



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
EAP. DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDO

Diseño hidráulico de una rápida para el proyecto : construcción
del canal principal de Fortaleza, distrito Congas, provincia Ocros,
Región Ancash

MONOGRAFÍA TÉCNICA
para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR
Julio Palomino Bendezu

Lima - Perú
2003

INDICE

- 1.0 INTRODUCCION
- 2.0 OBJETIVOS
- 3.0 FUNDAMENTO TEORICO
 - 3.1 DESCRIPCION
 - 3.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO
 - Coefficiente de rugosidad de Manning
 - Transiciones
 - Tramo inclinado
 - Trayectoria
 - Poza disipadora
 - Formación de ondas
- 4.0 INFORMACION BASICA
 - 4.1 Esquema perfil de la rápida
 - 4.2 Parámetros hidráulicos aguas arriba y aguas abajo de la rápida.
 - 4.3 Información básica de la rápida
 - 4.4 Plano de Planta y Perfil del canal (ver ANEXOS)
- 5.0 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO
 - 5.1 PASOS
 - 5.2 DESCRIPCION
 - Diseño Transición de entrada
 - Diseño Tramo inclinado
 - Diseño Trayectoria
 - Diseño Poza Disipadora
 - Diseño Transición de salida
- 6.0 MEMORIA DE CALCULO
 - 6.1 Diseño canal aguas arriba y aguas abajo de la rápida
 - 6.2 Calculo ancho de solera de rápida y el tirante de la sección de control.
 - 6.3 Calculo hidráulico de la transición de entrada
 - 6.4 Calculo hidráulico en el canal rápida
 - 6.5 Calculo del tirante conjugado menor y cota de elevación de Poza Disipadora.
 - 6.6 Verificación operación de la Poza Disipadora
 - 6.7 Longitud de Poza Disipadora

- 6.8 Borde Libre de Poza Disipadora
- 6.9 Transición de Salida

- 7.0 RESULTADOS
 - 7.1 CUADRO DE CALCULOS
Cuadro N° 2 - Método de incrementos finitos para el desarrollo de tirantes en el canal rápida.
 - 7.2 GRAFICOS DE DISEÑO
Gráfico N° 2 - Curva Energía vs Tirante canal rápida
Gráfico N° 3 - Curva Tirante vs Elevaciones de Poza Disipadora
Gráfico N° 4 - Empalme Trayectoria y fondo de Poza Disipadora.
 - 7.3 CUADRO DE RESULTADOS
Cuadro N° 4 - Coordenadas y elevaciones de la trayectoria parabólica.
Cuadro N° 5 - Dimensiones de las estructuras de la rápida

- 8.0 CONCLUSIONES

- 9.0 BIBLIOGRAFIA

- 10.0 ANEXOS
 - 10.1 Plano de planta y perfil del canal
 - 10.2 Plano de ubicación de la zona del proyecto
 - 10.3 Plano topográfico de la rápida
 - 10.4 Plano de diseño hidráulico de rápida
 - 10.5 Fotografías

1.0 INTRODUCCION

La presente Monografía Técnica ilustra la aplicación de estructuras de rápidas en canales. Se basa en información desarrollada para el Proyecto: “Construcción del Canal Fortaleza”.

El Canal de Fortaleza se desarrolla en una extensión de 4.35 Km de longitud y tiene una capacidad de conducción de 300 lt/s. La canalización permitirá evitar las pérdidas por filtración, que en la acequia existente llegan hasta un 30% del volumen de agua que discurre por ella. Asimismo posibilitará mejorar el riego de las tierras de cultivo que actualmente se encuentran ociosas.

La ubicación política del Proyecto corresponde al distrito de Congas, provincia de Ocros, departamento de Ancash. Altitudinalmente la captación se localiza a 3800 msnm.

Los trabajos de campo y elaboración del expediente se desarrollaron el año 2000. La comunidad beneficiaria actualmente viene gestionando la aprobación del mismo ante el CTAR- Ancash.

El desarrollo de la Monografía supone la solución al problema de caídas abruptas mediante rápidas como elementos de enlace entre dos tramos de canal con diferencia de cotas apreciables en longitudes cortas, en donde no es aplicable la ecuación de Manning. En tal sentido, este trabajo desarrolla sólo uno de los métodos existentes en el diseño hidráulico de rápidas, al que se le ha reforzado mediante el empleo de la hoja de cálculo para el procesamiento de datos y la obtención de los gráficos requeridos.

2.0 OBJETIVOS

Planteamiento del Problema

El canal actual de Fortaleza es una acequia rústica construida sobre un relieve accidentado perteneciente a la cadena montañosa de la Cordillera Negra. La información geológica y los trabajos de reconocimiento de campo demuestran que hasta un 80% del suelo conformante es rocoso (roca dura o compacta, tipo andesita). El trazo se ha desarrollado sobre ese tipo de terreno, procurando sortear su relieve que es muy accidentado y de fuertes pendientes. Un nuevo trazo para corregir la pendiente a todo lo largo del canal implicaría un recorrido distinto pero con las mismas características geológicas del terreno.

Por ello, la decisión tomada fue aprovechar la excavación ya existente, efectuar un revestimiento de concreto del canal y diseñar la construcción de un sistema de rápidas para empalmar dos tramos de canal mediante fuertes caídas en donde sea posible disipar la energía y asegurar la vida útil como la operación de las estructuras del canal.

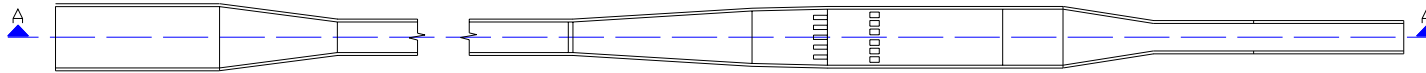
Objetivos

- Realizar el diseño hidráulico de una rápida.
- Optimizar el diseño hidráulico para obtener una estructura económica y funcional.
- Mantener el trazo y excavación de una canal, permitiendo la conexión de los tramos en toda su longitud mediante la construcción de rápidas.
- Proporcionar al Proyectista una fuente de información que le sirva de guía para diseñar eficientemente dicha estructura.

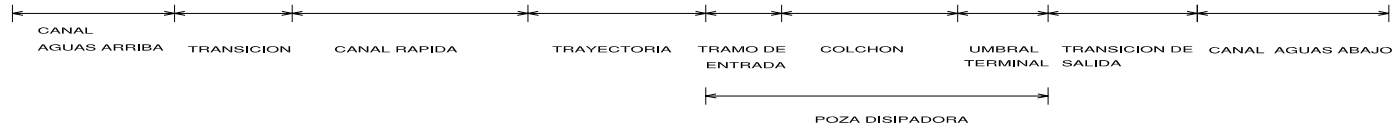
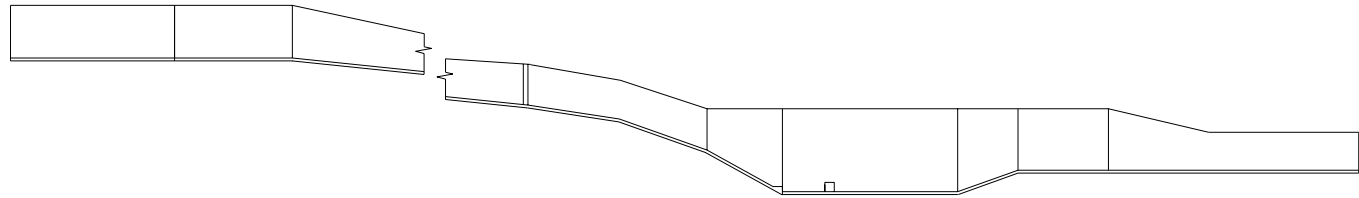
RAPIDA RECTANGULAR TIPICA

Figura N° 1

PLANTA



SECCION A - A



3.0 FUNDAMENTO TEORICO.

3.1 DESCRIPCION

Las **RAPIDAS** son usadas para conducir agua desde una elevación mayor a una más baja. La estructura puede consistir de:

Una transición de entrada.

Un tramo inclinado

Un dissipador de energía

Una transición de salida.

La Figura N° 1 muestra la relación de las diferentes partes de la estructura.

La transición de entrada

Transiciona el flujo desde el canal aguas arriba de la estructura hacia el tramo inclinado. Debe proveer un control para impedir la aceleración del agua y la erosión en el canal. El control es logrado por la combinación de una retención, un vertedero o un control notch en la entrada. La entrada usada deberá ser simétrica con respecto al eje de la rápida, permitir el paso de la capacidad total del canal aguas arriba hacia la rápida con el tirante normal de aguas arriba, y donde sea requerido, permitir la evacuación de las aguas del canal cuando la operación de la rápida sea suspendida.

Las pérdidas de carga a través de la entrada podrían ser despreciadas en el caso que sean lo suficientemente pequeñas que no afecten el resultado final. De otra manera, las pérdidas a través de la entrada deben ser calculadas y usadas en la determinación del nivel de energía en el inicio del tramo inclinado. Si la pendiente del fondo de la entrada es suave puede asumirse que el flujo crítico ocurre donde la pendiente suave de la entrada cambia a la pendiente fuerte del tramo inclinado. En el caso que la pendiente de la entrada sea suficientemente pronunciada para soportar una velocidad mayor que la velocidad crítica, debería calcularse dicha

velocidad y tirante correspondiente, para determinar la gradiente de energía al inicio del tramo inclinado.

El tramo inclinado, con canal abierto, generalmente sigue la superficie original del terreno y se conecta con un dissipador de energía en el extremo más bajo.

Poza Disipadora o salidas con obstáculos (baffled outlets) son usadas como dissipadores de energía en este tipo de estructuras.

Una transición de salida es usada cuando es necesaria para conectar el flujo entre el dissipador de energía y el canal aguas abajo. Si es necesario proveer el tirante de aguas abajo (tailwater) al dissipador de energía, la superficie de agua en la salida debe ser controlada. Si se construye una transición de salida de concreto y no hay control del flujo después en el canal, la transición puede ser usada para proveer el remanso elevando el piso de la transición en el sitio de la uña, como se muestra en la Figura N°1.

El tirante de aguas abajo también puede ser provisto por la construcción de un control dentro de la transición de salida. La pérdida de carga en la transición de salida es despreciable.

3.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

Coefficiente de Rugosidad de Manning

En el cálculo de las características de flujo en una estructura de este tipo son usados valores conservadores del coeficiente de rugosidad de Manning (n)

- Cuando se calcula la altura de muros en una rápida de concreto, se asume valores de $n = 0.014$.
- En el cálculo de niveles de energía, valores de $n = 0.010$

Transiciones

Las transiciones en una rápida abierta, deben ser diseñadas para prevenir la formación de ondas. Un cambio brusco de sección, sea convergente o divergente, puede producir ondas que podrían causar perturbaciones, puesto que ellas viajan a través del tramo inclinado y el dissipador de energía. Para evitar la formación de ondas, el máximo ángulo de deflexión es calculado como sigue:

$$\text{Cotang } \alpha = 3.375 F \quad (1)$$

Lo que significa que la cotangente del ángulo de deflexión de la superficie de agua en el plano de planta desarrollado de cada lado de una transición no debería ser menor que 3.375 veces el número de Froude (F). Esta restricción sobre ángulos de deflexión se aplicaría para cada cambio de sección hecha en la entrada, en el tramo inclinado o en la poza dissipadora.

