 0.014$	$Q = 3000.00 \text{ m}^3/\text{s}$	
ESTACION	TIRANTE (m)	VELOCIDAD (m/s)
31.09	4.75	13.88
50.00	4.29	15.36
100.00	3.59	18.34
150.00	3.20	20.51
200.00	2.94	22.45
250.00	2.75	23.99
300.00	2.61	25.30
308.23	2.59	25.49
338.18	2.39	27.57
368.13	2.18	30.26
398.08	1.96	33.59
433.04	1.80	36.55
468.00	1.68	39.18
502.97	1.59	41.37
524.98	1.62	40.62
546.89	1.67	39.51
568.80	1.77	37.17

**TABLA 3.32 PERFIL HIDRAULICO DE LA OBRA DE EXCEDENCIAS DE LA PRESA AGUAMILPA, NAY.**

<b>n = 0.014</b>	<b>Q = 6500.00 m<sup>3</sup>/s</b>	
<b>ESTACION</b>	<b>TIRANTE (m)</b>	<b>VELOCIDAD (m/s)</b>
31.09	6.46	11.06
50.00	5.32	13.43
100.00	4.17	17.15
150.00	3.61	19.77
200.00	3.27	21.86
250.00	3.03	23.60
300.00	2.85	25.08
308.23	2.82	25.30
338.18	5.31	26.90
368.13	4.73	30.21
398.08	4.19	34.12
433.04	3.81	37.47
468.00	3.50	40.79
502.97	3.27	43.70
524.98	3.35	42.68
546.89	3.39	42.10
568.80	3.54	40.35

TABLA 3.33 PERFIL HIDRAULICO DE LA OBRA DE EXCEDENCIAS DE LA PRESA AGUAMILPA, NAY.

$n = 0.014$	$Q = 15000.00 \text{ m}^3/\text{s}$	
ESTACION	TIRANTE (m)	VELOCIDAD (m/s)
00.00	15.30	12.25
31.09	14.04	11.74
50.00	14.04	11.74
100.00	14.04	11.74
150.00	14.04	11.74
200.00	14.04	11.74
250.00	14.04	11.74
300.00	14.04	11.74
308.23	14.04	11.74
338.18	8.31	19.85
368.13	6.64	34.82
398.08	5.52	29.89
433.04	4.85	33.96
468.00	4.35	37.88
502.97	3.99	41.29
524.988	4.10	40.23
526.89	4.14	39.78
568.80	4.33	38.09

TABLA 3.34 RESUMEN DE RESULTADOS DE LA SOCAVACION DE LA OBRA DE EXCEDENCIAS DE LA PRESA AGUAMILPA, NAY, CON DIFERENTES CRITERIOS

CRITERIO	Q = 500 m <sup>3</sup> /s	Q = 3000 m <sup>3</sup> /s	Q = 6500 m <sup>3</sup> /s	Q = 15000 m <sup>3</sup> /s
	d = 0.68 m V = 16.24 m/s	d = 1.77 m V = 37.17 m/s	d = 3.54 m V = 40.35 m/s	d = 4.33 m V = 38.09 m/s
	t <sub>s</sub> (m)	t <sub>s</sub> (m)	t <sub>s</sub> (m)	t <sub>s</sub> (m)
Veronese (A)	3.67	9.65	10.08	15.83
Veronese (B)	20.81	54.74	57.16	89.79
Jaeger	8.84	29.67	38.83	63.03
Mirtsjuslava (granulares)	12.56	76.67	84.44	192.31
Mirtsjuslava (rocosos)	11.56	59.74	61.58	141.28
Matsman	5.69	26.22	26.81	54.77
Vizgo	15.47	36.26	37.16	62.41
Studenichnikov	40.91	118.28	124.12	209.00
Doddiah	0.91	10.12	18.50	225.80
Mason y Kanapathypilly	56.47	86.73	97.46	114.77

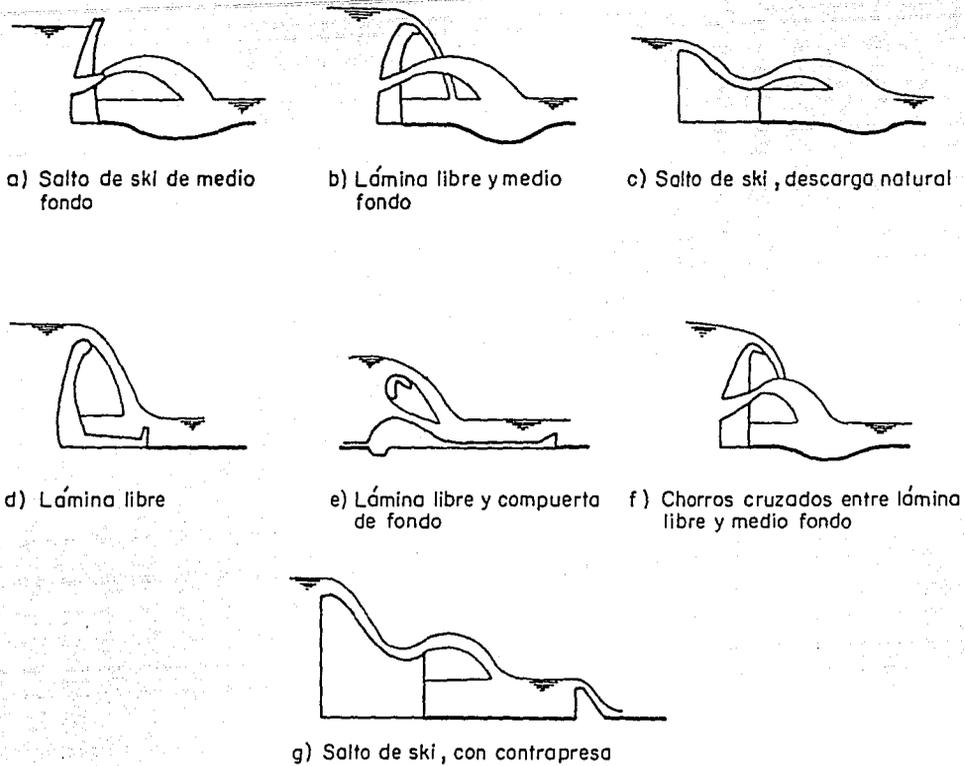


Fig 2.1 Algunos tipos de disipadores de energía hidráulica de las presas [3]

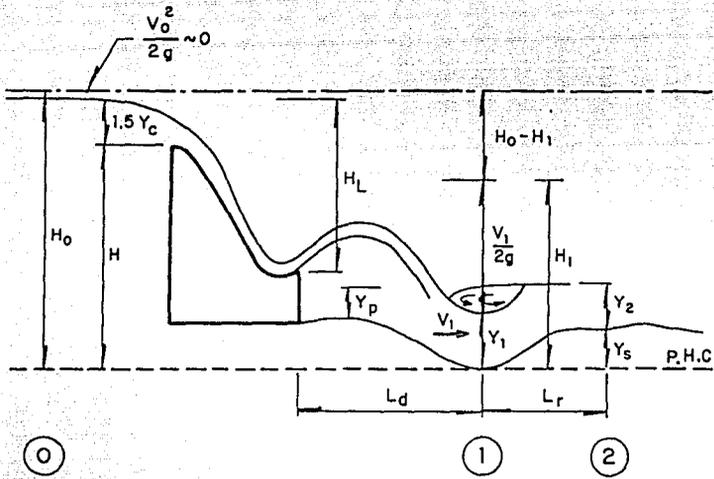


Fig 2.2 Magnitudes principales en los fosos disipadores de energía hidráulica al pie de la cubeta de lanzamiento

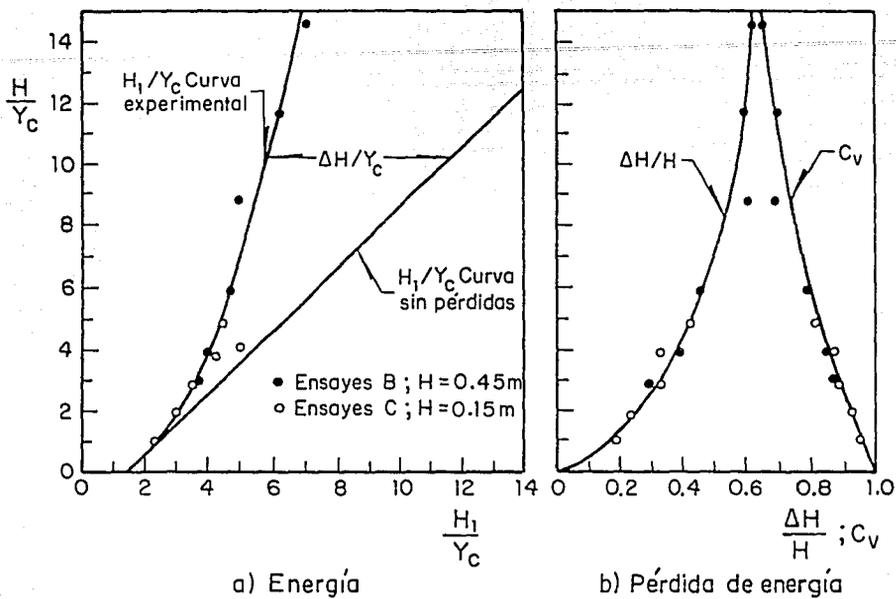


Fig 2.3 Energía en la base de una caída vertical, sin erosión al pie de la estructura [16]

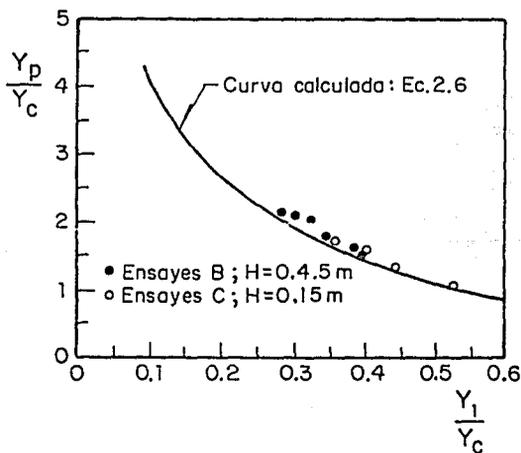


Fig 2.4 Tirante  $Y_p$ , sin erosión al pie de la estructura [16]

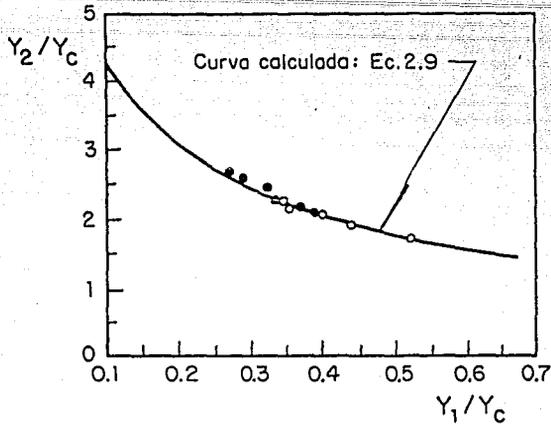


Fig 2.5 Conjugados  $Y_1$  y  $Y_2$  sin erosión al pie de la estructura [16]

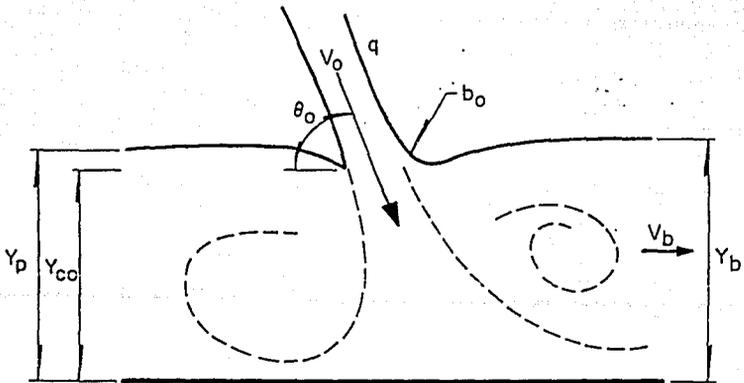


Fig 2.6 Condiciones de flujo en el foso, en función de  $Y_b$  [5]

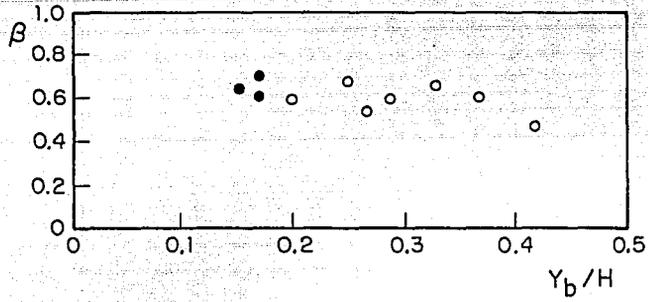


Fig 2.7 Relación entre  $\beta$  y  $\gamma_b/H$  [5]

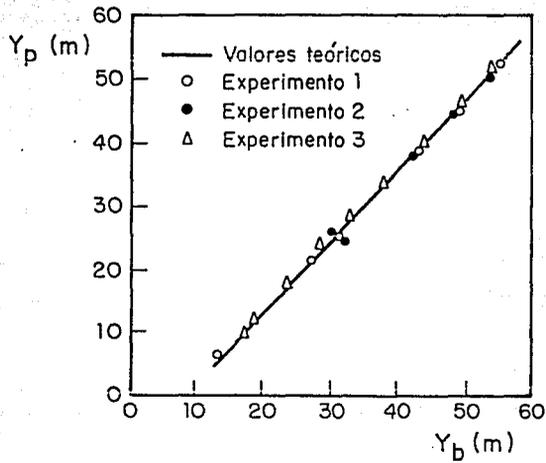


Fig 2.8 Valores teóricos y experimentales de  $\gamma_p$  y  $\gamma_b$  [5]

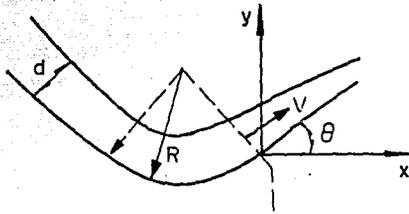


Fig 2.9 Nomenclatura de la cubeta de lanzamiento

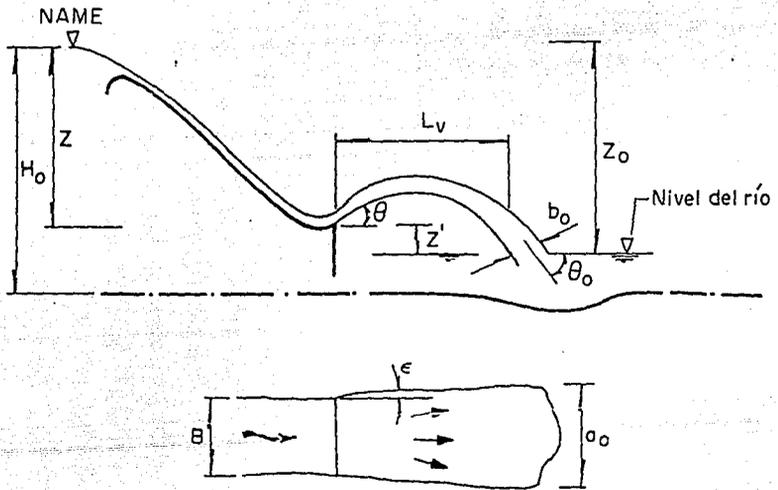


Fig 2.10 Geometría del chorro [9]