Si esta restricción no controla el ángulo de deflexión, se considera:

- El ángulo de la superficie de agua con el eje de la transición de entrada, puede ser aproximadamente 30°.
- El máximo ángulo de la superficie de agua con el eje en la transición de salida puede ser aproximadamente 25°.

El número de Froude está expresado por:

$$F = \text{¡Error!} \quad (2)$$

donde:

d : Tirante de agua normal al piso de la rápida.

g : Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).

k : Un factor de aceleración, determinado abajo:

- Con el piso de la transición en un plano, k = 0
- Con el piso de la transición en una curva parabólica

$$K = \text{¡Error!} \quad (3)$$

θ : Ángulo de la gradiente del piso en el punto considerado.

El ángulo acampanado y los anchos para varios puntos a lo largo de la transición pueden ser calculados y trazados. Limitando este ángulo en una transición de entrada, se minimiza la posibilidad de separación y el inicio de flujo pulsante en aquella parte de la estructura.

Las transiciones de entrada asimétricas y cambios de alineación inmediatamente aguas arriba de la estructura, deben evitarse porque pueden producir ondas cruzadas o flujo transversal que continuará en el tramo inclinado.

Tramo inclinado

La sección usual para una rápida abierta es rectangular, pero las características de flujo de otras formas de sección, deben ser consideradas donde la supresión de ondas es una importante parte del diseño. La economía y facilidad de construcción son siempre considerados en la elección de una sección. Cuando es necesario incrementar la resistencia del tramo inclinado al deslizamiento, se usan “uñas” para mantener la estructura dentro de la cimentación.

Para RAPIDAS menores de nueve (9) metros de longitud, la fricción en la rápida puede ser despreciable. La ecuación de Bernoulli es usada para calcular las variables de flujo al final del tramo inclinado.

La ecuación:

$$Y_1 + h_{v1} + Z = Y_2 + h_{v2} \quad (4)$$

es resuelta por tanteo. Para tramos inclinados de longitud mayor que nueve (9) metros, se incluyen las pérdidas por fricción y la ecuación será:

$$Y_1 + h_{v1} + Z = Y_2 + h_{v2} + h_f \quad (5)$$

En las ecuaciones (4) y (5):

Y_1 : Tirante en el extremo aguas arriba del tramo (m).

h_{v1} : Carga de velocidad en el extremo aguas arriba del tramo (m)

Y_2 : Tirante en el extremo aguas abajo del tramo (m).

h_{v2} : Carga de velocidad en el extremo aguas abajo del tramo (m).

Z : Es el cambio en la elevación del piso (m).

h_f : Perdida por fricción en el tramo.

La cantidad h_f es igual a la pendiente de fricción promedio S_a en el tramo, multiplicado por la longitud del tramo L . La pendiente de fricción S_f en un punto del tramo inclinado es calculado como:

$$S_f = \text{¡Error!}$$

Donde:

El coeficiente n de Manning es asumido en 0.010

R : Radio hidráulico del tramo inclinado (m).

Usando la ecuación (4) o (5), se asume Y_2 y se calculan y comparan los niveles de energía. Deben hacerse tanteos adicionales hasta balancear los dos niveles de energía.

La altura de los muros en el tramo inclinado de sección abierta sería igual al máximo tirante calculado en la sección, más un borde libre, o a 0.4 veces el tirante crítico en el tramo inclinado, más el borde libre cualquiera que sea mayor. El borde libre mínimo recomendado para tramos inclinados de rápidas en canales abiertos con una capacidad menor a 2.8 m^3/s es 0.30 m. El tirante y el borde libre son medidos perpendicularmente al piso del tramo inclinado.

En velocidades mayores a 9 m/s, el agua puede incrementar su volumen, debido al aire incorporado que está siendo conducido. El borde libre

recomendado para los muros resultará de suficiente altura para contener este volumen adicional.

Trayectoria.

Cuando el disipador de energía es una poza, un corto tramo pronunciado debe conectar la trayectoria con la poza disipadora. La pendiente de este tramo varía entre 1.5: 1 y 3: 1, con una pendiente de 2: 1 preferentemente. Se requiere de una curva vertical entre el tramo inclinado y el tramo con pendiente pronunciada. Una curva parabólica resultaría en un valor de K constante en la longitud de la curva y es generalmente usado. Una trayectoria parabólica puede ser determinada de la siguiente ecuación:

$$Y = x \tan \theta_0 + \frac{1}{2} g t^2 \quad (7)$$

Donde:

x : Distancia horizontal desde el origen hacia un punto sobre la trayectoria (m).

Y: Distancia vertical desde el origen hacia el punto X en la trayectoria (m.).

L_t : Longitud horizontal desde el origen hacia el fin de la trayectoria (m).

θ_0 : Angulo de inclinación del tramo inclinado al comienzo de la trayectoria

θ_L : Angulo de inclinación del tramo pronunciado al final de la trayectoria.

Puede seleccionarse una longitud de trayectoria (L_t) que resulte en un valor $k = 0.5$ o menos, cuando es sustituida dentro de la ecuación (3) La longitud L_t es usada entonces en el cálculo de Y, usando la ecuación (7).

La trayectoria debería terminar en la intersección de los muros del tramo inclinado con los muros de la poza disipadora ó aguas arriba de este punto. Si es posible, la trayectoria debe coincidir con cualquiera que sea la transición requerida. Las variables de flujo en la trayectoria y en el tramo corto de pendiente pronunciada son calculados de la misma manera como fueron calculados en el tramo inclinado. Se asume una elevación para el piso de la poza disipadora y se calcula el gradiente de energía en la unión del tramo inclinado y el piso de la poza. Las variables del flujo en este

punto son usados como las variables aguas arriba del salto hidráulico en el diseño de la poza disipadora.

Poza disipadora

En una poza disipadora el agua fluye desde el tramo corto de pendiente pronunciada a una velocidad mayor que la velocidad crítica. El cambio abrupto en la pendiente, donde la pendiente suave del piso de la poza disipadora se une con el tramo corto de pendiente pronunciada, fuerza el agua hacia un salto hidráulico y la energía es disipada en la turbulencia resultante. La poza disipadora es dimensionada para contener el salto. Para que una poza disipadora opere adecuadamente, el número de Froude:

$$F = \text{¡Error!}$$

Debería estar entre 4.5 y 15, donde el agua ingresa a la poza disipadora. Estudios especiales o pruebas de modelos se requieren para estructuras con número de Froude fuera de este rango.

- Si el número de Froude es menor que aproximadamente 4.5 no ocurriría un salto hidráulico estable.
- Si el número de Froude es mayor que 10, una poza disipadora no sería la mejor alternativa para disipar energía.

Las pozas disipadoras requieren de un tirante de aguas abajo para asegurar que el salto ocurra donde la turbulencia pueda ser contenida.

Las pozas disipadoras usualmente tienen una sección transversal rectangular, muros paralelos y un piso a nivel. Las siguientes ecuaciones se aplican a este tipo de poza, para determinar el ancho de la poza y el tirante después del salto.

Para caudales hasta $2.8 \text{ m}^3/\text{s}$, la ecuación:

$$b = \text{¡Error!}$$

donde:

b: Ancho de la poza (m);

Q: Caudal (m^3/s).

Puede usarse a fin de determinar el ancho de una poza para los cálculos iniciales.

El tirante de agua después del salto hidráulico puede ser calculado de la fórmula:

$$Y_2 = \frac{v_1^2}{g} \left(\sqrt{1 + \frac{2gY_1}{v_1^2}} - 1 \right) \quad (8)$$

donde:

Y_1 : Tirante antes del salto (m)

v_1 : Velocidad antes del salto (m/s)

Y_2 : Tirante después del salto (m).

g : Aceleración de gravedad ($9.81 m/s^2$).

La cota del nivel de energía, después del salto hidráulico debería balancearse con la cota del nivel de energía en el canal, aguas abajo de la estructura. Si las cotas no están balanceadas, debería asumirse una nueva elevación para el piso de la poza o un nuevo ancho de poza y volverse a calcular los niveles de energía. Los tanteos se repiten hasta que el balance sea obtenido.

Las cotas seleccionadas deben ser revisadas para asegurar que la poza disipadora operará efectivamente, también con caudales menores al caudal del diseño. Los diseños son normalmente verificados con un tercio del caudal del diseño.

Si la revisión indica que sea necesario, el piso de la poza debería ser bajado o también se podría asumir un ancho diferente de la poza, para luego repetir el procedimiento de diseño.

La longitud mínima de poza (L_p en la Figura N° 1) para estructuras usadas en canales es normalmente 4 veces Y_2 . El borde libre recomendado para

pozas disipadoras puede ser determinado del Gráfico N° 1. El borde libre es medido sobre el nivel máximo de energía después del salto hidráulico. Cuando la poza disipadora descarga intermitentemente o descarga hacia un cauce natural u otro no controlado, debería construirse un control dentro de la salida de la poza, para proveer el tirante de aguas abajo necesario. El tirante crítico en la sección de control debe ser usado para determinar el nivel de energía después. Cuando la poza descarga hacia un canal controlado, el tirante en el canal debe ser calculado con el valor n del canal, reducido en un 20%, y este tirante usado para determinar el nivel de energía después. Lloraderos con filtro de grava pueden ser usados para aliviar la presión hidrostática sobre el piso y los muros de la poza disipadora y transición de la salida.

Bloques en el tramo inclinado y el piso son provistos para romper el flujo en chorro y para estabilizar el salto hidráulico. La ubicación, el espaciamiento y los detalles de los bloques se muestran en la Figura N° 5.

Formación de ondas

Las ondas en una rápida son objetables, porque ellas pueden sobrepasar los muros de la rápida y causar ondas en el disipador de energía. Una poza disipadora no sería un disipador de energía efectivo con este tipo de flujo porque no puede formarse un salto hidráulico estable.

Un flujo no estable y pulsátil puede producirse en rápidas largas con una fuerte pendiente.