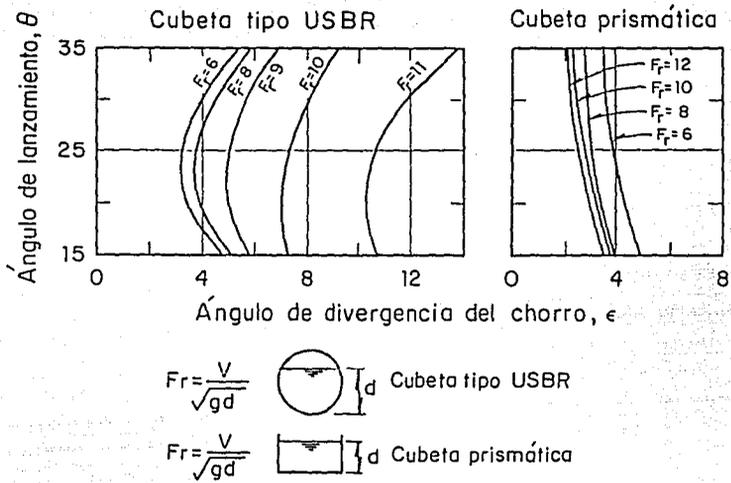


Fig 2.11 Ángulo de divergencia del chorro [19]

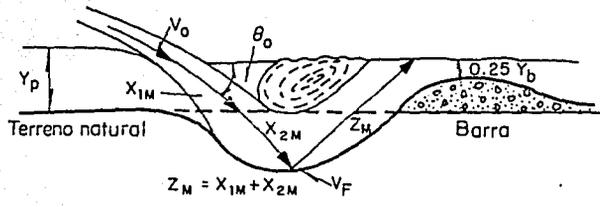


Fig 2.12 Esquema de dispersión del chorro en el cono de socavación, utilizado por Mirtsjustlava [14]

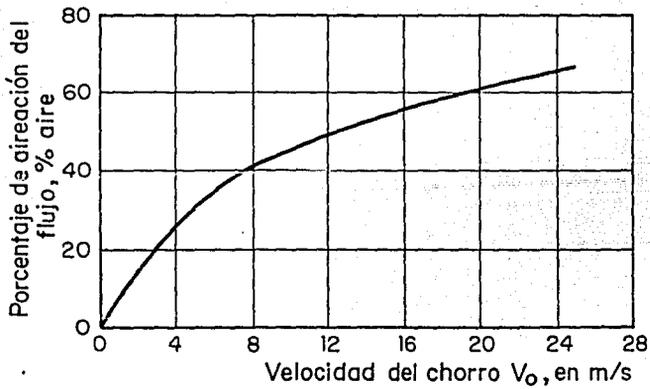


Fig 2.13 Porcentaje de aireación en el agua dentro del cono de socavación en función de la velocidad del chorro [14]

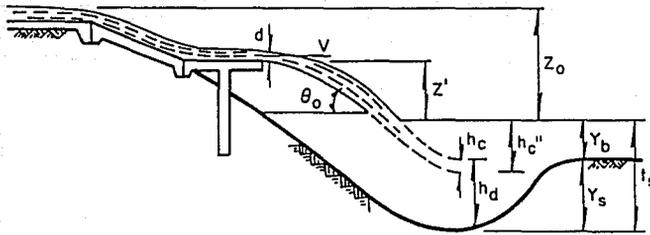


Fig 2.14 Parámetros fundamentales utilizados por Matsman [13]

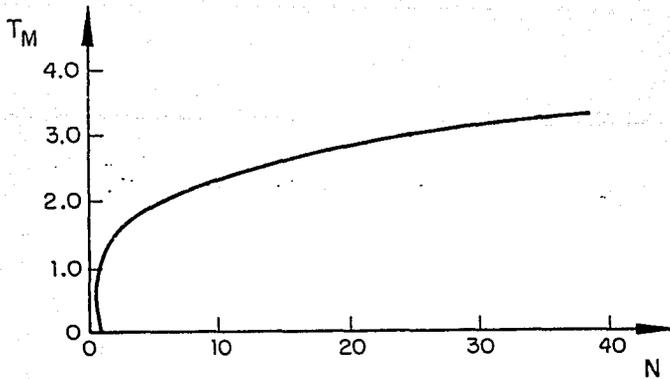


Fig 2.15 Curva adimensional del método de Matsman [13]

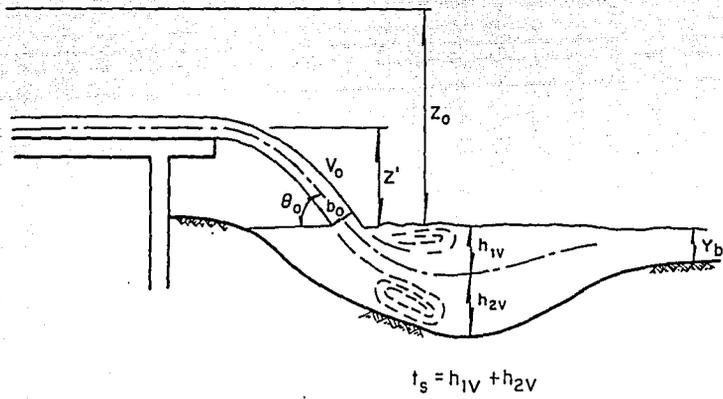


Fig 2.16 Esquema de Vizgo que muestra la dispersión del chorro dentro del cono de socavación [22]

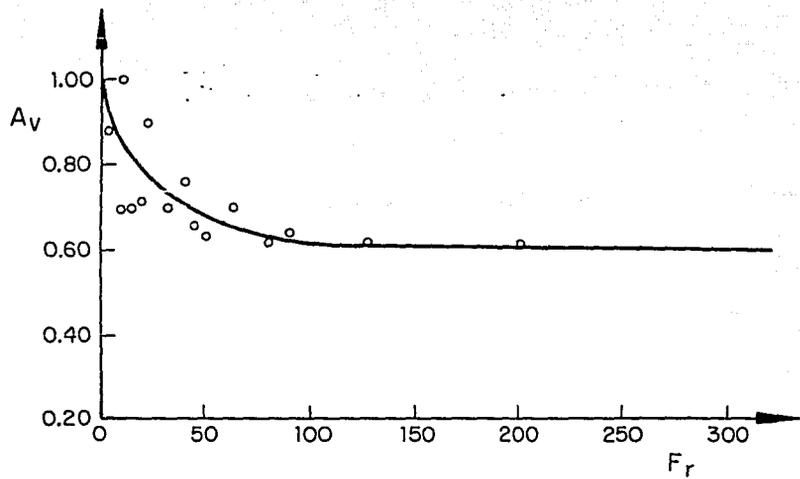


Fig 2.17 Coeficiente de aireación utilizado en el método de Vizgo [22]

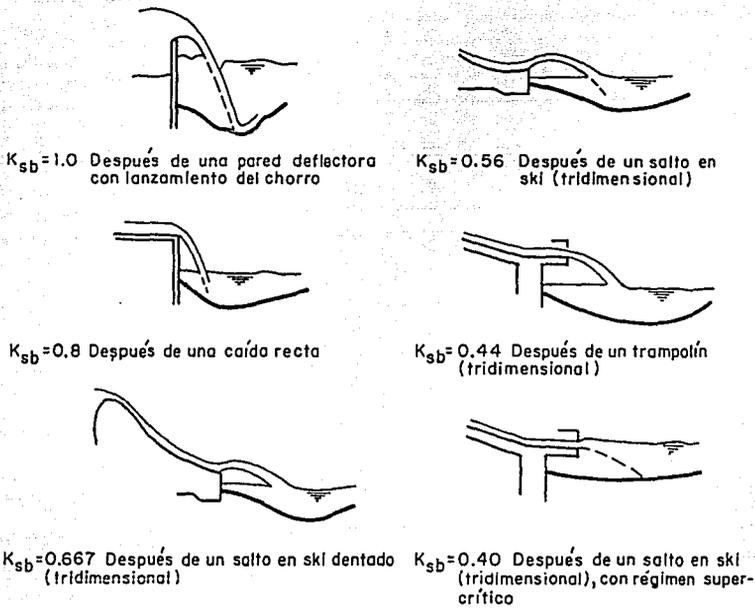


Fig 2.18 Valor del factor  $K_{sb}$  utilizado por Studenichnikov [20]

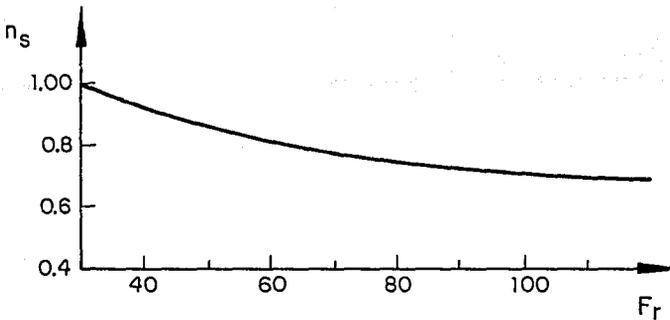


Fig 2.19 Coeficiente de aireación dado por Studenichnikov [20]

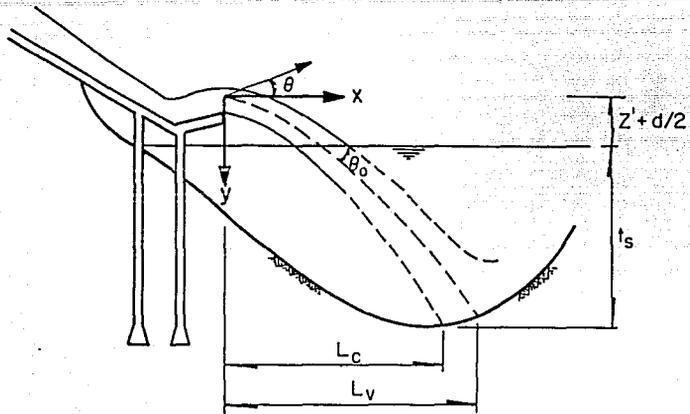


Fig 2.21 Esquema del método de Eliasberk para calcular la ubicación del cono de socavación [ 7]

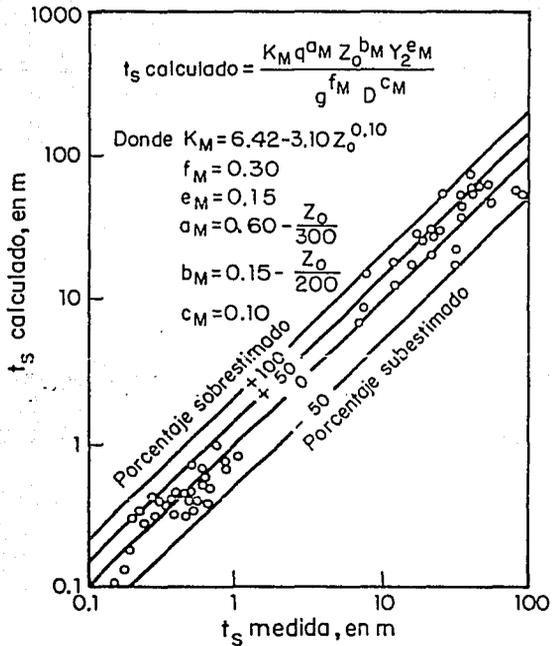


Fig 2.20 Comparación entre las profundidades de máxima socavación medidas y calculadas [12]

CORRELACION  $F_r = 0.1$

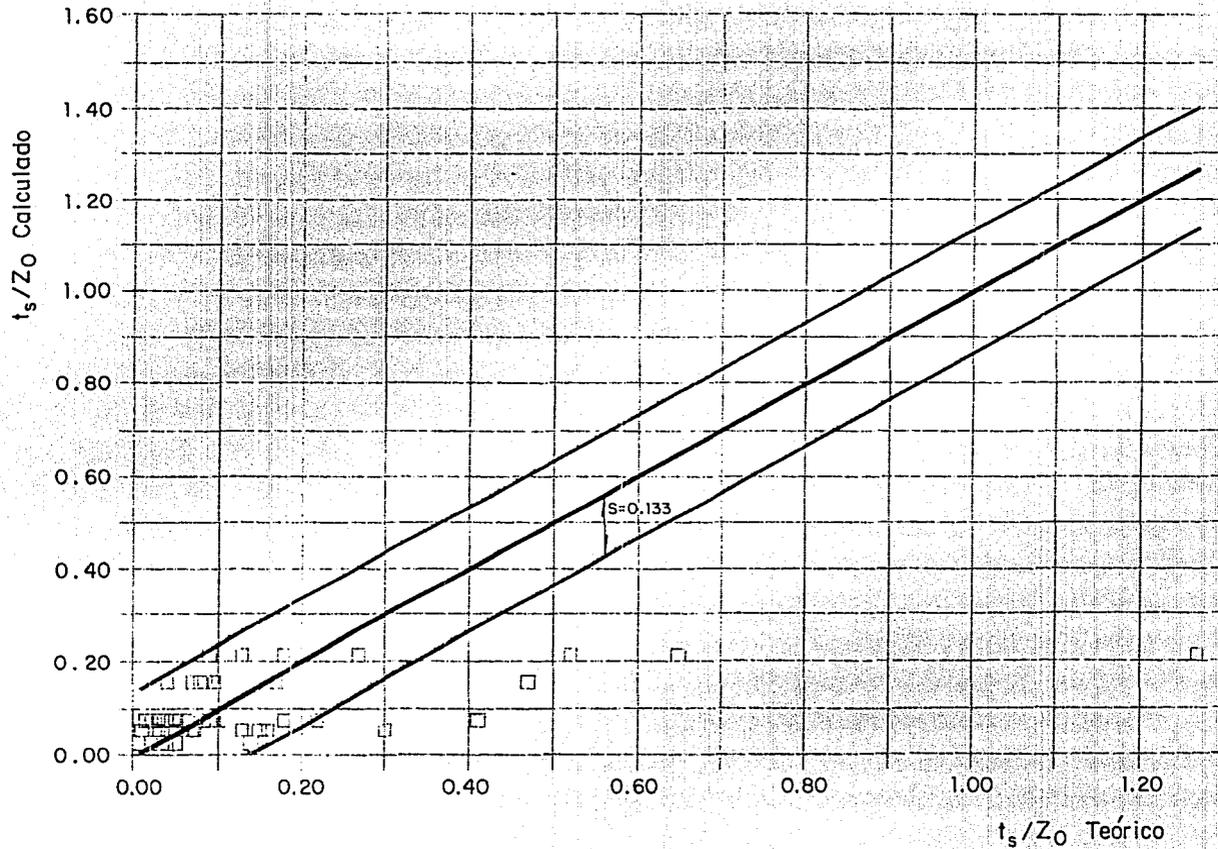
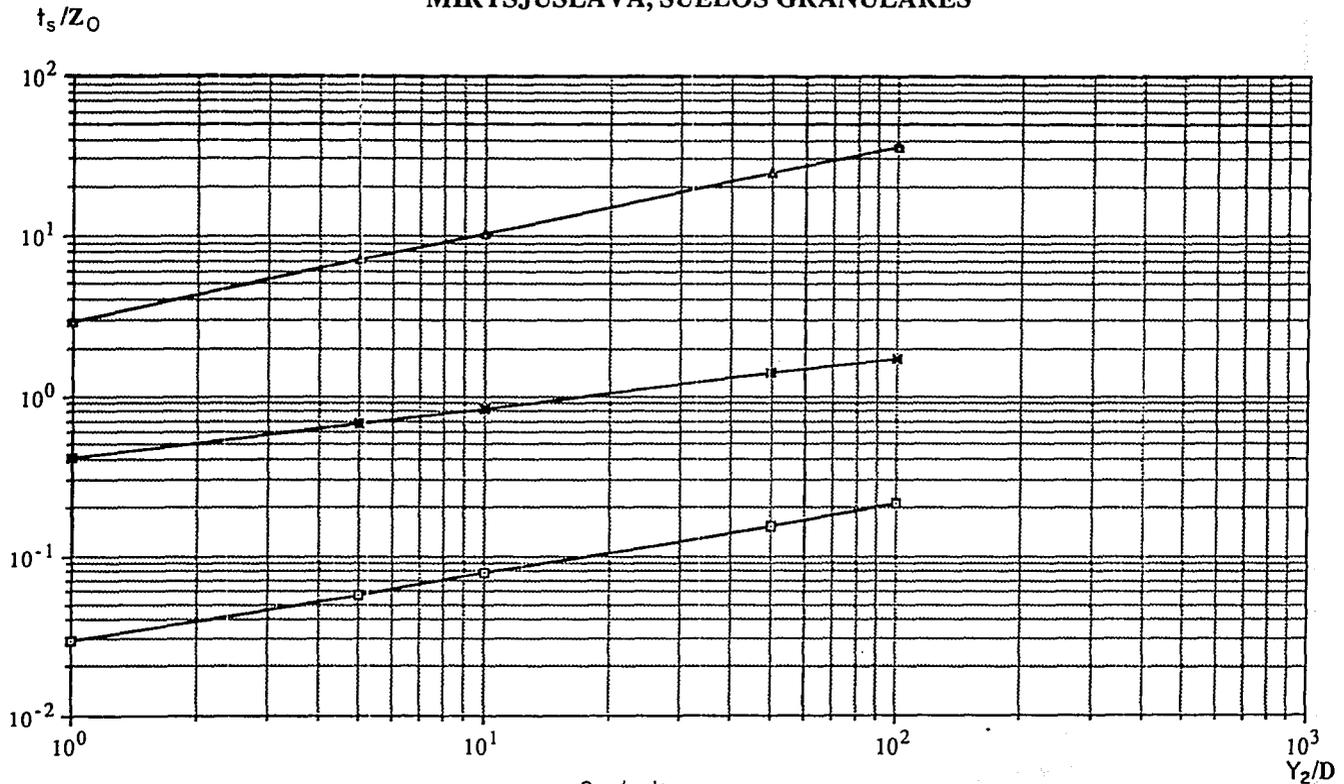