Estas ondas generalmente se forman en rápidas, que son más largas que 60 metros aproximadamente, y tienen una pendiente de fondo más suave que 20. La máxima altura de onda que puede esperarse es dos veces el tirante normal para la pendiente, y la capacidad máxima del flujo momentáneo inestable y pulsátil es 2 veces la capacidad normal. Flujo transversal u ondas cruzadas pueden también desarrollarse en una rápida. Estas ondas son causadas por:

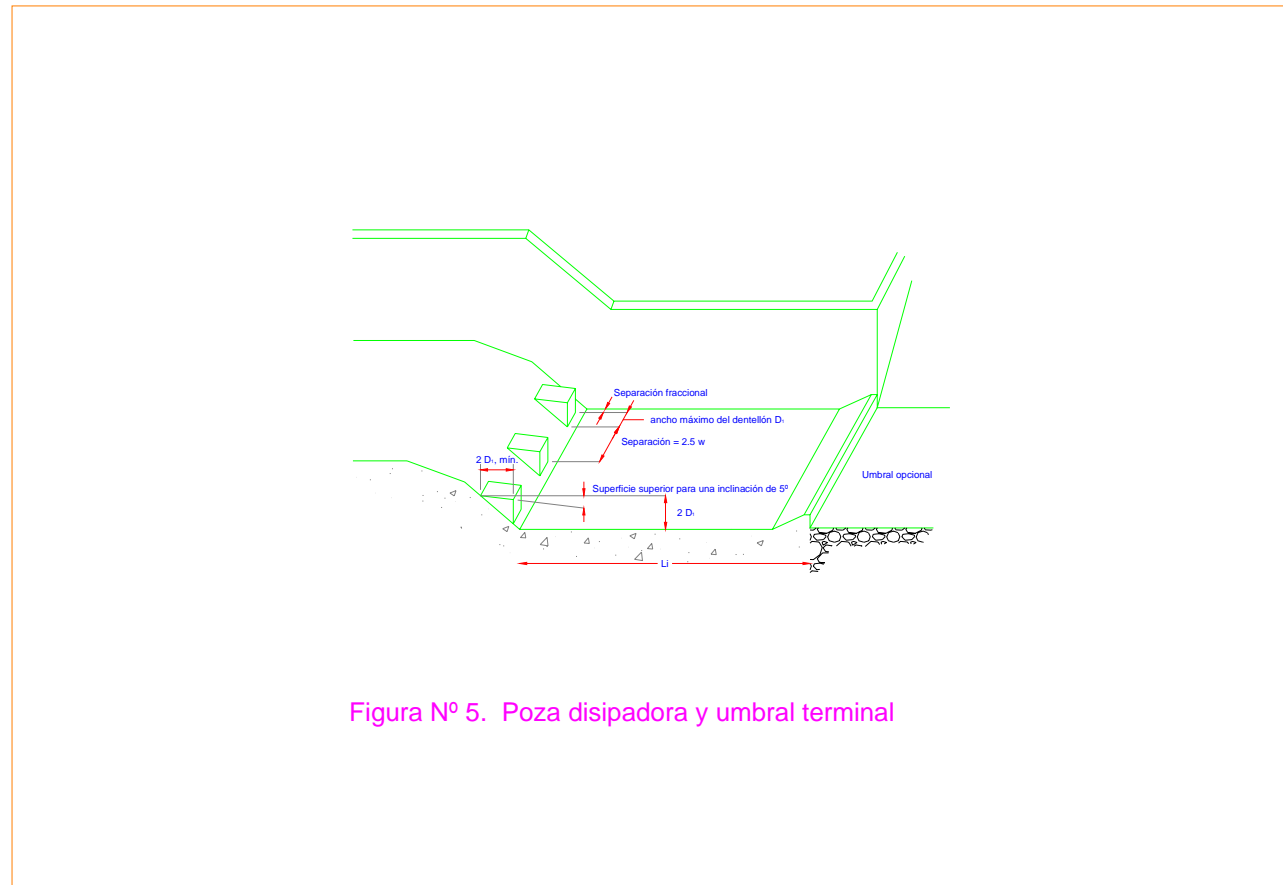


Figura Nº 5. Poza disipadora y umbral terminal

1. Transiciones abruptas de una sección del canal a otra.
2. Estructuras asimétricas
3. Curvas o ángulos en el alineamiento de la rápida.

Algunas secciones de la rápida son más probables a sufrir ondas que otras secciones. Secciones poco profundas y anchas (tipo plato) parecen ser particularmente susceptibles a flujo transversal, mientras que secciones profundas y angostas resisten tanto el flujo transversal como el flujo inestable y pulsátil.

Si los cálculos indican que ocurrirá flujo inestable y pulsátil, el diseño puede ser modificado para reducir la probabilidad de que ondas sean generadas o la estructura puede ser adaptada para evitar que ese flujo inestable y pulsátil ocurra.

Posibles cambios de diseño incluyen:

1. Dividir el flujo en la sección de la rápida con un muro en el centro de la rápida.
2. Cambiar la forma de la sección. Las secciones de formas teóricas que no forman ondas podrían ser consideradas.
3. Reducir la longitud de la rápida. Una serie de rápidas más cortas o caídas podrían ser consideradas.
4. Haciendo más pronunciada la pendiente de la rápida.
5. Reemplazando la rápida abierta con una rápida entubada.

Si estos cambios de diseño son impracticables, la sección de la rápida puede ser adaptada para acomodar el flujo inestable y pulsátil por:

1. Incrementando el borde libre de los muros de la rápida.
2. Construyendo una cubierta o techo en la sección de la rápida, para contener las ondas.

3. Protegiendo el relleno alrededor de la sección de la rápida con rip-rap ó pavimento.

Las adaptaciones para la poza disipadora podrían incluir:

1. Diseñando la poza para tomar precauciones por la descarga momentánea del flujo inestable y pulsátil. Esta debe proporcionar una poza más larga y muros más altos en la poza para contener las ondas.
2. Proveer rip-rap adicional para proteger el canal después y el relleno alrededor de la poza.
3. Proveer un dispositivo supresor de ondas en la poza disipadora. Un muro vertedero en la poza, podría evitar que el flujo pase con mucha velocidad a través de la poza y la transición de salida. Los muros vertederos podrían también proveer tirante después para sumergir las ondas.

La investigación sobre la acción de ondas en estructuras de rápida es basada mayormente en datos empíricos. Si un problema serio de ondas en una estructura es indicado, debería llevarse a cabo estudios para verificar la magnitud del problema y la efectividad de las soluciones propuestas.

4.0 INFORMACION BASICA

1. La figura N° 6 representa un esquema del perfil de rápida.
2. El Cuadro N° 1 proporciona datos de los parámetros hidráulicos del canal aguas arriba y aguas abajo de la rápida. Asimismo muestra información básica de la rápida obtenida a partir de la figura N° 6.
3. El plano de planta y perfil del canal en estudio proporciona información general sobre la ubicación de la rápida en el desarrollo del canal.

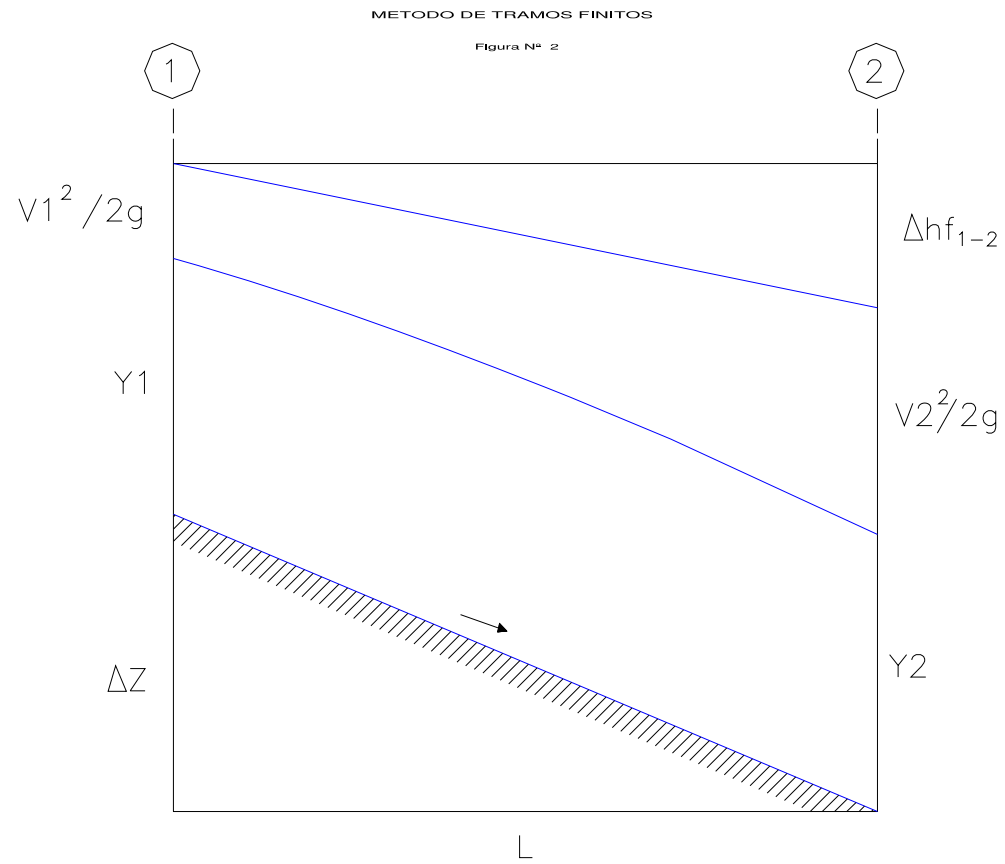
CUADRO N° 1
CARACTERISTICAS HIDRAULICAS

PARAMETROS	SIMB	UND	CANAL AGUAS ARRIBA	CANAL AGUAS ABAJO
			VALOR	VALOR
Caudal	Q	m ³ /s	0.30	0.30
Rugosidad	N	-	0.014	0.025
Talud	Z	-	0.0	0.0
Ancho Solera	b	m	0.60	0.55
Pendiente	S	m/m	0.0061	0.0120
Tirante Normal	Y _n	m	0.3130	0.3764
Area Hidráulica	A	m ²	0.1878	0.2258
Espejo de agua	B	m	0.60	0.55
N° de Froude	F	-	0.911	0.691
Tipo de Flujo	-	-	FLUJO	SUBCRITICO
Perímetro mojado	P	m	1,2261	1.3527
Radio hidráulico	R	m	0.1532	0.1669
Velocidad	V	m/s	1.597	1.328
Energía Especifica	E	m	0.4431	0.4663

5.0 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

5.1. PASOS

1. Seleccionar y diseñar el tipo de entrada a ser usada.
2. Determinar la gradiente de energía en el inicio de la sección de la rápida.
3. Calcular las variables de flujo en la sección de la rápida.
4. Diseñar la trayectoria y la parte pronunciada de la sección de la rápida.
5. Asumir una elevación para el piso de la poza disipadora y calcular las características de flujo aguas arriba del salto hidráulico. Determinar Y_2 y el gradiente de energía después del salto hidráulico.
6. Determinar el gradiente de energía en el canal aguas abajo de la estructura y comparar con el gradiente de energía después del salto hidráulico.
7. Puede ser necesario asumir una nueva elevación del fondo de la poza y recalcular los valores mencionados varias veces, antes de que se obtenga una coincidencia de niveles de energía.
8. Revisar para operación adecuada con capacidades parciales.
9. Determinar la longitud de la poza y la altura de muros de la poza.
10. Diseñar los bloques de la rápida y del piso, y el umbral terminal ó transición de salida como se requiera.
11. Verificar la posibilidad de la producción de ondas en la estructura.
12. Proporcionar protección en el canal aguas abajo, si es requerido.



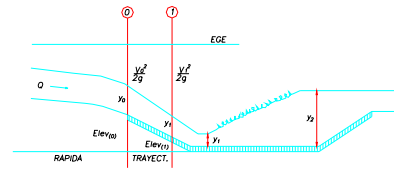


FIG. N° 3
 ESQUEMA DE CALCULO PARA EL DESARROLLO
 CURVA : ELEVACION – TIRANTE EN CANAL RAPIDA

EGE :	ELEVACION DE GRADIENTE DE ENERGIA
Elev(0) :	ELEVACION DE INICIO DE TRAYECTORIA
Elev(1) :	ELEVACION CALCULADA
y(0) :	TIRANTE ULTIMA SECCION DE RAPIDA
Elev(n) :	ELEVACION CANAL AGUAS ABAJO

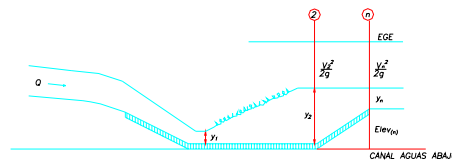


FIG. N° 4
 ESQUEMA DE CALCULO PARA EL DESARROLLO
 CURVA : ELEVACION – TIRANTE CONJUGADO MENOR

5.2. DESCRIPCION

1. Diseño del canal aguas arriba y aguas abajo de la rápida.

Utilizar las consideraciones prácticas que se tiene para el diseño de canales, formula de Manning, etc.

2. Calculo del ancho de solera en la rápida y el tirante de la sección de control.

En la sección de control se presentan las condiciones críticas.

Para una sección rectangular la ecuación que se cumple es:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB}}$$

También se puede suponer un ancho en la sección de control de la caída, calcular el tirante critico y por la ecuación de la energía calcular el tirante al inicio de la transición.

3. Diseño de la Transición de entrada.

Para el caso de una transición recta la ecuación empleada es:

$$L = \frac{V^2}{g}$$

4. Calculo hidráulico en el canal de la rápida

Tirantes y distancias.

El cálculo de los tirantes para cada tramo de la curva de remanso que se forma en el trayecto hasta obtener el tirante normal, se debe efectuar por el método de tramos fijos de preferencia, partiendo desde el punto de control ubicado en el cambio de pendiente, lugar donde se presenta el tirante critico.

La figura N° 2 ilustra este método.

La ecuación empleada es la ecuación de energía:

$$Y_1 + h_{v1} + \Delta h = Y_2 + h_{v2} + hf_{1-2}$$

Con la ayuda de la figura N° 2 se puede resolver la ecuación, siendo:

$$\Delta h = S \frac{L}{t}$$

$$hf_{1-2} = S_f L$$

$$S_f = \frac{V^2}{g R^3}$$

$$S = \frac{V^2}{g R^3} + S_f$$

5. Cálculo del Tirante Conjugado Menor (Y_1) y la elevación de la Poza Disipadora.

5.1. Cálculo de la curva: Elevación-tirante en el canal de la rápida.

El cálculo se efectúa a partir del tirante al inicio de la trayectoria, aplicando la ecuación de Bernoulli y despreciando las pérdidas. Luego se grafican los valores encontrados, colocando en las abscisas las elevaciones y en las ordenadas los tirantes "Y". Este gráfico es llamado Curva I.

Procedimiento.

- Calcular la elevación del gradiente de energía (EGE) en la sección donde se inicia la trayectoria.

¡Error!

- Calcular los valores para trazar la Curva Elevación – Tirante en el canal de la rápida. Tomar siempre para el cálculo tirantes menores a Y_0 . Ver figura N° 3.
- Calcular la elevación del fondo del canal de la rápida, en el tramo de la trayectoria. Hallar E y restar de la Elevación del Gradiente de Energía (EGE)

$$\text{Elev.} = \text{EGE} - E_1$$

-Trazar la Curva I (Elevación vs Tirante)

5.2. Cálculo de la Curva: Elevación – Tirante Conjugado Menor.

Procedimiento.

- Calcular la elevación del gradiente de energía (EGE) de la sección del canal después de la rápida. La elevación del gradiente de energía después del resalto se calcula de la siguiente forma:

¡Error!

Para una mejor explicación ver la figura N° 4.

- Elegir Y_1 y calcular el tirante conjugado mayor del resalto Y_2 . Para secciones rectangulares emplear:

$$Y_2 = - \text{¡Error!} + \text{¡Error!}$$

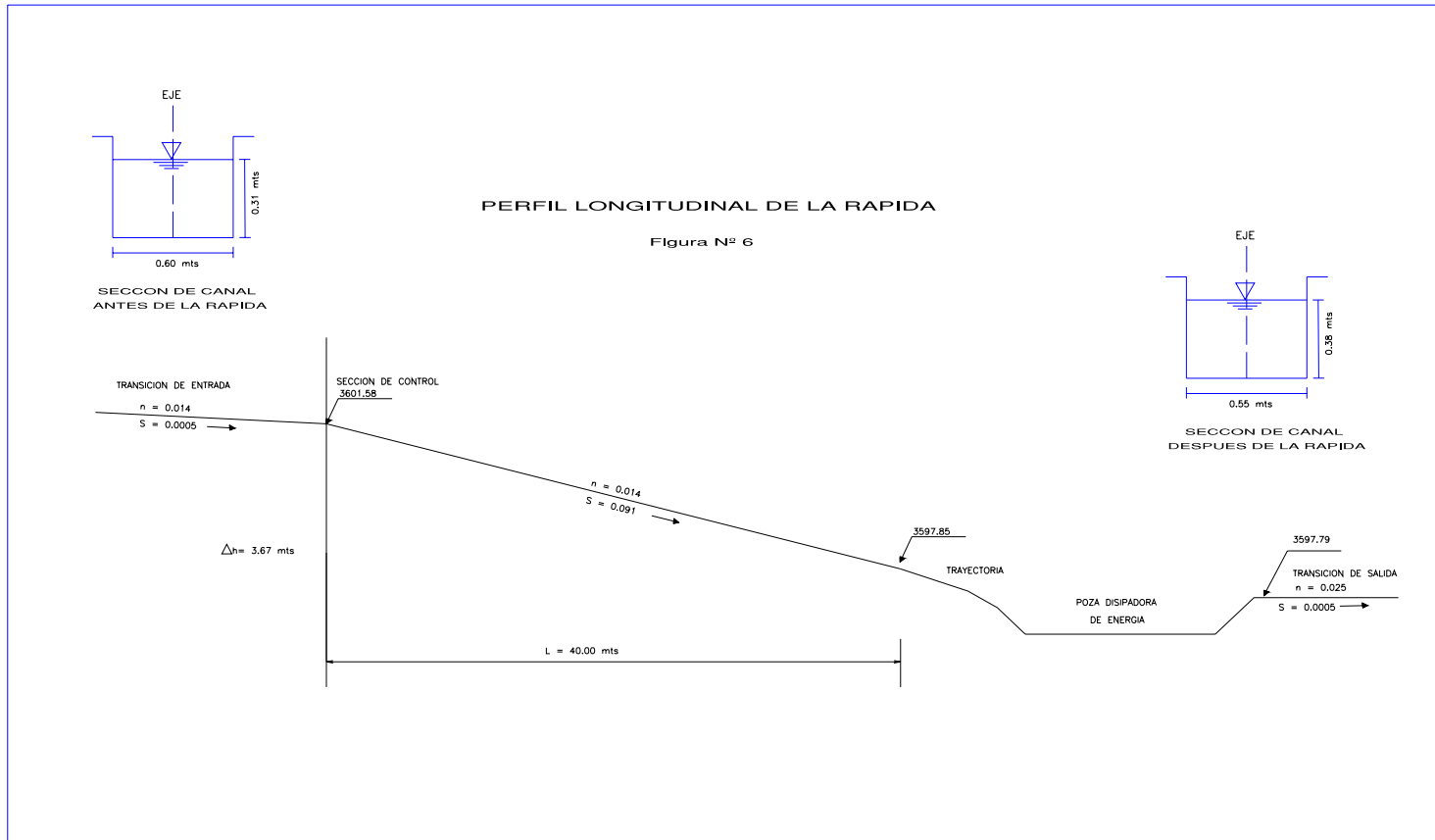
Luego, calcular: **¡Error!**

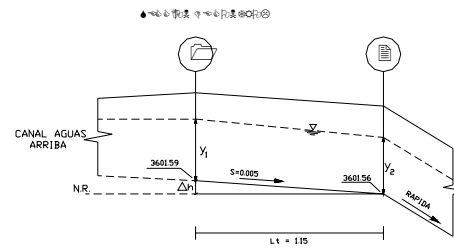
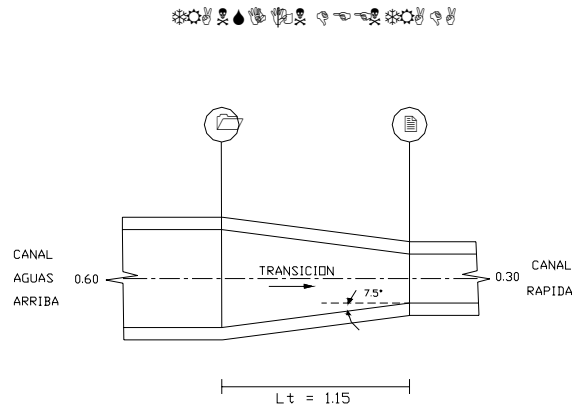
$$\text{Elevación} = \text{EGE} - E_2$$

- Trazar la Curva II (Elevación vs Tirante conjugado menor)

5.3. Gráfico de las Curvas I y II

En la intersección se encontrara los valores de la elevación de la Poza Disipadora y el tirante conjugado menor.





6. Cálculo de la profundidad de la Poza Disipadora

$$h = \text{Elev}(n) - \text{Elev}(\text{fpd})$$

7. Longitud de la Poza Disipadora

$$L = 5 (Y_2 - Y_1)$$

Donde:

Y_1 : Tirante conjugado menor

Y_2 : Tirante conjugado mayor

8. Coordenadas de la elevación de la Trayectoria

La trayectoria tendrá una forma parabólica y las coordenadas se conseguirán con la siguiente ecuación:

$$Y = -(x * \text{tg } \theta + \frac{g * x^2}{2V^2_{\text{máx}}} (1 + \text{tg}^2 \theta))$$

Donde.

x : Coordenada horizontal

Y : Coordenada vertical

θ : Angulo formado por la horizontal y el fondo del canal de la rápida ($\text{tg } \theta = S$)

$V_{\text{máx}} = 1.5 V_0$ en el punto de origen de la trayectoria.

6.0 MEMORIA DE CALCULO

6.1. Diseño del canal aguas arriba y aguas abajo de la rápida.

Características Hidráulicas del canal

Utilizar las consideraciones prácticas que se tiene para el diseño de canales: Fórmula de Manning, etc. Los valores ya calculados se muestran en el Cuadro N° 1.

6.2. Cálculo del ancho de solera en la rápida y del tirante en la sección de control.

La Figura N °7, muestra algunos valores en la transición de entrada:

Ancho de la solera (b): Asumimos que b es igual a 0.30 m

Sección de control: Ocurrencia del flujo crítico

Tirante crítico:

$$Y_c = \text{¡Error! ¡Error!}$$

$$Y_c = 0.4671 \text{ m}$$

Área hidráulica:

$$A = b \times Y_c = 0.30 \times 0.4671 = 0.14013 \text{ m}^2$$

Velocidad crítica:

$$V_c = \sqrt{g \times Y_c}$$

Energía específica mínima (Em)

$$\text{¡Error! ¡Error!} = 0.70065 \text{ m}$$

Número de Froude (F):

$$\text{¡Error! ¡Error!} = 0.9999$$

6.3. Cálculo hidráulico de la Transición de entrada

La Figura N °7 representa datos de la transición de entrada.