Fig 3.1 Dispersión de los resultados  $t_s/Z_0$  teórico y calculado, para  $F_r = 0.1$ , utilizando el criterio de Mirtsjuslava (suelos granulares), para calcular  $t_s$

# MIRTSJUSLAVA, SUELOS GRANULARES



$F_r$	$a_0$	$a_1$	Grado de confianza (%)
□ 0.1	0.02889	0.43046	84.1
* 1.0	0.40769	0.31243	70.6
△ 10.0	2.91061	0.54822	80.0

$$\left[ \frac{t_s}{Z_0} \right] = a_0 \left[ \frac{Y_2}{D} \right]^{a_1} ; F_r = \frac{q}{g^{1/2} \cdot v_2^{3/2}}$$

Fig 3.2 Relación  $Y_2/D - t_s/Z_0$ , para  $F_r = 0.1, 1.0$  y  $10.0$ ; utilizando el criterio de Mirtsjulsava, (suelos granulares), para calcular  $t_s$

# MIRTSJUSLAVA, SUELOS GRANULARES

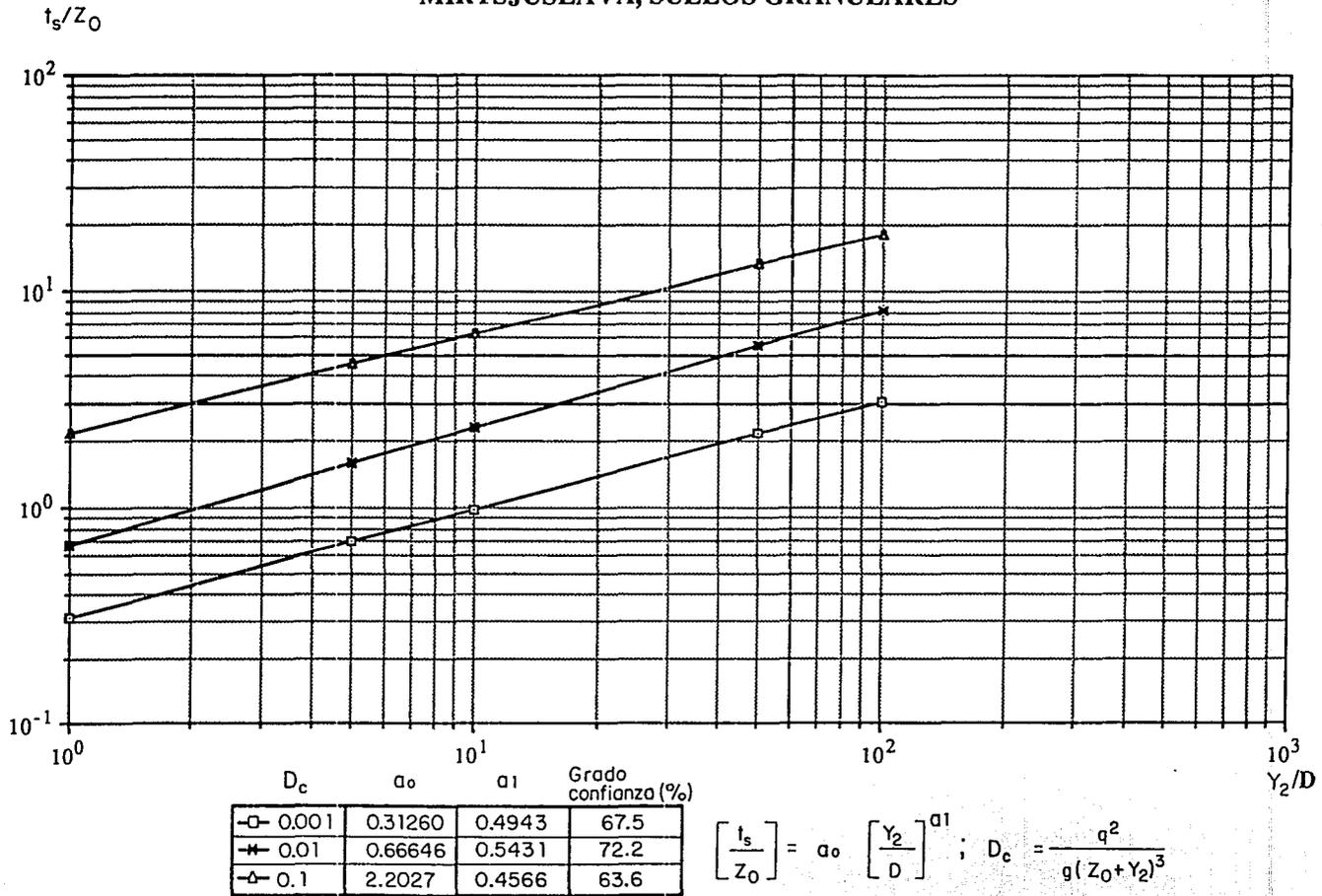


Fig 3.3 Relación  $Y_2/D - t_s/Z_0$ ; para  $D_c = 0.001, 0.01$  y  $0.1$ , utilizando el criterio de Mirtsjulsava, (suelos granulares), para calcular  $t_s$

# MIRTSJUSLAVA, SUELOS ROCOSOS

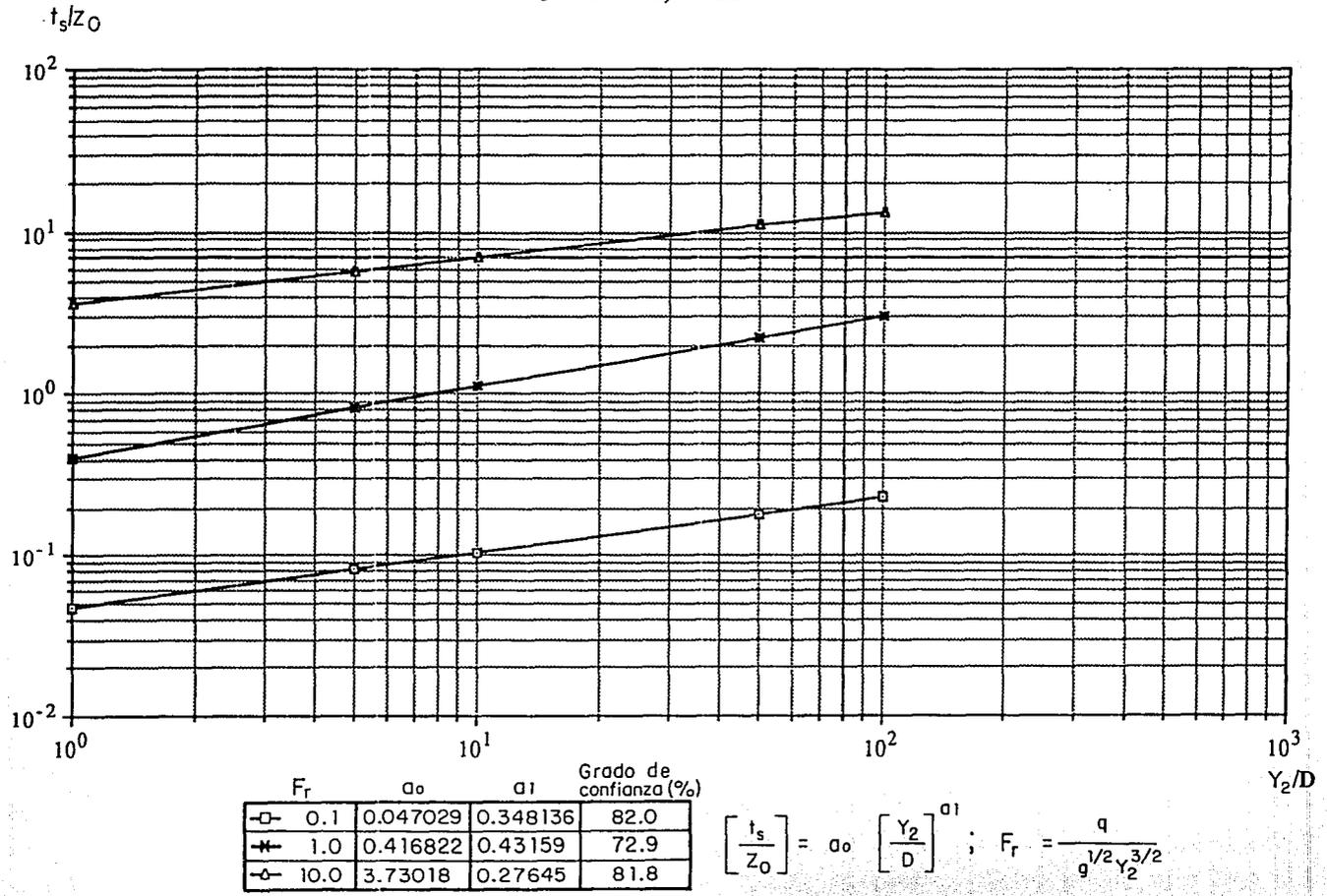
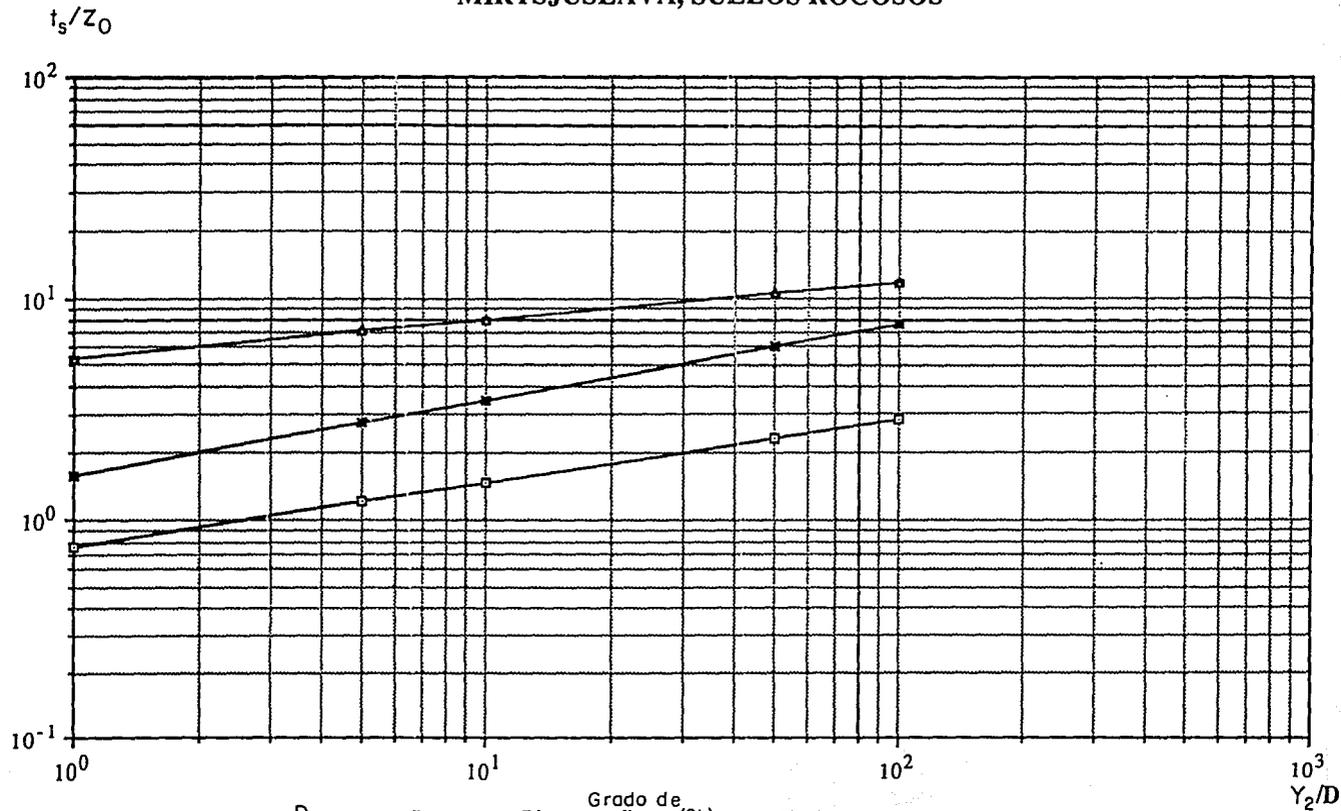


Fig 3.4 Relación  $Y_2/D - t_s/Z_0$ , para  $F_r = 0.1, 1.0$  y  $10.0$ ; utilizando el criterio de Mirtsjuslava (suelos rocosos), para calcular  $t_s$

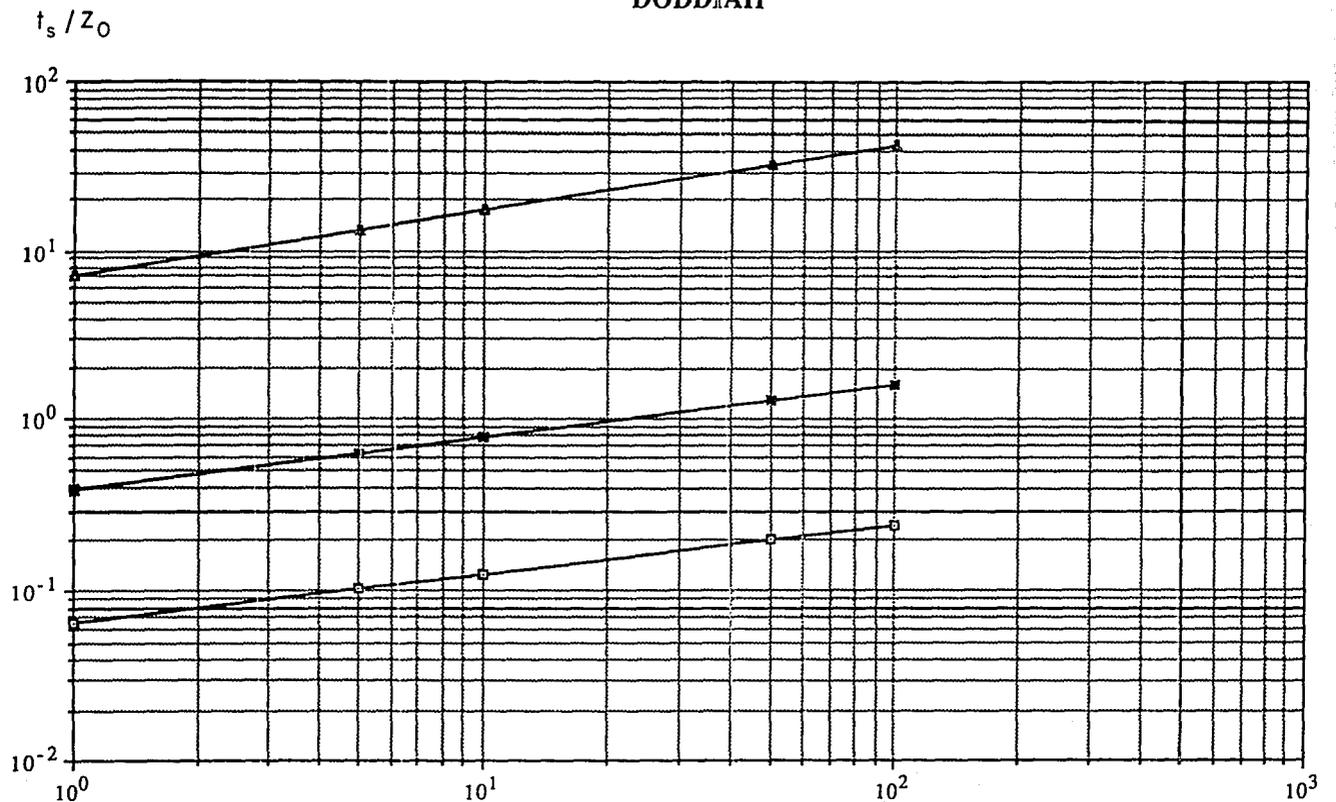
# MIRTSJUSLAVA, SUELOS ROCOSOS



$D_c$	$a_0$	$a_1$	Grado de confianza (%)
□ 0.001	0.760478	0.28345	80.0
* 0.01	1.58639	0.33945	69.5
○ 0.1	5.351347	0.17439	33.3

$$\left[ \frac{t_s}{Z_0} \right] = a_0 \left[ \frac{Y_2}{D} \right]^{a_1} ; D_c = \frac{q^2}{g(Z_0 + Y_2)^3}$$

Fig 3.5 Relación  $Y_2/D - t_s/Z_0$ , para  $D_c = 0.001, 0.01$  y utilizando el criterio de Mirtsjuslava, (suelos rocosos), para calcular  $t_s$



$F_r$	$a_0$	$a_1$	Grado de confianza (%)
□ 0.1	0.06527	0.28731	80.0
* 1.0	0.38660	0.30630	73.9
△ 10.0	7.00384	0.39711	87.5

$$\left[ \frac{t_s}{Z_0} \right] = a_0 \left[ \frac{Y_2}{D} \right]^{a_1}; \quad F_r = \frac{q}{g^{1/2} Y_2^{3/2}}$$

Fig 3.6 Relación  $Y_2/D - t_s/Z_0$ , para  $F_r = 0.1, 1.0$  y  $10$ , utilizando el criterio de Doddiah para calcular  $t_s$

# DODDIAH

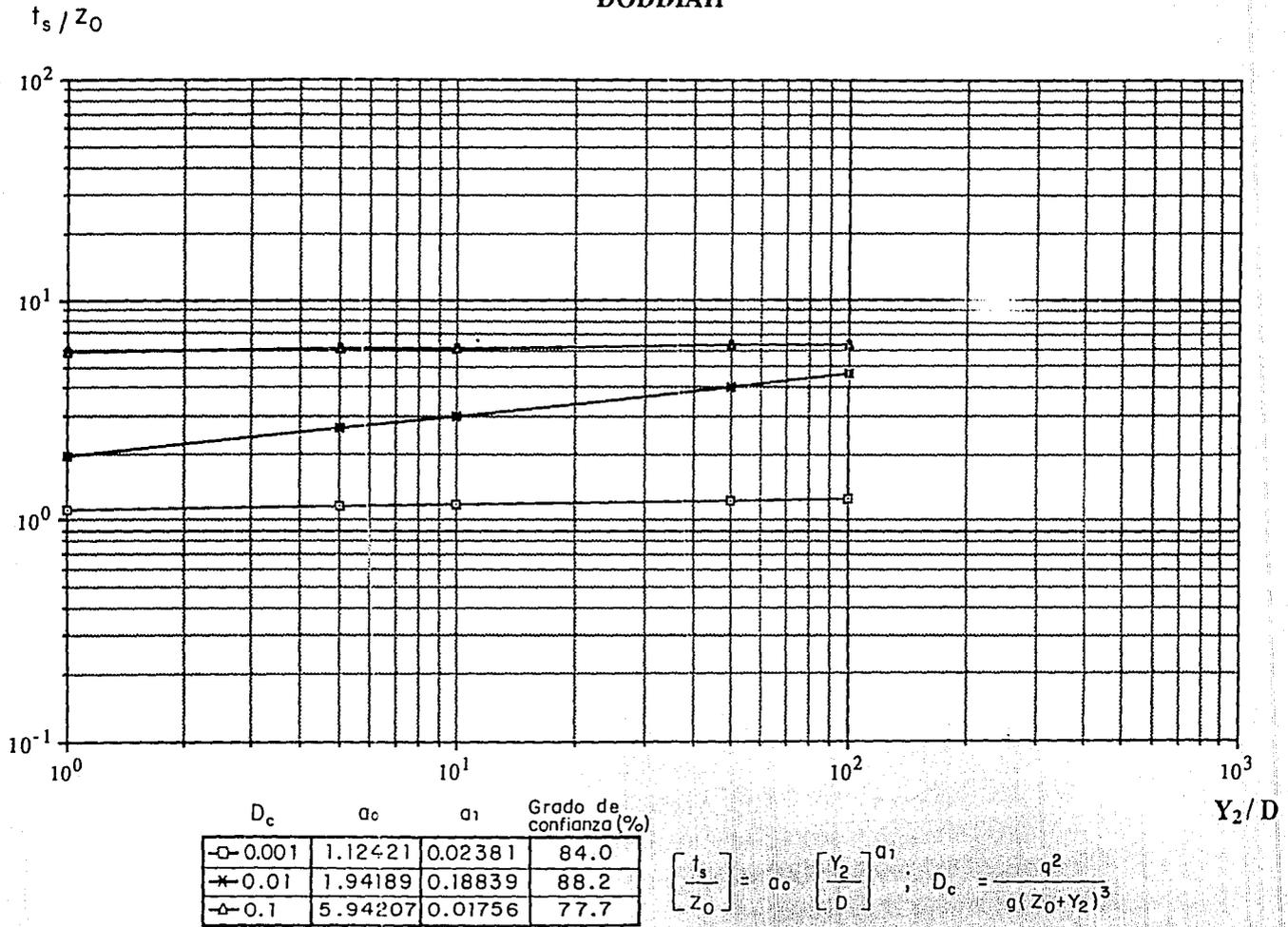
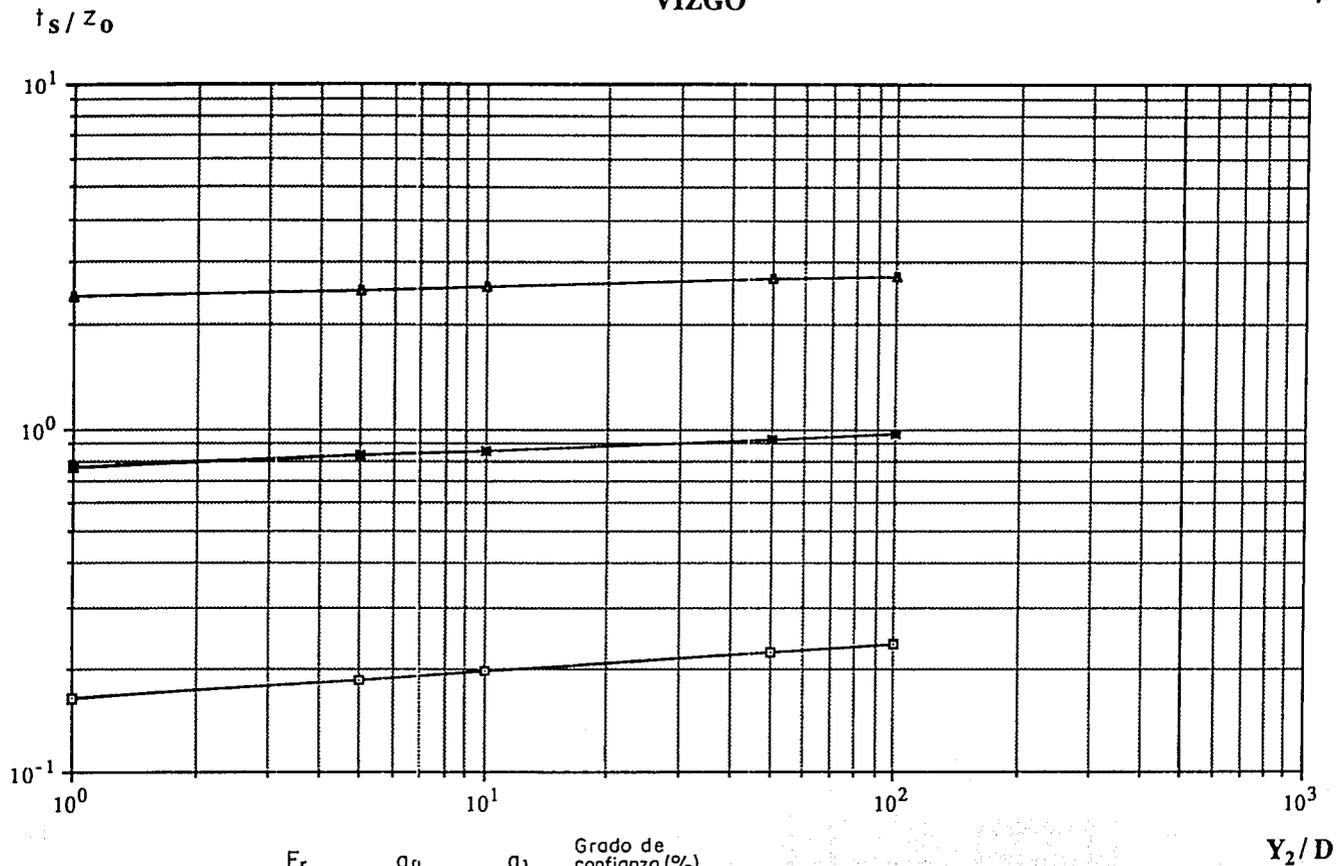


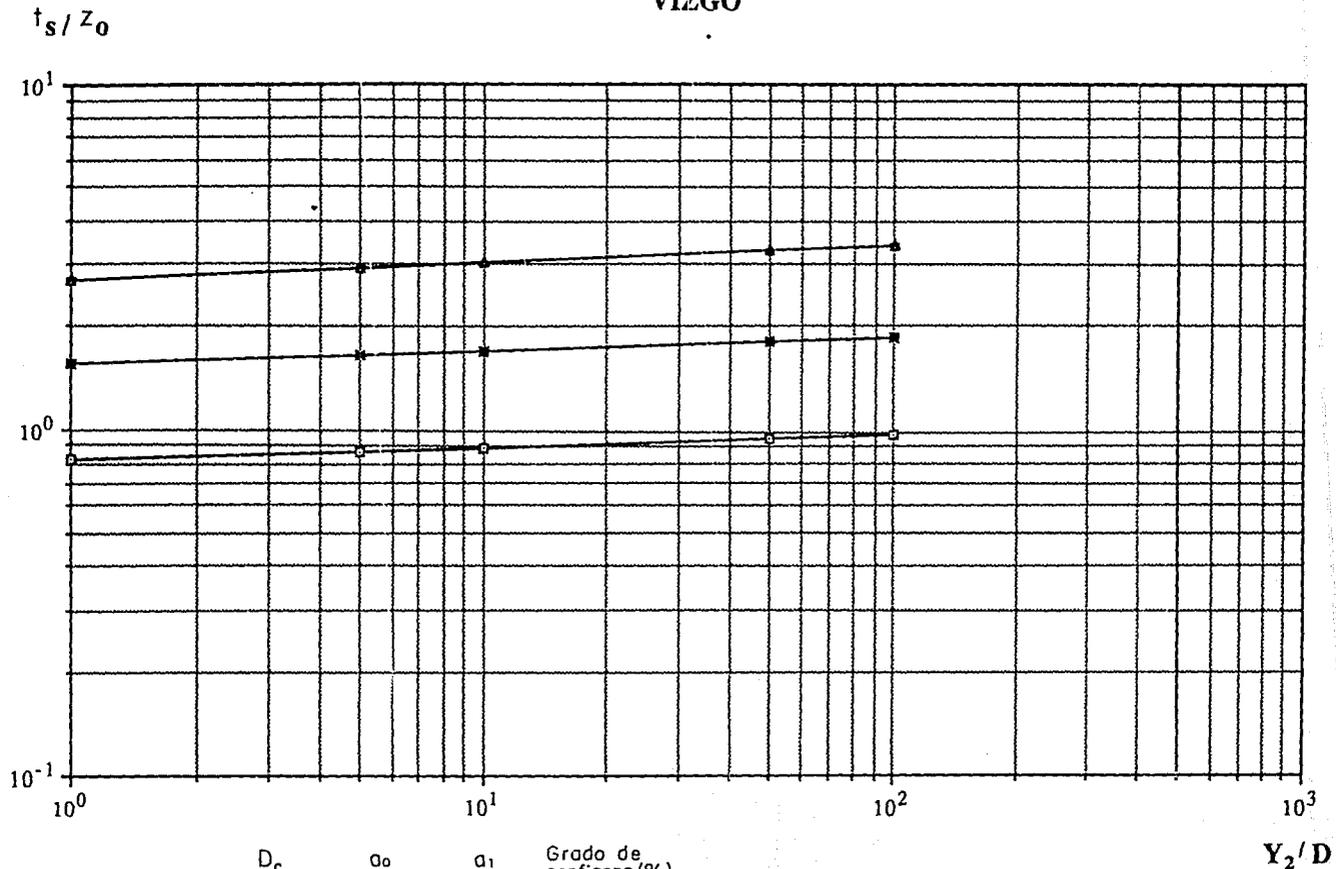
Fig 3.7 Relación  $Y_2/D - t_s/Z_0$ , para  $D_c=0.001, 0.01$  y  $0.1$ ; utilizando el criterio de Doddiah para calcular  $Y_s$