Longitud de la Transición:

$$\text{¡Error!}$$

Donde:

$$b_1 = 0.60 \text{ m}; b_2 = 0.30 \text{ m}$$

Si: $\alpha / 2 = 7^\circ 30' < 12^\circ 30'$, las pérdidas son muy pequeñas.

$$\text{¡Error!} = 1.1394 \text{ m}$$

$$\text{Luego: } L_t = 1.15 \text{ m}$$

Cota al inicio de la Transición:

$$\text{Cota 2} = \Delta h^o + \text{Cota 1}$$

$$\Delta h^o = S \times L_t$$

Donde:

$$S = 0.0061; L_t = 1.15 \text{ m}; \text{Cota 1} = 3,601.58 \text{ msnm.}$$

$$\Delta h^o = 0.0061 \times 1.15 = 0.0070 \text{ m}$$

Luego:

$$\text{Cota 2} = 0.00702 + 3601.58 = 3,601.59 \text{ msnm.}$$

Tirante al inicio de la Transición.

De la ecuación de la Energía entre 1 y 2:

$$Y_1 + h_{v1} + \Delta h = Y_2 + h_{v2} + hf_{1-2}$$

$$\text{¡Error! ; ¡Error!}$$

Donde:

$$Y_1 = 0.4671 \text{ m. ; } \Delta h = 0.0070 \text{ m}$$

$$\text{¡Error! ; ¡Error! ; ¡Error! ; ¡Error!}$$

$$Y_2 = 0.4671 \text{ m. ; } V_2 = V_c = 2.1496 \text{ m/s}$$

Reemplazando valores:

$$\text{¡Error!}$$

¡Error!

Interpolando: $Y_1 = 0.66482 = 0.665$ m

Comprobación de $\alpha / 2$

El U.S. Conservation Service de EE.UU propone una transición recta con una variación angular del muro respecto al eje del canal no mayor que:

$$\mathbf{Tan(\alpha / 2) \leq ¡Error!}$$

Donde:

¡Error!

V_p : Velocidad promedio entre el principio y fin de la transición

Y_p : Promedio de tirantes.

$V_p = 1.4463$ m/s ; $Y_p = 0.5659$ m

$$\mathbf{F¡Error! = 0.6138}$$

Luego: **$Tan \alpha / 2 = 0.13165 < 0.6138$ O.K !!**

Calculo de la diferencia de los niveles entre el inicio y el final de la transición:

Se determinan con la fórmula de Bernoulli siguiente:

¡Error!

¡Error!

Donde:

$Y_2 = Y_c = 0.4671$ m ; $Y_1 = 0.6648$ m

$V_2 = V_c = 2.1406$ m/s; $V_1 = 0.7519$ m/s

Como: $V_1 < V_2$, entonces $k = 0.10$

Reemplazando valores:

¡Error!

Luego: $\Delta h = 0.0275 \text{ m}$

6.4. Cálculo hidráulico en el canal de la Rápida

La Figura N° 6 nos proporciona información sobre el perfil longitudinal de la rápida.

6.4.1. Cálculo de la cota al inicio de la Transición.

De la Figura N° 7: $\text{Cota1} = \text{Cota2} + \Delta h$

Además: $\Delta h = 0.0070 \text{ m}$

Del problema: $\text{Cota2} = 3601.58 \text{ msnm}$

(No es necesariamente la cota de inicio de la Rápida)

Reemplazando:

$$\text{Cota1} = 3601.58 + 0.0070$$

$$\text{Cota1} = 3601.587 \text{ msnm}$$

6.4.2. Cálculo de la cota al inicio de la Rápida

La cota al inicio de la rápida es:

$$\text{Cota2} = \text{Cota1} - \Delta h$$

Como $\Delta h = 0.0275 \text{ m}$, reemplazamos:

$$\text{Cota2} = 3601.587 - 0.0275$$

$$\text{Cota2} = 3601.57 \text{ msnm.}$$

Finalmente la corrección de datos da:

$$\text{Cota1} = 3601.59 \text{ msnm.}$$

$$\text{Cota2} = 3601.56 \text{ msnm.}$$

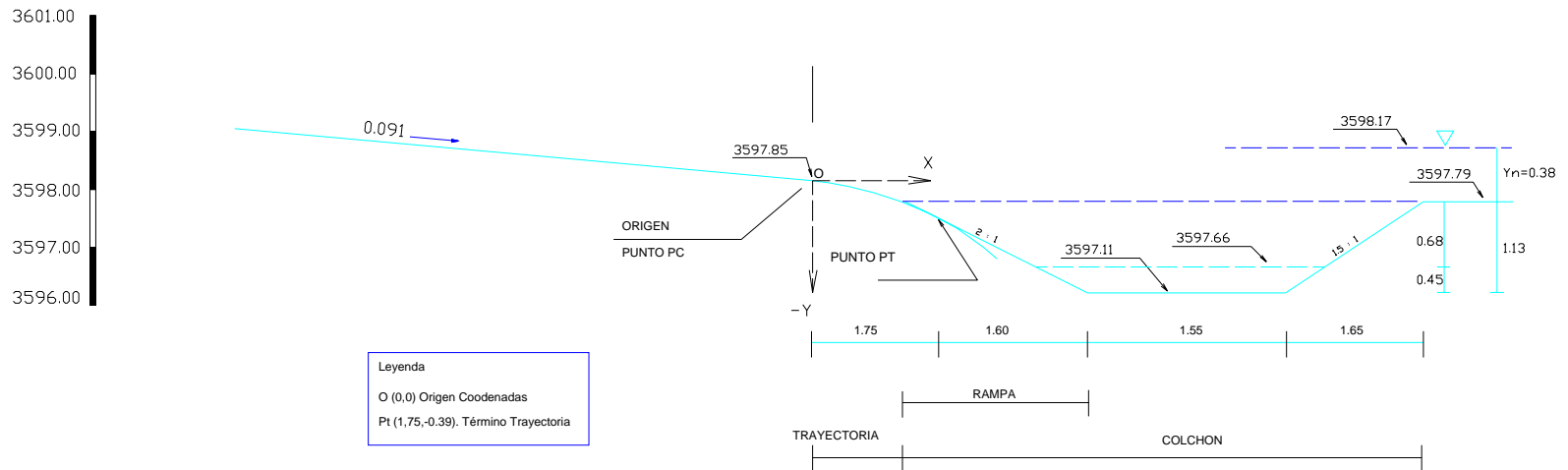
6.4.3. Cálculo de los tirantes de escurrimiento en el canal de la rápida.

Se efectúa por el **Método de Tramos Fijos.**

EMPALME TRAYECTORIA Y COLCHON AMORTIGUADOR

Figura N° 9

Escala : H = 1/100
V = 1/100



De acuerdo al perfil en el tramo de fuerte pendiente (Figura N° 6), tenemos:

$$\text{Cota}_2 = 3,601.56 \text{ msnm}$$

$$\text{Cota}_3 = 3597.91 \text{ msnm}$$

La diferencia de cotas (Δh) es:

$$\Delta h = \text{Cota}_2 - \text{Cota}_3$$

$$\Delta h = 3601.56 - 3597.91$$

$$\Delta h = 3.65 \text{ m}$$

Longitud total del canal de la rápida (L_t):

$$L_t = 40 \text{ m}$$

La pendiente (S) en la rápida es:

$$S = 0.0913$$

Dividimos la longitud total de 40 metros en 8 tramos de 5 metros de longitud cada uno ($\Delta L = 5 \text{ m}$).

Longitud inclinada:

$$L_i = \Delta L \sqrt{1 + S^2}$$

$$L_i = 5 \sqrt{1 + 0.0913^2}$$

$$L_i = 5.0207 \text{ m}$$

Diferencia de elevación:

$$\Delta Z = \Delta L \times S$$

$$\Delta Z = 5 \times 0.0913 = 0.4565$$

$$\Delta Z = 0.46 \text{ m}$$

Con los datos de entrada siguientes:

$$Q = 0.30 \text{ m}^3/\text{s}; b = 0.30 \text{ m}; L_i = 5.0207\text{m}; n = 0.010,$$

y las ecuaciones desarrolladas para obtener la Energía (E) y las pérdidas de energía por fricción (Δh_f), y realizando la correspondencia Tirante (Y) vs Energía (E); Tirante (Y) vs ($E + \Delta h_f$), obtenemos el Cuadro N° 2 y el Gráfico N° 2. A partir del Gráfico N° 2 y el Cuadro N° 3, obtenemos los tirantes de escurrimiento en la curva de remanso hasta obtener el tirante normal. Los valores obtenidos se muestran en el Cuadro N° 4.