$F_r$	$\alpha_0$	$\alpha_1$	Grado de confianza (%)
□ 0.1	0.16234	0.08031	72.0
× 1.0	0.76797	0.04855	73.9
△ 10.0	2.37602	0.03108	75.0

$$\left[ \frac{t_s}{Z_0} \right] = \alpha_0 \left[ \frac{Y_2}{D} \right]^{\alpha_1}; \quad F_r = \frac{q}{g^{1/2} Y_2^{3/2}}$$

Fig 3.8 Relación  $Y_2/D-t_s/Z_0$ , para  $F_r=0.1, 1.0$  y  $10$ , utilizando el criterio de Vizgo para calcular  $t_s$

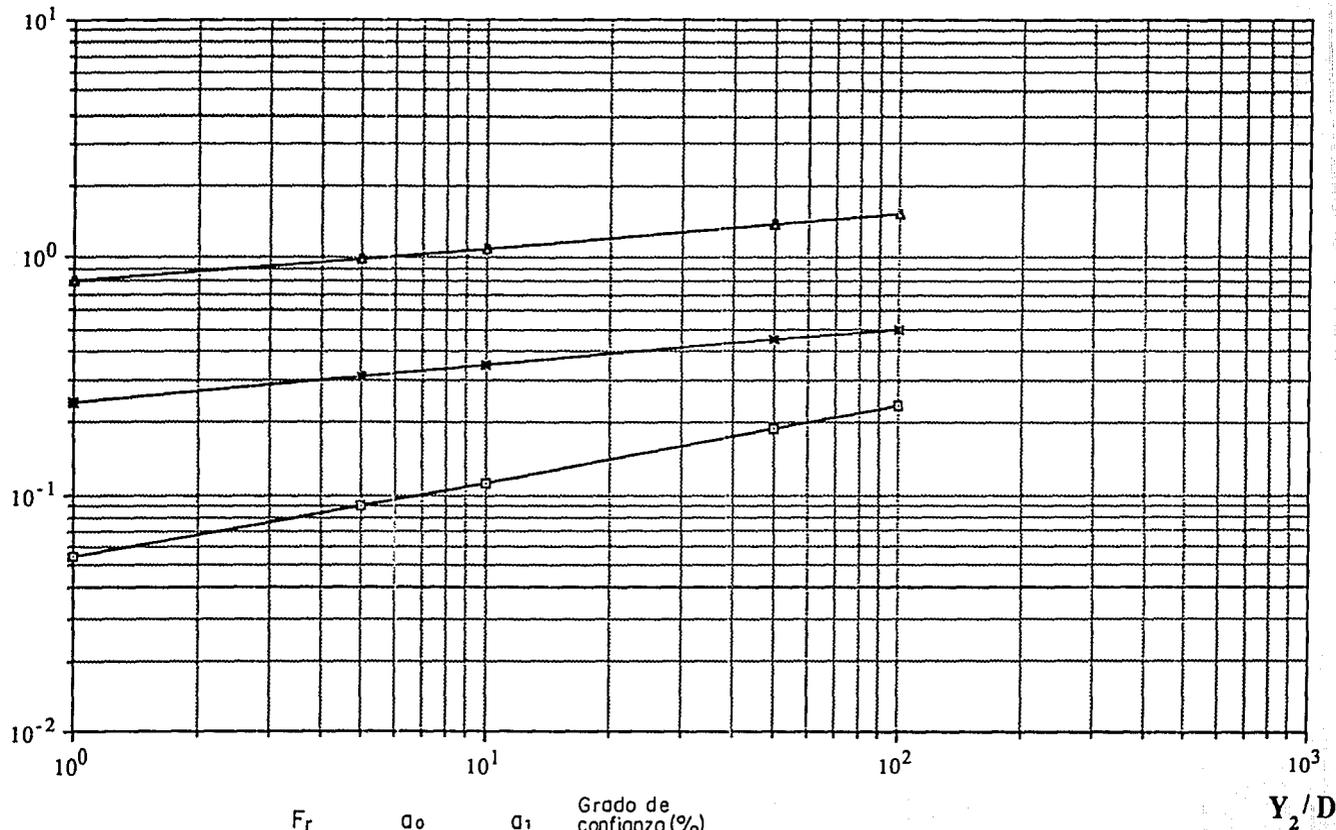


$D_c$	$a_0$	$a_1$	Grado de confianza (%)
—○— 0.001	0.81956	0.03761	80.0
—■— 0.01	1.54469	0.00954	94.1
—○— 0.1	2.70768	0.04961	55.5

$$\left[ \frac{t_s}{Z_0} \right] = a_0 \left[ \frac{Y_2}{D} \right]^{a_1}; \quad D_c = \frac{q^2}{g(Z_0 + Y_2)^3}$$

Fig 3.9 Relación  $Y_2/D - t_s/Z_0$ , para  $F_d = 0.01, 0.1$  y  $1.0$ ; utilizando el criterio de Vizgo para calcular  $t_s$

$t_s / z_0$

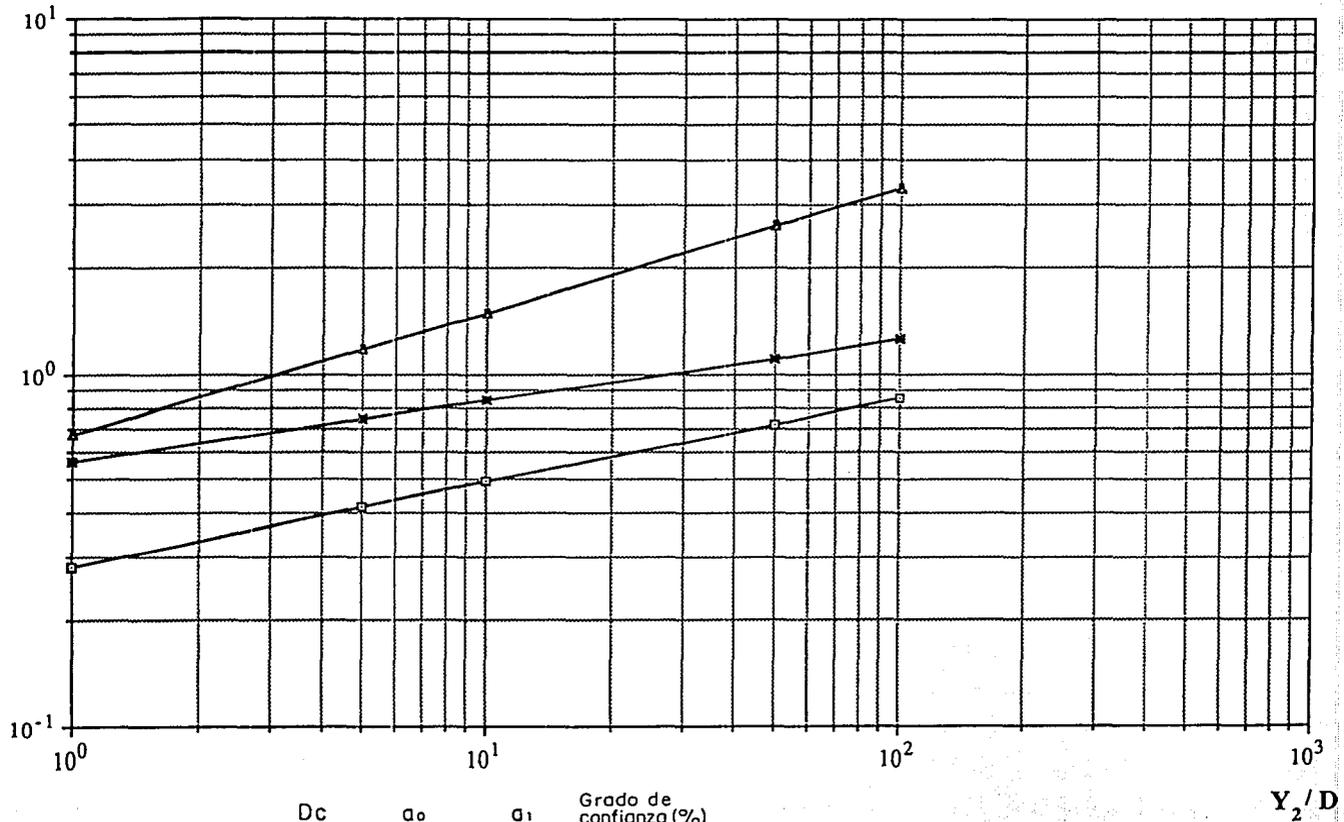


$F_r$	$\alpha_0$	$\alpha_1$	Grado de confianza (%)
□ 0.1	0.05417	0.31829	82.0
* 1.0	0.24190	0.15640	82.6
○ 10.0	0.79485	0.14038	75.0

$$\left[ \frac{t_s}{Z_0} \right] = \alpha_0 \left[ \frac{Y_2}{D} \right]^{\alpha_1}; \quad F_r = \frac{q}{g^{1/2} Y_2^{3/2}}$$

Fig 3.10 Relación  $Y_2/D-t_s/Z_0$ , para  $F_r=0.1, 1.0$  y  $10$ ; utilizando el criterio de Jaeger para calcular  $t_s$

$t_s/z_0$

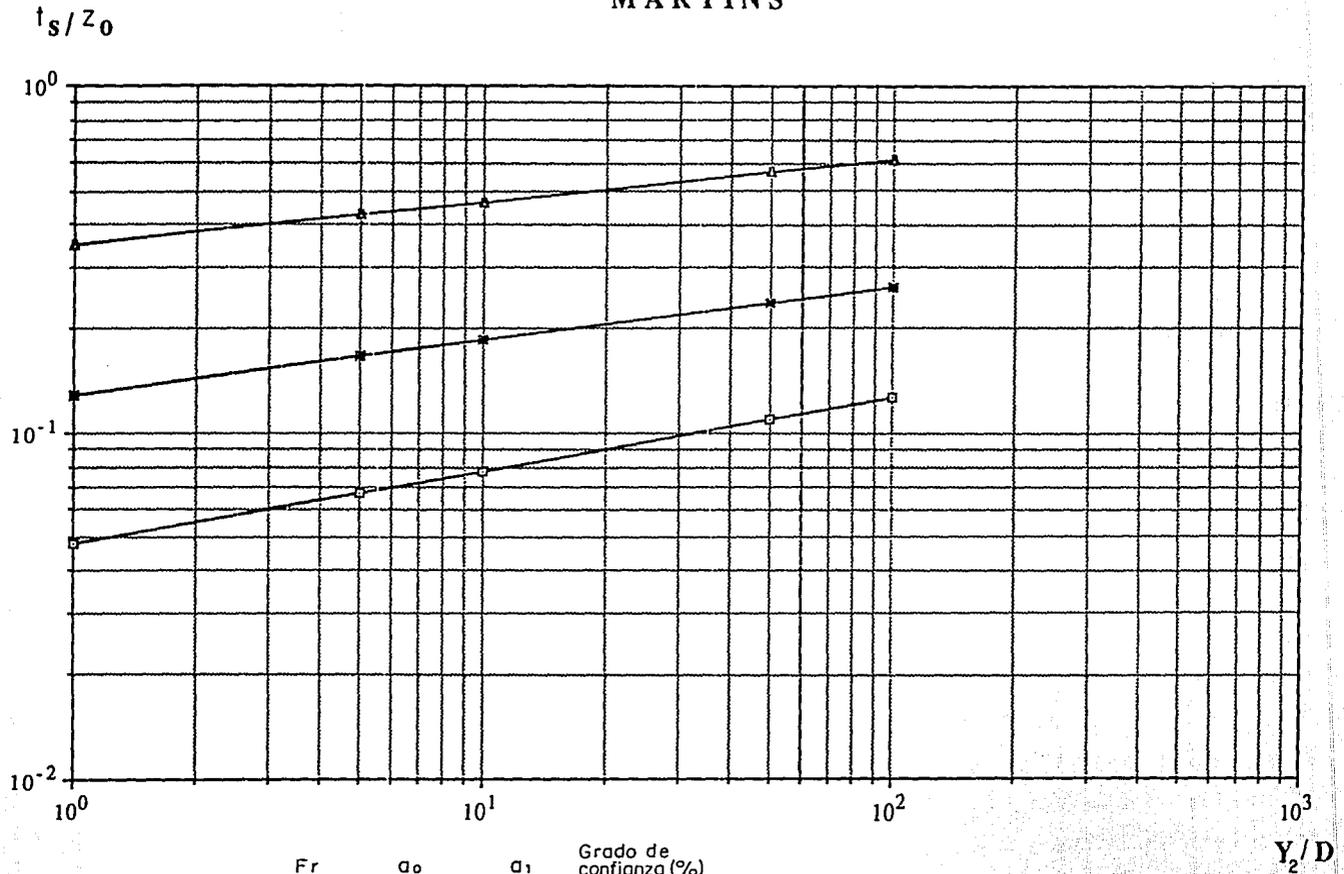


	$D_c$	$a_0$	$a_1$	Grado de confianza (%)
□	0.001	0.28098	0.24191	76.0
*	0.01	0.56317	0.17512	64.7
△	0.1	0.67487	0.34738	77.7

$$\left[ \frac{t_s}{z_0} \right] = a_0 \left[ \frac{Y_2}{D} \right]^{a_1} ; D_c = \frac{q^2}{g(z_0 + Y_2)^3}$$

Fig 3.11 Relación  $Y_2/D - t_s/z_0$ , para  $D_c = 0.001, 0.01$  y  $0.1$ ; utilizando el criterio de Jaeger para calcular  $t_s$

# MARTINS

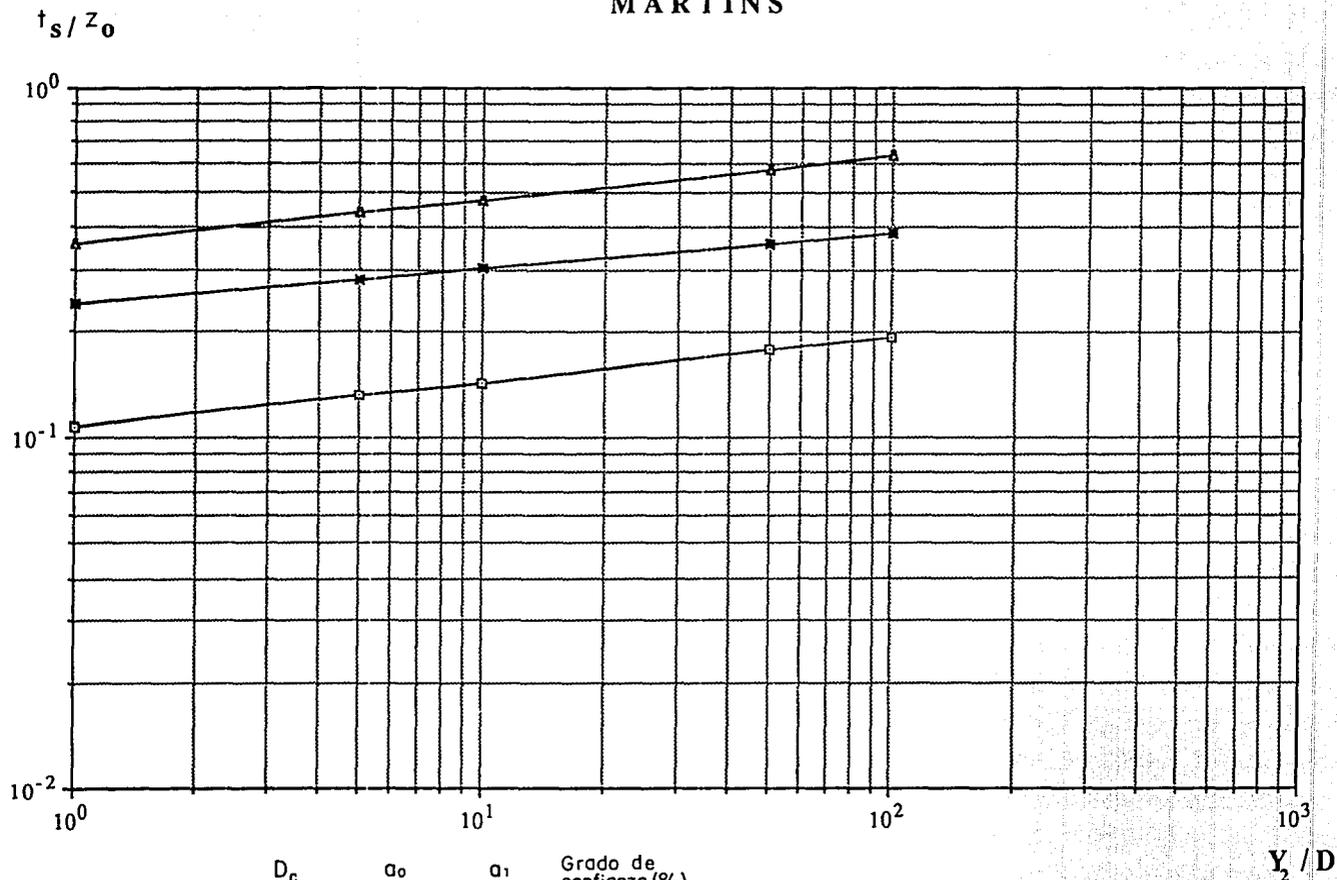


	$Fr$	$a_0$	$a_1$	Grado de confianza (%)
□	0.1	0.04782	0.21311	80.0
*	1.0	0.12948	0.15520	72.9
○	10.0	0.34763	0.12613	77.7

$$\left[ \frac{t_s}{Z_0} \right] = a_0 \left[ \frac{Y_2}{D} \right]^{a_1}; \quad Fr = \frac{q}{g^{1/2} Y_2^{3/2}}$$

Fig 3.12 Relación  $Y_2/D - t_s/Z_0$ , para  $Fr = 0.1, 1.0$  y  $10$ ; utilizando el criterio de Martins para calcular  $t_s$

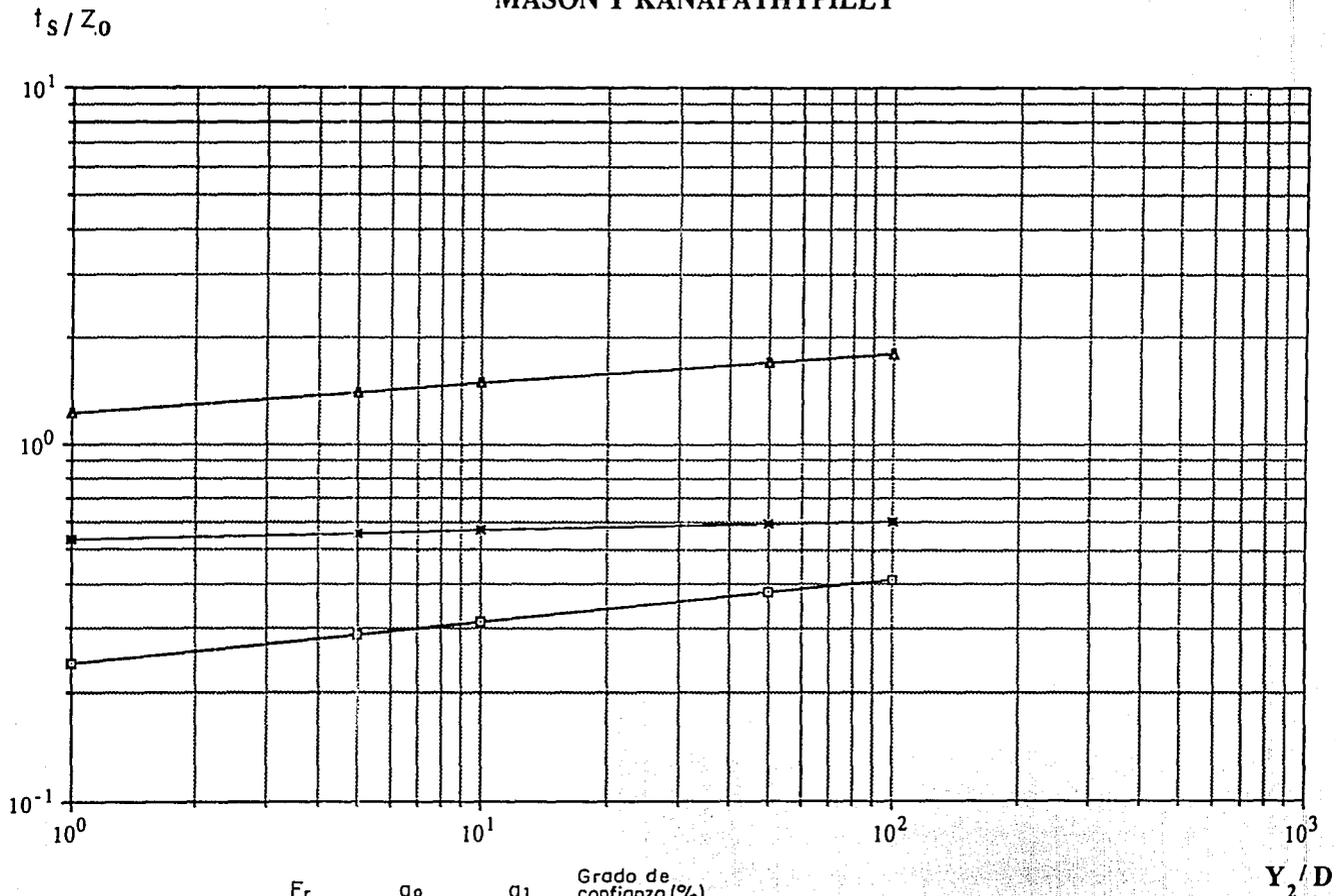
# MARTINS



$D_c$	$a_0$	$a_1$	Grado de confianza (%)
□ 0.001	0.10721	0.12788	82.0
* 0.01	0.24088	0.10155	73.1
△ 0.1	0.35747	0.12518	27.3

$$\left[ \frac{t_s}{z_0} \right] = a_0 \left[ \frac{Y_2}{D} \right]^{a_1}; \quad D_c = \frac{q^2}{g(z_0 + Y_2)^3}$$

Fig 3.13 Relación  $Y_2/D - Y_s/Z_0$ ; para  $D_c = 0.001, 0.01$  y  $0.1$ , utilizando el criterio de Martins para calcular  $Y_s$



$F_r$	$\alpha_0$	$\alpha_1$	Grado de confianza (%)	
□	0.1	0.23943	0.11787	68.0
✕	1.0	0.53478	0.02512	82.6
△	10.0	1.23095	0.08365	75.0

$$\left[ \frac{t_s}{Z_0} \right] = \alpha_0 \left[ \frac{t_z}{D} \right]^{\alpha_1}; \quad F_r = \frac{q}{g^{1/2} \nu^{3/2}}$$

Fig 3.14 Relación  $Y_2/D - t_s/Z_0$ ; para  $F_r = 0.1, 1.0$  y  $10$ ; utilizando el criterio de Mason y Kanapathypilly para calcular  $t_s$

# MASON Y KANAPATHYPILLY

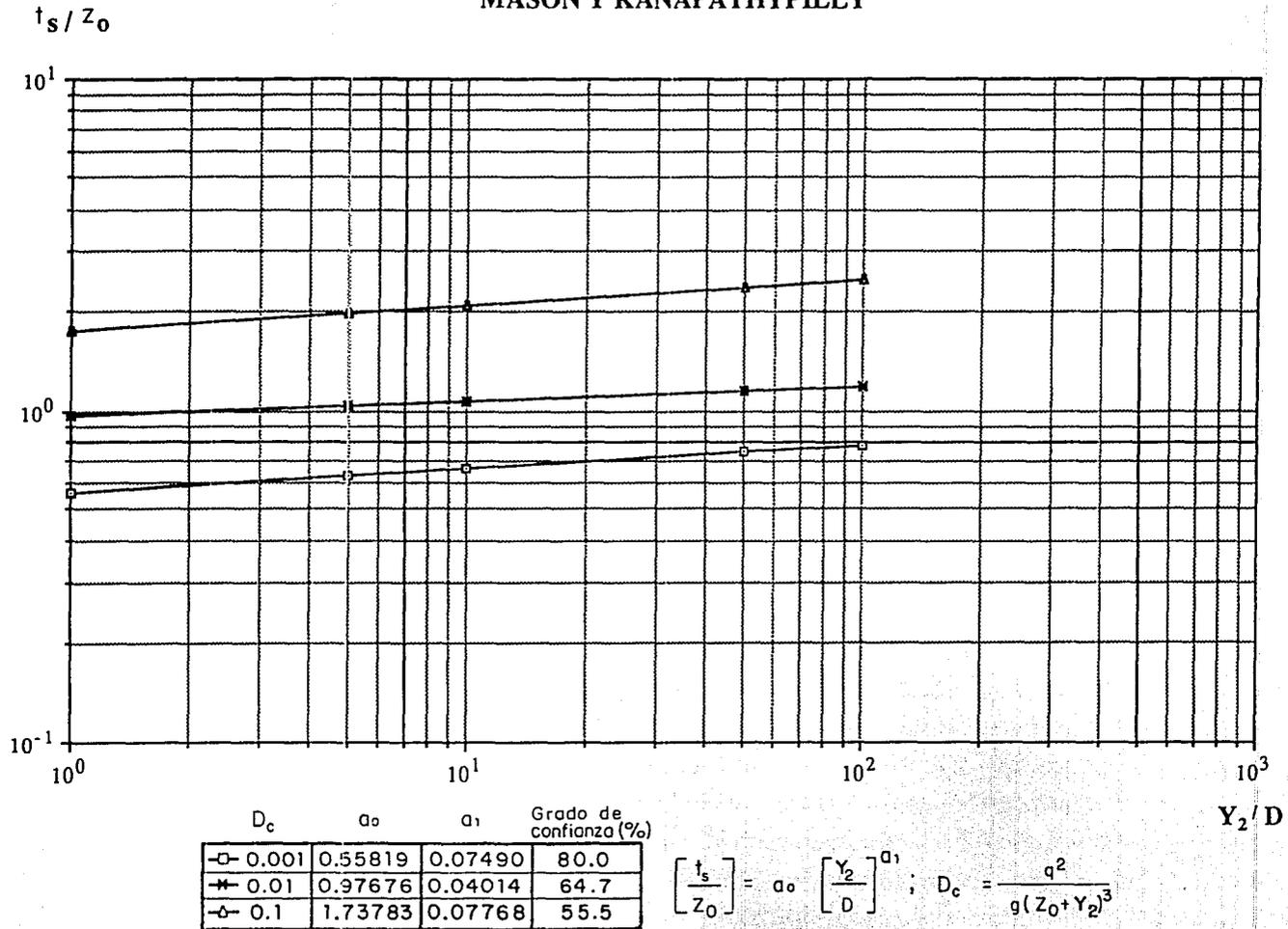


Fig 3.15 Relación  $Y_2/D - t_s/Z_0$ , para  $D_c = 0.001, 0.01$  y  $0.1$ ; utilizando el criterio de Mason y Kanapathypilly para calcular  $t_s$

CORRELACION  $F_r = 0.10, 1.0, 10.0$

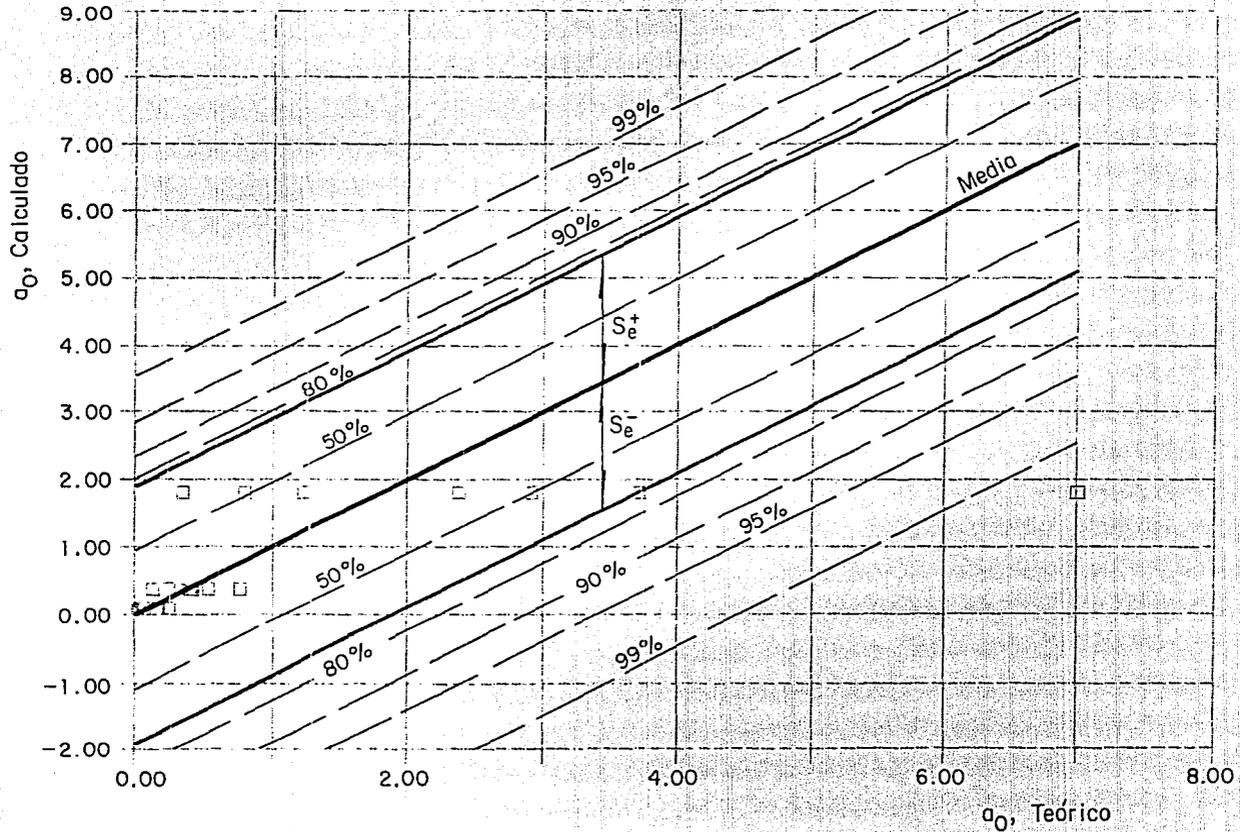


Fig 3.16 Correlación de  $a_0$  teórico y calculado para  $F_r = 0.10, 1.0$  y  $10.0$  para diferentes intervalos de confianza, en %