CUADRO N°2

**CALCULO DE LOS TIRANTES DE ESCURRIMIENTO EN EL CANAL DE LA RAPIDA
TEOREMA DE BERNOULLI POR TRAMOS FINITOS**

Datos de Entrada

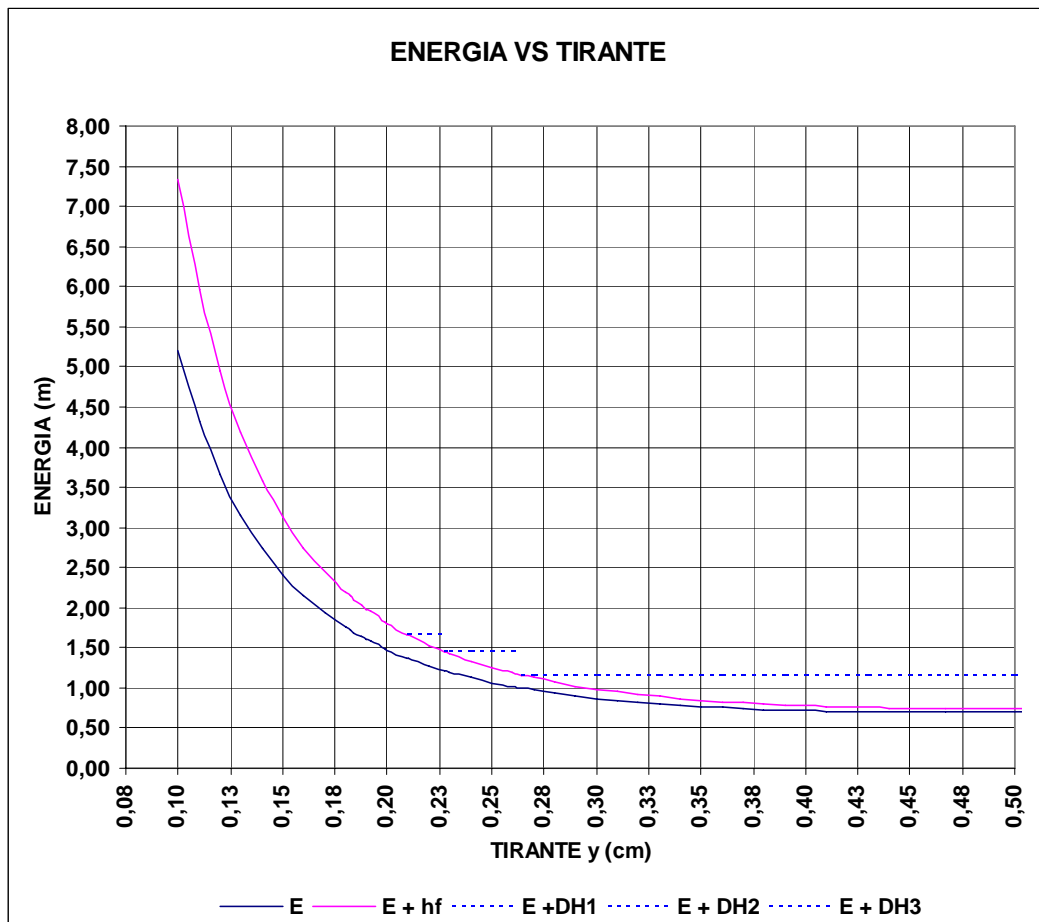
Q (m3/s)	b (m)	li (m)	n	g (m/s2)					
0,30	0,30	5,0207	0,010	9,81					
Y	A	P	R	R ^{^(2/3)}	V	hv	E	hf	E + hf
0,10	0,030	0,50	0,06000	0,15326	10,00000	5,09684	5,19684	2,13745	7,33429
0,11	0,033	0,52	0,06346	0,15910	9,09091	4,21226	4,32226	1,63920	5,96146
0,12	0,036	0,54	0,06667	0,16441	8,33333	3,53947	3,65947	1,28980	4,94928
0,13	0,039	0,56	0,06964	0,16927	7,69231	3,01588	3,14588	1,03683	4,18271
0,14	0,042	0,58	0,07241	0,17373	7,14286	2,60043	2,74043	0,84868	3,58911
0,15	0,045	0,60	0,07500	0,17784	6,66667	2,26526	2,41526	0,70550	3,12077
0,16	0,048	0,62	0,07742	0,18165	6,25000	1,99095	2,15095	0,59437	2,74532
0,17	0,051	0,64	0,07969	0,18518	5,88235	1,76361	1,93361	0,50662	2,44023
0,18	0,054	0,66	0,08182	0,18847	5,55556	1,57310	1,75310	0,43627	2,18937
0,18423	0,0553	0,6685	0,08268	0,18979	5,42806	1,50172	1,68595	0,41069	2,09664
0,19	0,057	0,68	0,08382	0,19153	5,26316	1,41187	1,60187	0,37911	1,98098
0,19863	0,060	0,70	0,08546	0,19402	5,03449	1,29185	1,49048	0,33805	1,82853
0,20	0,060	0,70	0,08571	0,19440	5,00000	1,27421	1,47421	0,33212	1,80633
0,20937	0,063	0,72	0,08739	0,19693	4,77623	1,16271	1,37208	0,29534	1,66742
0,21	0,063	0,72	0,08750	0,19709	4,76190	1,15575	1,36575	0,29308	1,65882
0,22	0,066	0,74	0,08919	0,19962	4,54545	1,05307	1,27307	0,26032	1,53338
0,2277	0,068	0,76	0,09042	0,20146	4,39232	0,98331	1,21098	0,23866	1,44963
0,23	0,069	0,76	0,09079	0,20200	4,34783	0,96349	1,19349	0,23259	1,42608
0,24	0,072	0,78	0,09231	0,20425	4,16667	0,88487	1,12487	0,20894	1,33381
0,25	0,075	0,80	0,09375	0,20637	4,00000	0,81549	1,06549	0,18862	1,25412
0,26	0,078	0,82	0,09512	0,20838	3,84615	0,75397	1,01397	0,17104	1,18502
0,26445	0,079	0,83	0,09571	0,20924	3,78143	0,72881	0,99326	0,16398	1,15724
0,27	0,081	0,84	0,09643	0,21028	3,70370	0,69916	0,96916	0,15575	1,12491
0,28	0,084	0,86	0,09767	0,21209	3,57143	0,65011	0,93011	0,14237	1,07247
0,29	0,087	0,88	0,09886	0,21381	3,44828	0,60605	0,89605	0,13059	1,02664
0,30	0,090	0,90	0,10000	0,21544	3,33333	0,56632	0,86632	0,12019	0,98650
0,31	0,093	0,92	0,10109	0,21700	3,22581	0,53037	0,84037	0,11095	0,95131
0,32	0,096	0,94	0,10213	0,21849	3,12500	0,49774	0,81774	0,10271	0,92045
0,33	0,099	0,96	0,10313	0,21991	3,03030	0,46803	0,79803	0,09533	0,89336
0,34	0,102	0,98	0,10408	0,22127	2,94118	0,44090	0,78090	0,08871	0,86961
0,35	0,105	1,00	0,10500	0,22257	2,85714	0,41607	0,76607	0,08274	0,84881
0,36	0,108	1,02	0,10588	0,22381	2,77778	0,39327	0,75327	0,07734	0,83061
0,37	0,111	1,04	0,10673	0,22501	2,70270	0,37230	0,74230	0,07244	0,81474
0,38	0,114	1,06	0,10755	0,22615	2,63158	0,35297	0,73297	0,06798	0,80095
0,39	0,117	1,08	0,10833	0,22725	2,56410	0,33510	0,72510	0,06392	0,78902
0,40	0,120	1,10	0,10909	0,22831	2,50000	0,31855	0,71855	0,06020	0,77875
0,41	0,123	1,12	0,10982	0,22933	2,43902	0,30320	0,71320	0,05679	0,76999
0,42	0,126	1,14	0,11053	0,23031	2,38095	0,28894	0,70894	0,05366	0,76260
0,43	0,129	1,16	0,11121	0,23125	2,32558	0,27565	0,70565	0,05078	0,75643
0,44	0,132	1,18	0,11186	0,23216	2,27273	0,26327	0,70327	0,04811	0,75138
0,45	0,135	1,20	0,11250	0,23304	2,22222	0,25170	0,70170	0,04565	0,74735
0,4671	0,1401	1,23	0,11354	0,23448	2,14087	0,23360	0,70070	0,04186	0,74256
0,50	0,150	1,30	0,11538	0,23701	2,00000	0,20387	0,70387	0,03575	0,73963
0,55	0,165	1,40	0,11786	0,24038	1,81818	0,16849	0,71849	0,02872	0,74721

CUADRO N ° 3

CALCULO DE LA ENERGIA Y LAS PERDIDA DE CARGA

Y	E	E + hf	E + DH1	E + DH2	E + DH3	E + DH4	E + DH5	E + DH6	E + DH7	E + DH8
0,10	5,19684	7,33429								
0,11	4,32226	5,96146								
0,12	3,65947	4,94928								
0,13	3,14588	4,18271								
0,14	2,74043	3,58911								
0,15	2,41526	3,12077								
0,16	2,15095	2,74532								
0,17	1,93361	2,44023								
0,18	1,75310	2,18937								
0,1821	1,71913	2,14241								2,14245
0,1842	1,68595	2,09664							2,09667	2,14245
0,1873	1,64017	2,03360						2,03359	2,09667	
0,19	1,60187	1,98098						2,03359		
0,191815	1,57709	1,94699					1,94698	2,03359		
0,19863	1,49048	1,82853				1,82858	1,94698			
0,20000	1,47421	1,80633				1,82858				
0,20937	1,37208	1,66742			1,66748	1,82858				
0,21	1,36575	1,65882			1,66748					
0,22	1,27307	1,53338			1,66748					
0,2277	1,21098	1,44963		1,44976	1,66748					
0,23	1,19349	1,42608		1,44976						
0,24	1,12487	1,33381		1,44976						
0,25	1,06549	1,25412		1,44976						
0,26	1,01397	1,18502		1,44976						
0,2645	0,99326	1,15724	1,15720	1,44976						
0,27	0,96916	1,12491	1,15720							
0,28	0,93011	1,07247	1,15720							
0,29	0,89605	1,02664	1,15720							
0,30	0,86632	0,98650	1,15720							
0,31	0,84037	0,95131	1,15720							
0,32	0,81774	0,92045	1,15720							
0,33	0,79803	0,89336	1,15720							
0,34	0,78090	0,86961	1,15720							
0,35	0,76607	0,84881	1,15720							
0,36	0,75327	0,83061	1,15720							
0,37	0,74230	0,81474	1,15720							
0,38	0,73297	0,80095	1,15720							
0,39	0,72510	0,78902	1,15720							
0,40	0,71855	0,77875	1,15720							
0,41	0,71320	0,76999	1,15720							
0,42	0,70894	0,76260	1,15720							
0,43	0,70565	0,75643	1,15720							
0,44	0,70327	0,75138	1,15720							
0,45	0,70170	0,74735	1,15720							
0,4671	0,70070	0,74256	1,15720							
0,50	0,70387	0,73963	1,15720							
0,55	0,71849	0,74721	1,15720							

GRAFICO Nº 2



Cuadro N° 4
Tirantes del Canal Rápida

Li (m)	Δh (m)	Y(m)
0	3.6500	0.4671
5	3.1935	0.2645
10	2.7370	0.2277
15	2.2805	0.2094
20	1.8240	0.1986
25	1.3675	0.1918
30	0.9110	0.1873
35	0.4545	0.1842
40	0.0000	0.1821

6.4.4. Cálculo del Borde Libre en el canal de la Rápida

Se determina aplicando la formula:

$$BL = 0.61 + 0.00371 \times V^3 \sqrt{Y}$$

Donde:

$$Y = 0.2645 \text{ m}$$

$$V = 3.7807 \text{ m/s (Calculado para ese tirante)}$$

$$BL = 0.61 + 0.00371 \times 3.7807^3 \sqrt{0.2645}$$

$$BL = 0.7131 \text{ m}$$

6.5. Cálculo de la Profundidad y la Cota de Elevación de la Poza Disipadora.

6.5.1 Cálculo de la curva: Elevación - tirante en el canal de la rápida.

Se ha desarrollado el Cuadro N° 5 y la Curva I en el Gráfico N° 3 de acuerdo al procedimiento descrito en la teoría. Las fórmulas así como los datos de entrada se indican en el Cuadro N° 5.

6.5.2 Cálculo de la Curva: Elevación – tirante conjugado menor.

De acuerdo al procedimiento descrito anteriormente, obtenemos el Cuadro N° 6 y la Curva II en el Gráfico N° 3. Las formulas y los datos de entrada empleados se consignan en el Cuadro N° 6.

Del punto de intersección de las curvas I y II del Gráfico N° 3 se obtienen:

Elevación de la Poza Disipadora (Epd): 3597.11 msnm

Tirante conjugado menor (Y_1): 0.146 m

6.5.3. Cálculo de la profundidad (h) de la Poza Disipadora:

La Figura N° 9 ilustra los cálculos en la Poza Disipadora.

$$\mathbf{h = Elevación del canal - Elevación de la Poza}$$

(Aguas abajo de la rápida)

Donde:

Elevación del canal: 3,597.79 msnm

Elevación Poza Disipadora: 3597.11 msnm

Luego:

$$h = 3597.79 - 3597.11$$

$$\mathbf{h = 0.68 m}$$

CUADRO Nº 5**CALCULO DE LA ELEVACION DEL TANQUE AMORTIGUADOR****1 CALCULO DE LA CURVA ELEVACION-TIRANTE EN EL CANAL DE LA RAPIDA****(TRAYECTORIA)**

$$EGE = \text{Elev (0)} + Y^0 + V^0/2g$$

$$ETR = EGE - E$$

Donde:

EGE = Elevacion del Gradiente de Energia

ETR = Elevacion del tirante en el canal de la rapida

Datos de Entrada

b(m)	g(m/s2)	Q (m3/s)	Elev (0)	EGE
0,3	9,81	0,3	3597,91	3599,6291

y	A	V	hv	E	Delta	ETR
0,1821	0,05463	5,49149	1,5370	1,7191		
0,1721	0,05163	5,81058	1,7208	1,8929	-0,1738	3597,7362
0,1621	0,04863	6,16903	1,9397	2,1018	-0,3827	3597,5273
0,1521	0,04563	6,57462	2,2031	2,3552	-0,6361	3597,2739
0,1421	0,04263	7,03730	2,5241	2,6662	-0,9471	3596,9629
0,1321	0,03963	7,57002	2,9208	3,0529	-1,3337	3596,5763
0,1221	0,03663	8,19001	3,4188	3,5409	-1,8217	3596,0883
0,1121	0,03363	8,92061	4,0559	4,1680	-2,4489	3595,4611
0,1021	0,03063	9,79432	4,8893	4,9914	-3,2723	3594,6377
0,14644	0,043932	6,82874	2,3767	2,5232	-0,8041	3597,1059