CORRELACION  $F_r = 0.10, 1.0, 10.0$

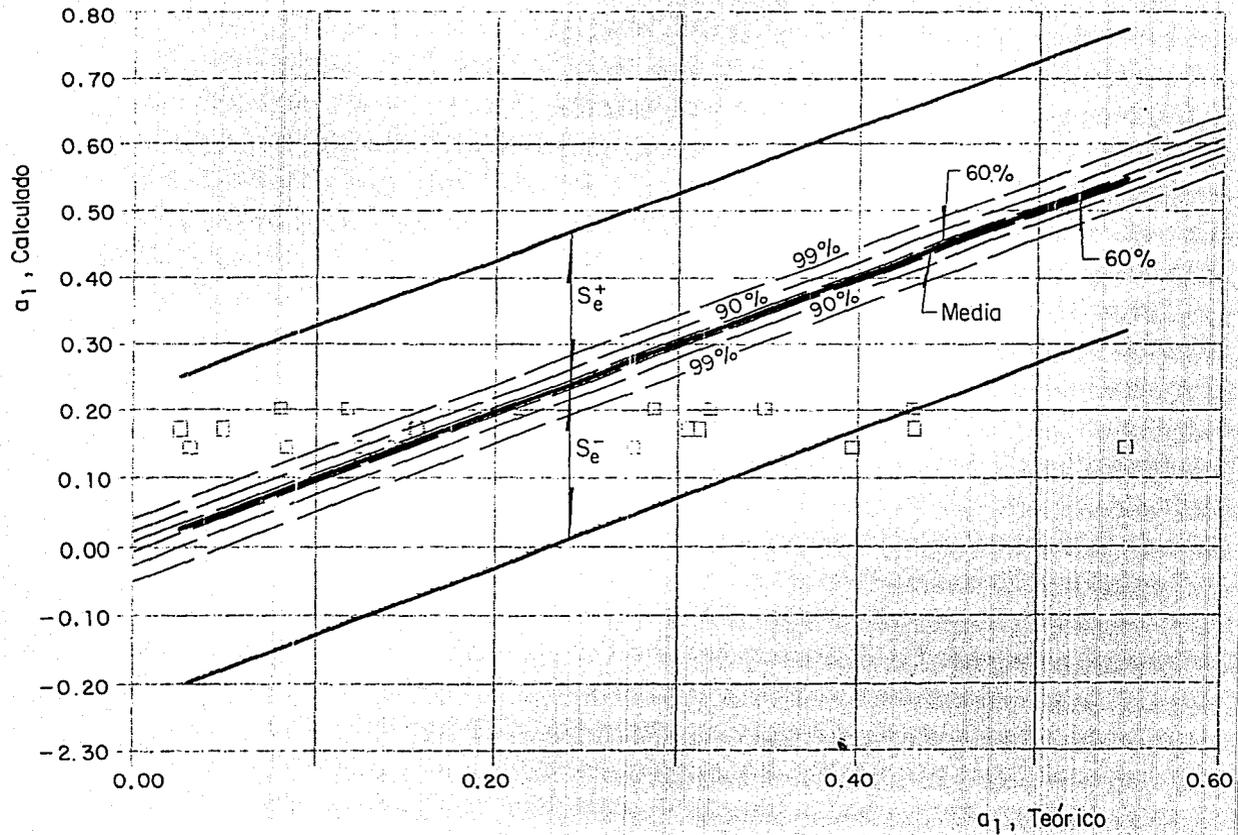


Fig 3.17 Correlación de  $a_1$  teórico y calculado para  $F_r = 0.10, 1.0$  y  $10.0$  para diferentes intervalos de confianza, en %

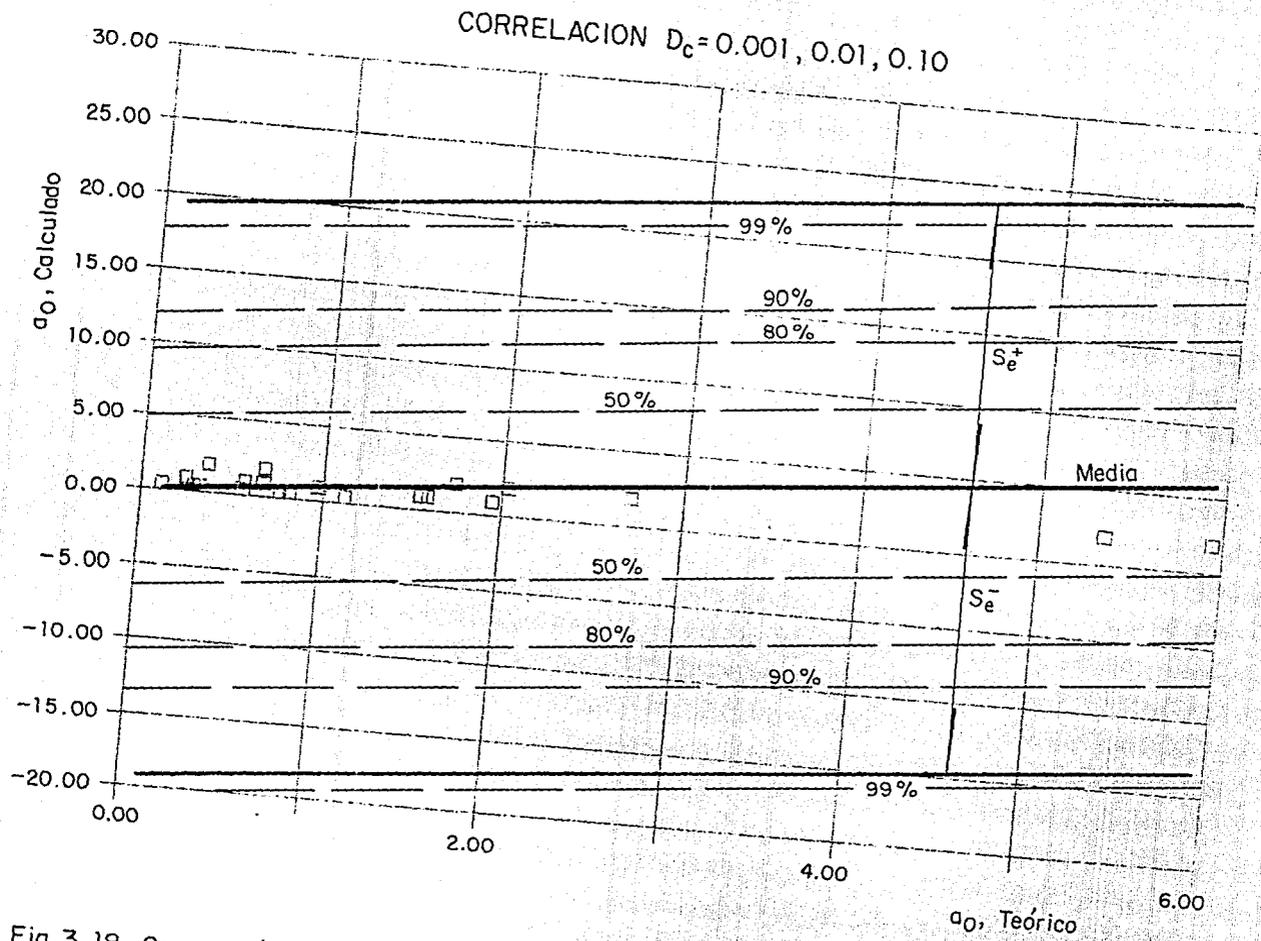


Fig 3.18 Correlación de  $\alpha_0$  teórico y calculado para  $D_c = 0.001, 0.01$  y  $0.10$  para diferentes intervalos de confianza, en %

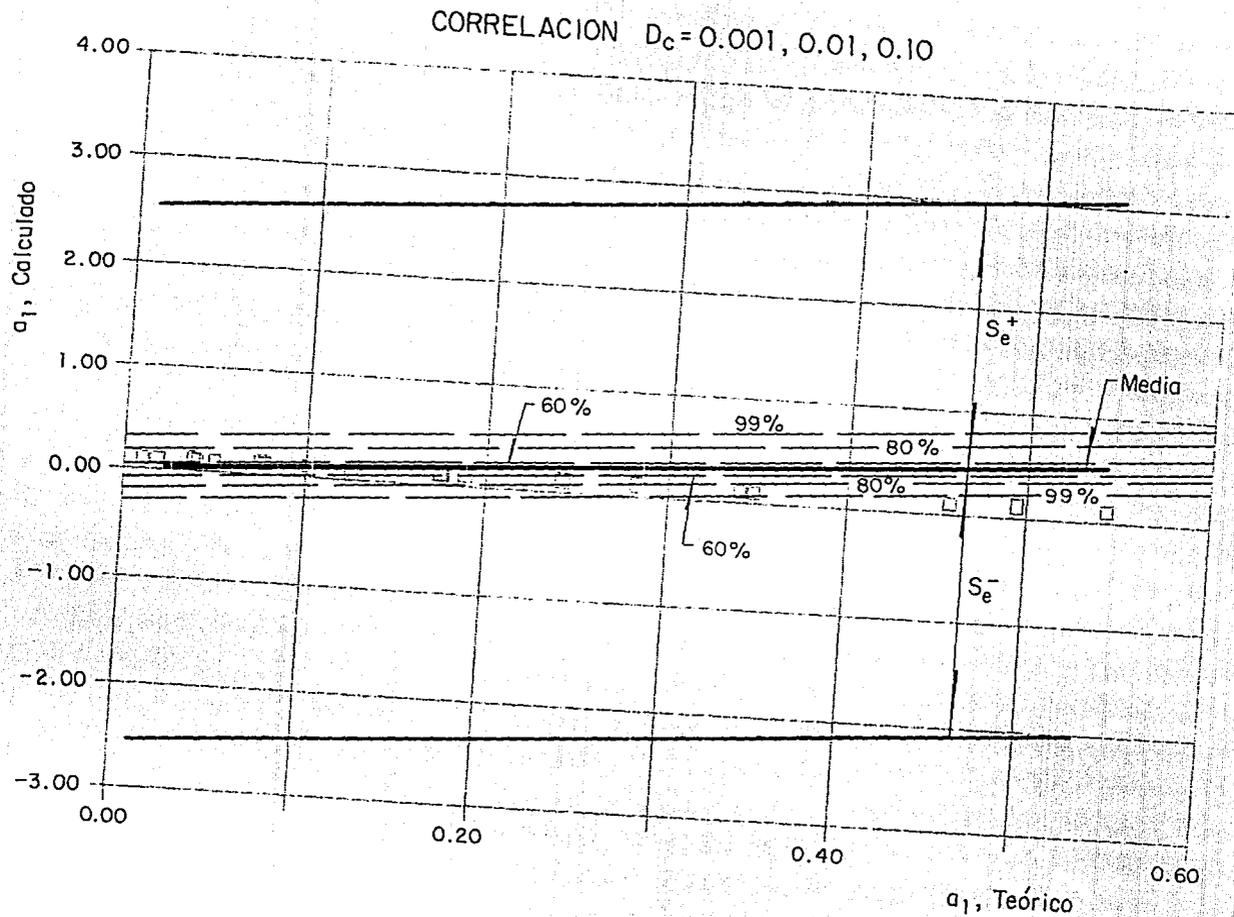
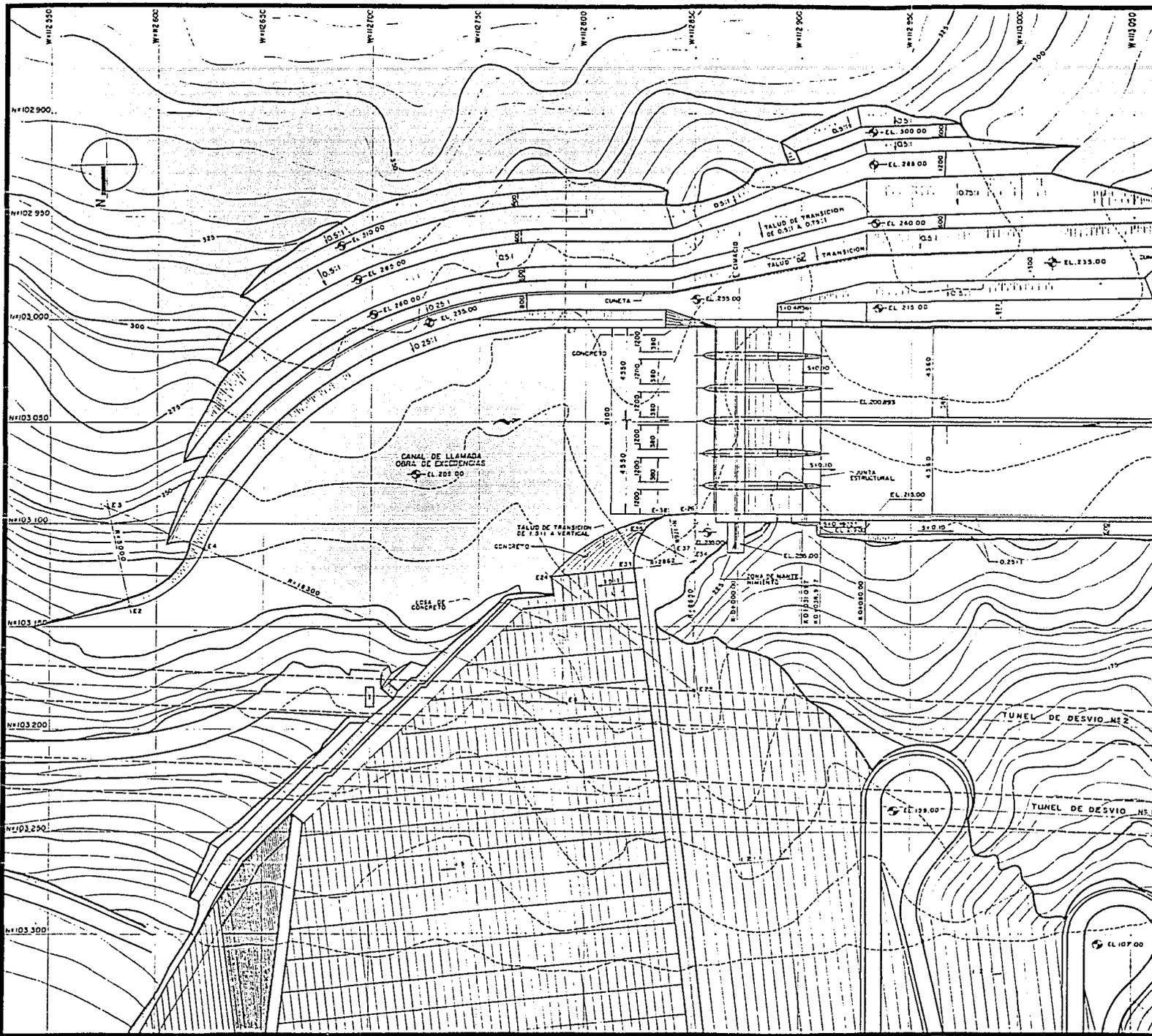
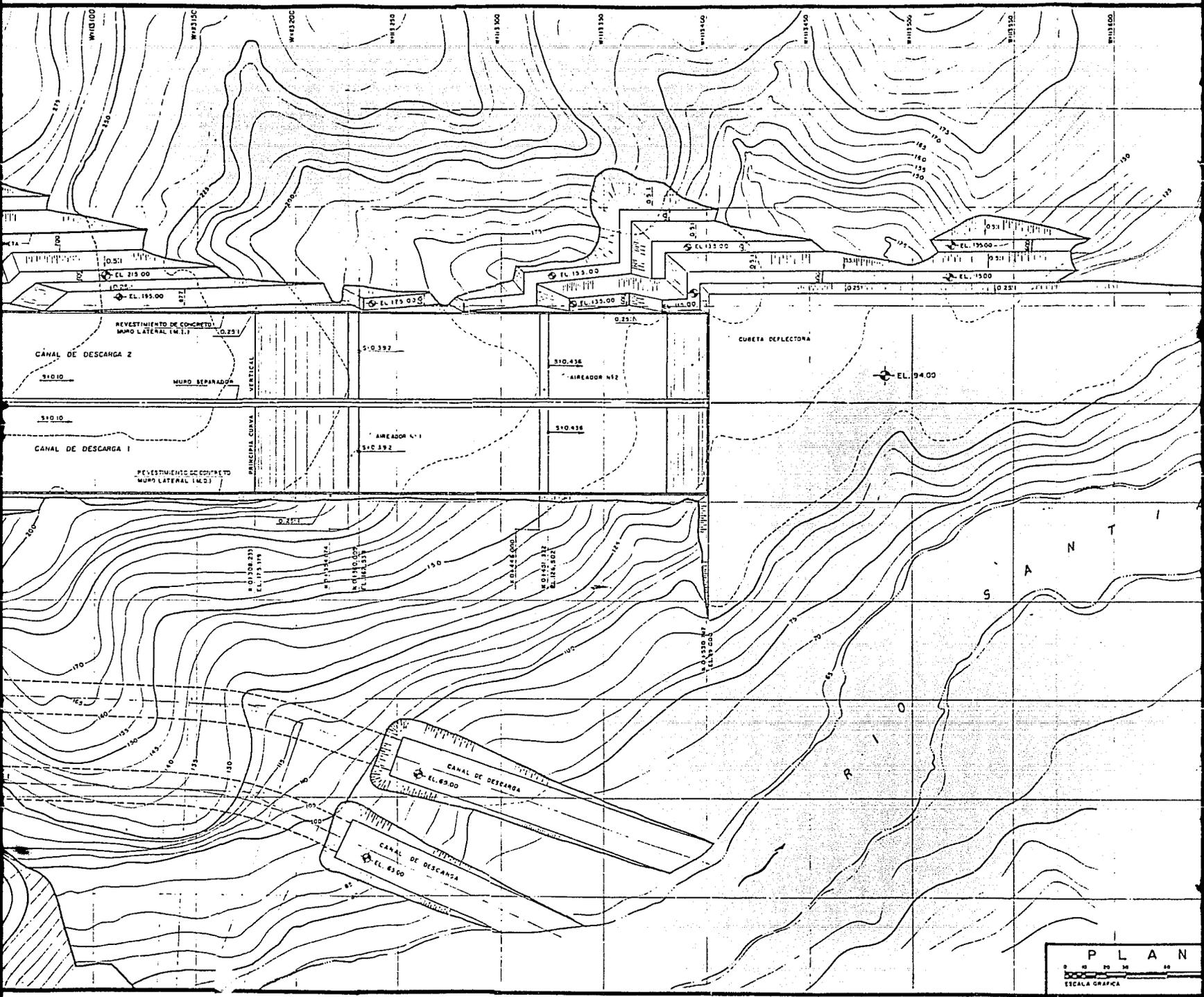


Fig 3.19 Correlación de  $a_1$  teórico y calculado para  $D_c = 0.001, 0.01, 0.10$  para diferentes intervalos de confianza, en %

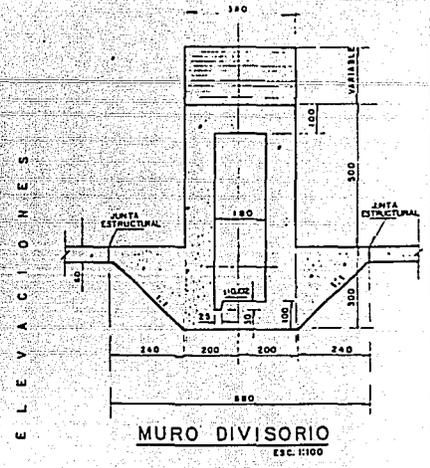
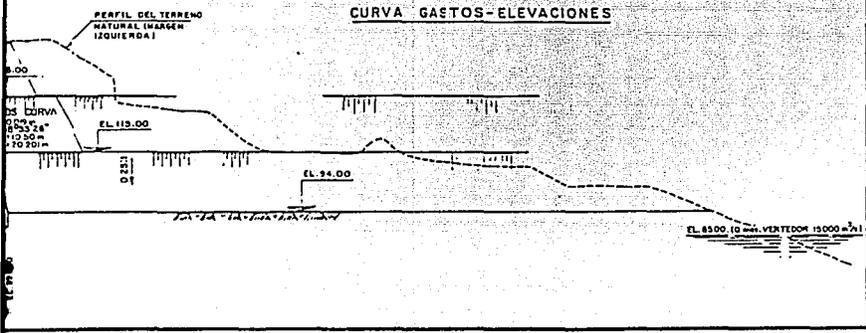
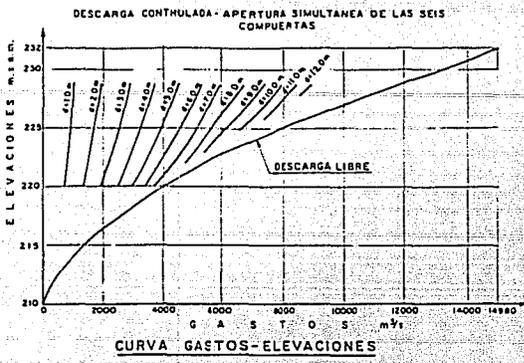




PLAN  
 0 10 20 30 40  
 ESCALA GRAFICA







**NOTAS:**

- 1.- ACOTACIONES EN CENTIMETROS, EXCEPTO LAS INDICADAS EN OTRA UNIDAD.
- 2.- ELEVACIONES Y CADENAMIENTOS EN METROS.
- 3.- EN AMBAS MARGENES DEL CANAL DE DESCARGA SE HARA UN CORTE VERTICAL CUYA TRAZA SUPERIOR TENDRA UNA ALTIMA DE 11.00 MSL. A PARTIR DEL PISO TERMINADO SE ESTENDERA DESDE KO+080.00 HASTA LA CUBETA DEFLECTORA DEL MODO 38.977 M. ESTANDO EL CORTE VERTICAL TENDRA UNA ALTIMA DE 14.30 M A PISO TERMINADO

ESTE PLANO SUSTITUYE AL DEL MISMO TITULO Y CLASIFICACION DE FECHA JUNIO 1989

2	SE AGREGARON COTAS, CADENAMIENTOS, ELEVACIONES	G.M.P.
16/01/92	MES Y SE AMPLIO LA NOTA No. 3	
18	REV. SE MODIFICO CUBETA, MURO CENTRAL, PISAS, MUROS LATERALES Y SE UBICARON LOS ALICATADOS Y NOTAS	G.P.P.
REVISION		
FECHA	DESCRIPCION	IND. EST. ELEC. MEC.
REVISIONES		

**C.F.E.** COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN  
GERENCIA DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS  
SUBGERENCIA DE DISEÑO

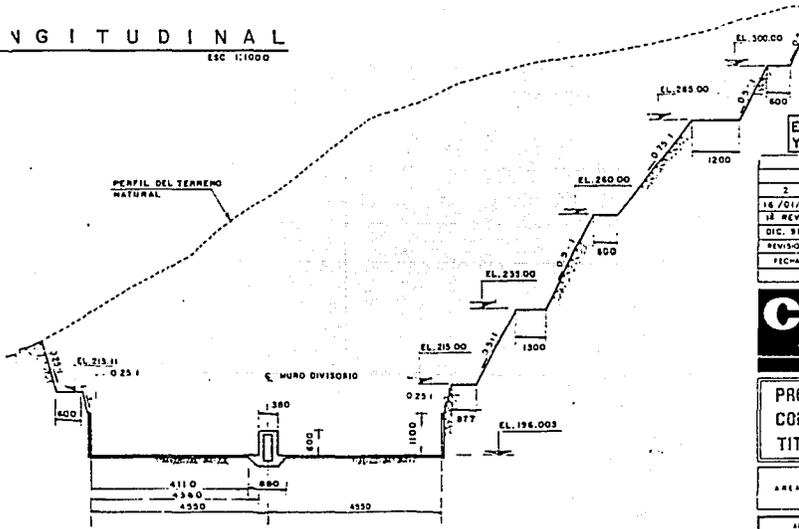
PROYECTO HIDROELECTRICO AGUAMILPA  
CONJUNTO: OBRA DE EXCEDENCIAS  
TITULO: PLANO GENERAL

AREA DE DISEÑO DEPTO. DE INGENIERIA CIVIL Fig. 3.21

APROBADO PARA CONSTRUCCION		FECHA	HOJA
SUPERVISOR	ELABORADO		
HIDRAULICA			
ESTRUCTURAL			
ELECTRICA			
MECANICA			
APROBADO		FECHA	HOJA
Jefe de Proyecto: <i>[Signature]</i>		MAYO/1991	2 DE 2

PROYECTO	ING. OSCAR RUIZ PERA	CLASE	13.873
DESIGNADO	ING. RAUL VALADEZ B.	FECHA	17.08.82
INGENIERO	ING. ALEJANDRO LEON R.	FECHA	17.04.82
INGENIERO	ING. ENOCH ABASADO CACHO	FECHA	16.970

CORTE TRANSVERSAL  
CADENAMIENTO KO+080.000  
ESC. 1:75



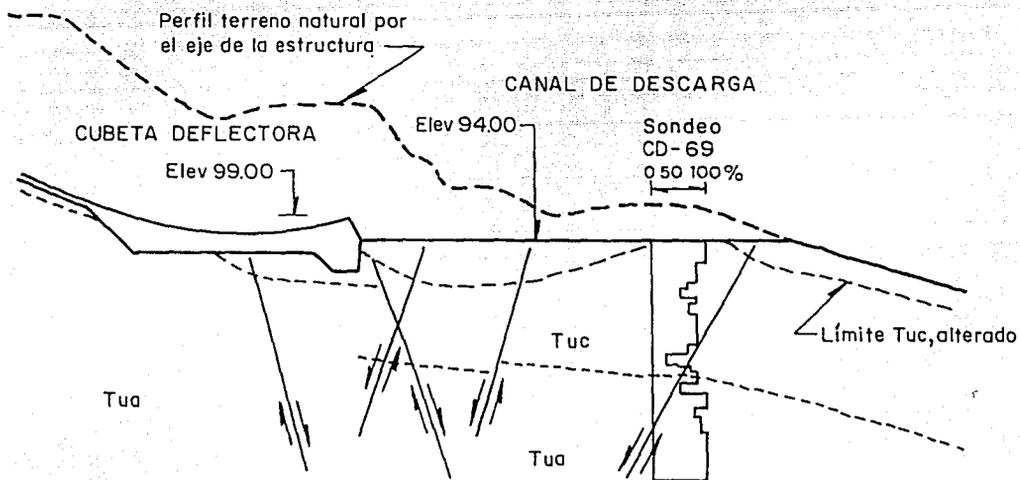


Fig 3.22 Perfil geológico por el eje de la obra de excedencias del Proyecto Presa Aguamilpa, Nayarit

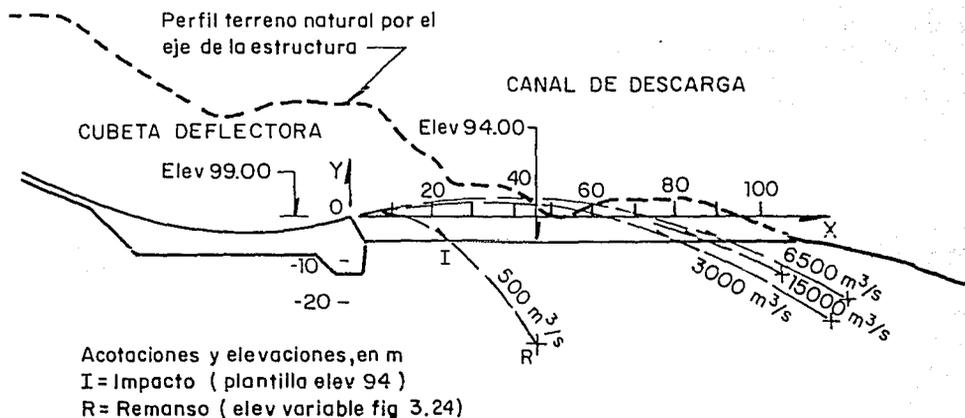


Fig 3.23 Trayectoria de chorro, para diversos gastos de operación Proyecto Presa Aguamilpa, Nayarit. Criterio USBR

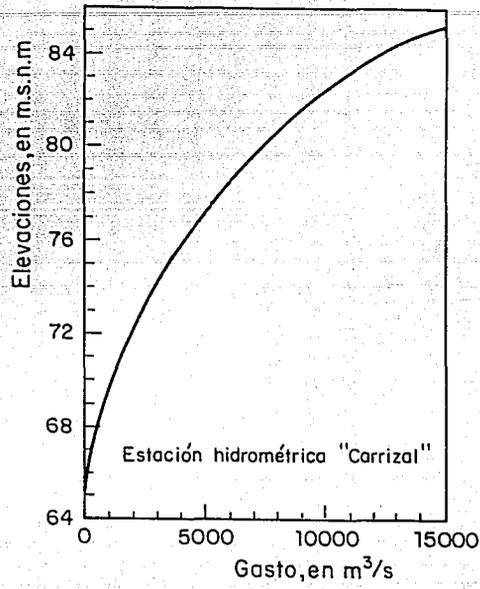


Fig 3.24 Elevaciones - gastos del río