CUADRO Nº 6

CALCULO DE LA ELEVACION DEL TANQUE AMORTIGUADOR

2. CALCULO DE LA CURVA: ELEVACION-TIRANTE CONJUGADO MENOR

$$EGE = \text{Elev (n)} + Y_n + V_n^2/(2 \cdot g)$$

$$E_{fpd} = EGE - E_2$$

Donde:

EGE = Elevacion del Gradiente de Energia

E_{tc}m = Elevacion del Fondo de la Poza Disipadora

El tirante conjugado mayor y₂ del Resalto se calcula con la fórmula:

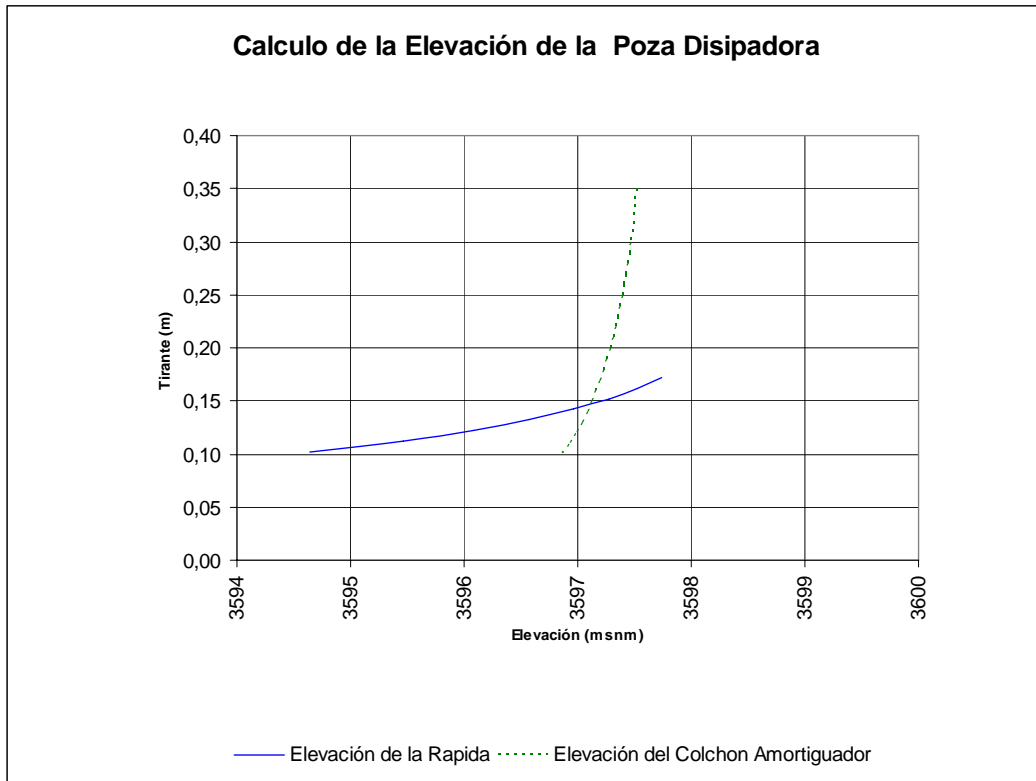
$$y_2 = -(y_1)/2 + \text{RAIZ} (2q^2/(g \cdot y_1) + (y_1^2)/4)$$

Datos de Entrada

b(m)	g(m/s ²)	Q (m ³ /s)	Elev (n)	EGE	q=Q/b
0,3	9,81	0,3	3597,79	3598,2563	1

y ₁	y ₂	V ₂	h _{v2}	E ₂	Delta	E _{fpd}
0,3764		1,32800	0,0899	0,4663		
0,35	0,6080	1,6447	0,1379	0,7459	-0,2796	3597,5104
0,3	0,6879	1,4537	0,1077	0,7956	-0,3293	3597,4607
0,29	0,7059	1,4166	0,1023	0,8082	-0,3419	3597,4481
0,28	0,7247	1,3799	0,0970	0,8218	-0,3555	3597,4345
0,27	0,7444	1,3434	0,0920	0,8364	-0,3701	3597,4199
0,26	0,7650	1,3072	0,0871	0,8521	-0,3858	3597,4042
0,25	0,7867	1,2712	0,0824	0,8690	-0,4027	3597,3873
0,24	0,8094	1,2354	0,0778	0,8872	-0,4210	3597,3690
0,23	0,8335	1,1998	0,0734	0,9069	-0,4406	3597,3494
0,22	0,8589	1,1643	0,0691	0,9280	-0,4617	3597,3283
0,21	0,8859	1,1288	0,0649	0,9508	-0,4845	3597,3055
0,2	0,9146	1,0934	0,0609	0,9755	-0,5092	3597,2808
0,19	0,9452	1,0580	0,0570	1,0023	-0,5360	3597,2540
0,18	0,9781	1,0224	0,0533	1,0313	-0,5650	3597,2250
0,17	1,0134	0,9868	0,0496	1,0630	-0,5967	3597,1933
0,16	1,0516	0,9509	0,0461	1,0977	-0,6314	3597,1586
0,15	1,0932	0,9147	0,0426	1,1359	-0,6696	3597,1204
0,14	1,1388	0,8781	0,0393	1,1781	-0,7118	3597,0782
0,13	1,1890	0,8411	0,0361	1,2250	-0,7588	3597,0312
0,12	1,2448	0,8033	0,0329	1,2777	-0,8114	3596,9786
0,11	1,3075	0,7648	0,0298	1,3373	-0,8710	3596,9190
0,1	1,3787	0,7253	0,0268	1,4055	-0,9392	3596,8508
0,14644	1,1090	0,9017	0,0414	1,1504	-0,6841	3597,1059

GRAFICO N° 3



6.6 Verificación de la operación de la Poza Disipadora

La Figura N° 9.a, ilustra las cotas y niveles en la Poza Disipadora.

Se comprueban dos cosas:

PRIMERO:

Se aplica entre las secciones 1 y 2 de la Poza Disipadora la ecuación de la cantidad de movimiento, debiendo cumplirse que:

¡Error!

Donde:

$$Y_1 = 0.146 \text{ m, entonces } Y_1 = 0.146/2$$

$$Y_2 = 1.109 \text{ m, entonces } Y_2 = 1.109/2$$

$$A_1 = bY_1 \text{ y } A_2 = bY_2$$

$$\text{Siendo } b = 0.30 \text{ m y } Q = 0.30 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Reemplazando valores:

$$\text{Primer miembro de la ecuación: } 0.1859 \text{ m}$$

$$\text{Segundo miembro de la ecuación: } 0.2076 \text{ m}$$

La diferencia es:

$$\Delta = 0.2076 - 0.1859 = 0.0117 \text{ m}$$

Por ser de poca consideración se dan por aceptados los valores de Y_1 y Y_2 .

SEGUNDO :

Se debe cumplir la relación:

¡Error!

Donde:

¡Error!

¡Error!

También:

$$E_2 = 1.505 \text{ m y } E_n = 0.4699 \text{ m}$$

$$\text{Altura de la Poza: } 0.684 \text{ m}$$

$$\text{Altura de Poza} + E_n = 0.684 + 0.4699 = 1.1539 \text{ m}$$

Luego: $1.1505 < 1.1539$ O.K.!!

Para dar mayor seguridad al funcionamiento hidráulico de la Poza, consideramos un 40 % de ahogamiento, por lo que se tendrá que bajar el nivel o cota de fondo de la Poza.

En la sección 2 de la Poza Disipadora, tenemos:

$$0.40 E_2 = 0.40 \times 1.1505 = 0.4602 \text{ m}$$

$$E_2 + 0.40 E_2 = 1.1505 + 0.4602 = 1.6107 \text{ m}$$

La Elevación del Gradiente de Energía (EGE):

$$\text{EGE} = \text{Elev} (n) + E_n$$

$$\text{EGE} = 3597.79 + 0.4699 = 3598.26 \text{ msnm}$$

Elevación de la Poza:

$$\text{EGE} - 1.4 E_2 = 3598.26 - 1.6107 = 3596.66 \text{ msnm}$$

Profundidad:

$$h = \text{Elev}(n) - \text{Elev}(fpd)$$

$$h = 3597.79 - 3596.66$$

$$\mathbf{h = 1.13 \text{ m}}$$

Porcentaje de ahogamiento:

La Figura N° 9.b, muestra los niveles y cota de fondo con porcentaje de ahogamiento.

¡Error!

¡Error!

$$\% \text{ Ahogamiento} = 0.40 = 40 \%$$

Finalmente, por razones constructivas se adoptara la profundidad de la Poza igual a 1.15 m

$$EGE = h + E_n = 1.15 + 0.4699 = 1.6199 \text{ m}$$

¡Error!

$$\% \text{ Ahogamiento} = 0.401 = 40.1 \%$$

$$\% \text{ Ahogamiento} = 40 \%$$

Figura N °8

VERIFICACION DE LA OPERACION DE LA POZA DISIPADORA

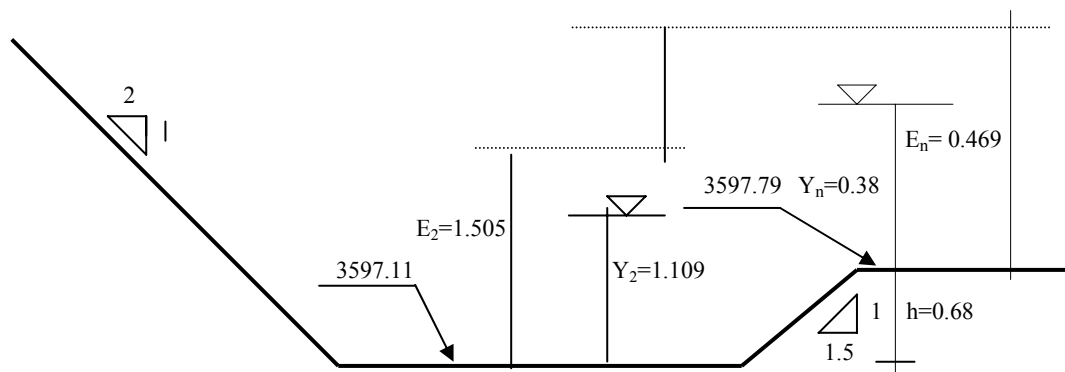


Figura N °8.a – Cotas y niveles de diseño original

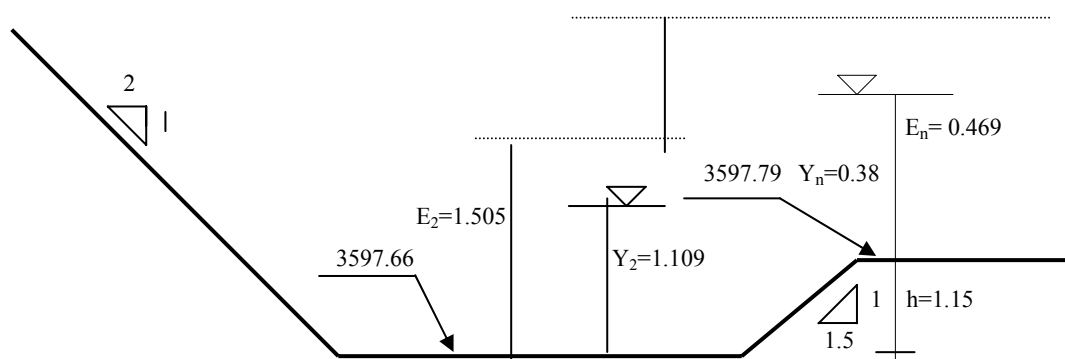


Figura N °8.b – Cota de fondo con porcentaje de ahogamiento

6.7 Longitud de la Poza Disipadora

Se determina aplicando la formula:

$$L = 5(Y_2 - Y_1)$$

Donde:

$$Y_1 = 0.146 \text{ m (tirante conjugado menor)}$$

El tirante Y_2 se calcula con:

$$Y_2 = - \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g}} + \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g} + 4Y_1^3}$$

Además: $Y_1 Y_2 = 1$

Reemplazando valores:

$$Y_2 = - \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g}} + \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g} + 4(0.146)^3}$$

$$Y_2 = 1.109 \text{ m}$$

Luego: $L = 5 (1.109 - 0.146)$

$$L = 4.81 \text{ m}$$

6.8 Trayectoria.

El Cuadro N° 7 nos proporciona las coordenadas y elevaciones de la trayectoria parabólica. El Gráfico N° 4 muestra la trayectoria parabólica vertical. Finalmente, la Figura N° 9 muestra el empalme de la trayectoria y el fondo de la poza disipadora.

6.9 Borde Libre de la Poza Disipadora

El Borde Libre recomendado para Pozas Disipadoras puede ser determinado del Gráfico N° 1, obtenida del Bureau of

Reclamation (Página 102 - Tema: F. CHUTES). La curva de calculo relaciona Borde Libre (pies) vs **¡Error!**.

Donde:

$$Q = 0.30 \text{ m}^3/\text{s} = 0.594 \text{ p}^3/\text{s}$$

$$Y_1 = 0.134 \text{ m} = 0.4396 \text{ pie}$$

$$V_1 = 7.463 \text{ m/s} = 24.484 \text{ p/s}$$

$$A_1 = 0.0402 \text{ m}^2 = 0.4327 \text{ p}^2$$

Luego:

$$\mathbf{¡Error!} = 263.52$$

Ingresando al gráfico, obtenemos:

$$\mathbf{BL = 1.9 \text{ pies} = 0.58 \text{ m}}$$

6.10 Transición de Salida

Es una transición divergente, de ensanche gradual, sin que el fondo varíe de cota.

CUADRO Nº 7**CALCULO DE LAS COORDENADAS Y ELEVACIONES DE LA TRAYECTORIA PARABOLICA**

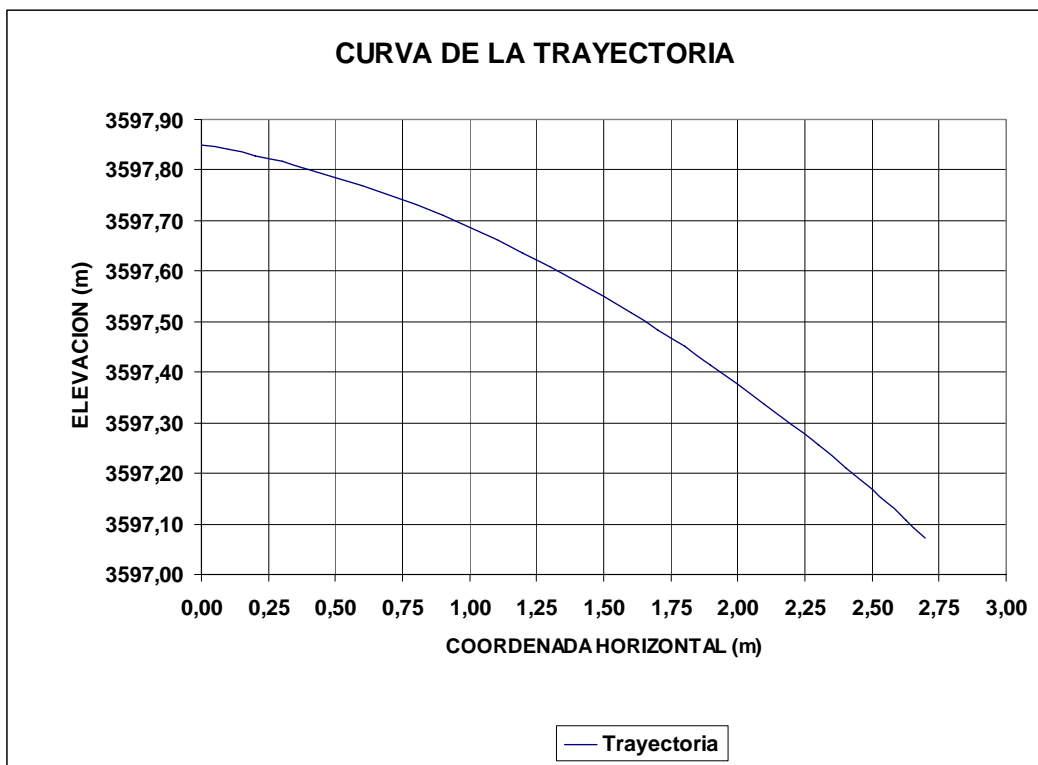
Ecuación general de la parábola:

$$y = - (x*s + ((g*x^2)/(4.5*v_0^2)))*(1+S^2)$$

Datos de entrada:

S	g (m/s ²)	V ⁰ (m/s)
0,091	9,81	5,49149

x	y	Elevación
0,00	0,00	3597,85000
0,10	-0,009829	3597,84017
0,20	-0,021116	3597,82888
0,30	-0,033860	3597,81614
0,40	-0,048062	3597,80194
0,50	-0,063722	3597,78628
0,60	-0,080840	3597,76916
0,70	-0,099415	3597,75058
0,80	-0,119448	3597,73055
0,90	-0,140940	3597,70906
1,00	-0,163888	3597,68611
1,10	-0,188295	3597,66171
1,20	-0,214159	3597,63584
1,30	-0,241481	3597,60852
1,40	-0,270261	3597,57974
1,50	-0,300499	3597,54950
1,60	-0,332194	3597,51781
1,70	-0,365347	3597,48465
1,80	-0,399958	3597,45004
1,90	-0,436027	3597,41397
2,00	-0,473553	3597,37645
2,10	-0,512537	3597,33746
2,20	-0,552979	3597,29702
2,30	-0,594879	3597,25512
2,40	-0,638236	3597,21176
2,50	-0,683052	3597,16695
2,60	-0,729325	3597,12068
2,63	-0,744108	3597,10589
2,70	-0,777056	3597,07294





De otro lado:

$$L_t = \text{¡Error!}$$

Donde:

$$b_2 = 0.55 \text{ m}; b_1 = 0.30 \text{ m}$$

$$\text{Asumiendo que: } \alpha/2 = 7^\circ 30'$$

Reemplazamos:

$$L_t = \text{¡Error!}$$

$$L_t = 0.95 \text{ m}$$

7.0 ANALISIS DE RESULTADOS

Cuadro N° 8

Dimensiones de las Estructuras del Canal Rápida

ESTRUCTURA: TRANSICION DE ENTRADA			
PARAMETROS	SIMBOLO	UND	VALOR
Cota 1		msnm	3601.59
Cota 2		msnm	3601.56
Ancho en 1	b_1	m	0.60
Ancho en 2	b_2	m	0.30
Angulo Deflexión	$\alpha / 2$	°	7°30'
Longitud	L_t	m	1.15
Desnivel	Δ_h	m	0.0275

ESTRUCTURA: CANAL RAPIDA			
PARAMETROS	SIMBOLO	UND	VALOR
Sección		m	Rectangular
Cota Inicio		msnm	3601.56
Cota Final		msnm	3597.85
Ancho	b	m	0.30
Tirante	Y	m	Variable
Tipo de Flujo			Supercrítico
Borde Libre	BL	m	0.7131

ESTRUCTURA: TRAYECTORIA			
PARAMETROS	SIMBOLO	UND	VALOR
Sección			Rectangular
Cota Inicio		msnm	3597.85
Cota Final		msnm	3597.46
Ancho	b	m	0.30
Tirante	y	m	Variable
Distancia horizontal	x	m	2.63
Distancia Vertical	y	m	0.39

ESTRUCTURA: POZA DISIPADORA			
PARAMETROS	SIMBOLO	UND	VALOR
Sección			Rectangular
Cota Fondo		msnm	3597.11
Ancho	b	m	0.30
Longitud	Lpd	m	4.8135
Profundidad	H	m	0.684
Tirante Conjugado ₁	Y ₁	m	0.1464
Tirante Conjugado ₂	Y ₂	m	1.1091
Borde Libre	BL	m	0.7131

ESTRUCTURA: TRANSICION DE SALIDA			
PARAMETROS	SIMBOLO	UND	VALOR
Sección			Rectangular
Cota Fondo ₁		msnm	3597.79
Cota Fondo ₂		msnm	3597.77
Tipo			Divergente
Ancho ₁	b ₁	m	0.30
Ancho ₂	b ₂	m	0.55
Angulo Deflexión	a/2	° ,	7°30'
Longitud	Lt	m	0.95

8.0 CONCLUSIONES

1. Las pérdidas de carga en las transiciones, dependen del ángulo que forman los aleros de la transición con el eje del canal. Para ciertos ángulos recomendables a veces resultan transiciones muy largas, con el consecuente desmedro económico; por lo tanto debe sopesarse estas medidas para obtener una estructura económica y funcional a la vez.
2. Una poza disipadora y una transición de salida construidas para las dimensiones recomendadas tal vez no contengan completamente la salpicadura causada por el agua turbulenta, pero la estructura debe contener suficiente de la turbulencia para prevenir daños por erosión después de la estructura.
3. La probabilidad de que ondas sean generadas en la estructura puede ser reducida, siguiendo las recomendaciones concernientes a ángulos de deflexión y simetría, evitando los cambios de dirección en la estructura.
4. La inclinación del terreno, la clase y volumen de excavación, el revestimiento, la permeabilidad y resistencia a la cimentación, y la estabilidad de taludes son condiciones de emplazamiento que determinan el tipo y componentes de la estructura.

9.0 BIBLIOGRAFIA

1. Rápidas:

Departamento de Recursos de Agua y Tierra
Universidad Nacional Agraria - La Molina

2. Manual de diseño: Rápidas

Cooperación Técnica Peruano - Holandesa
Ilaco.

3. Hidráulica de Canales Abiertos

Richard H. French
Editorial Mc Graw - Hill/Interamericana de México
Primera edición en español.

4. Design of small canal structures

Bureau of Reclamation
Water Resources Publications, LLC
1997

5. Irrigación

Ing. Cesar A. Rosell Calderón
Colegio de Ingenieros del Perú
1998

6. Manual de diseño hidráulico y obras de arte

Ing. Elmer García Rico
CONCYTEC
Primera Edición – 1987

FOTO N° 1



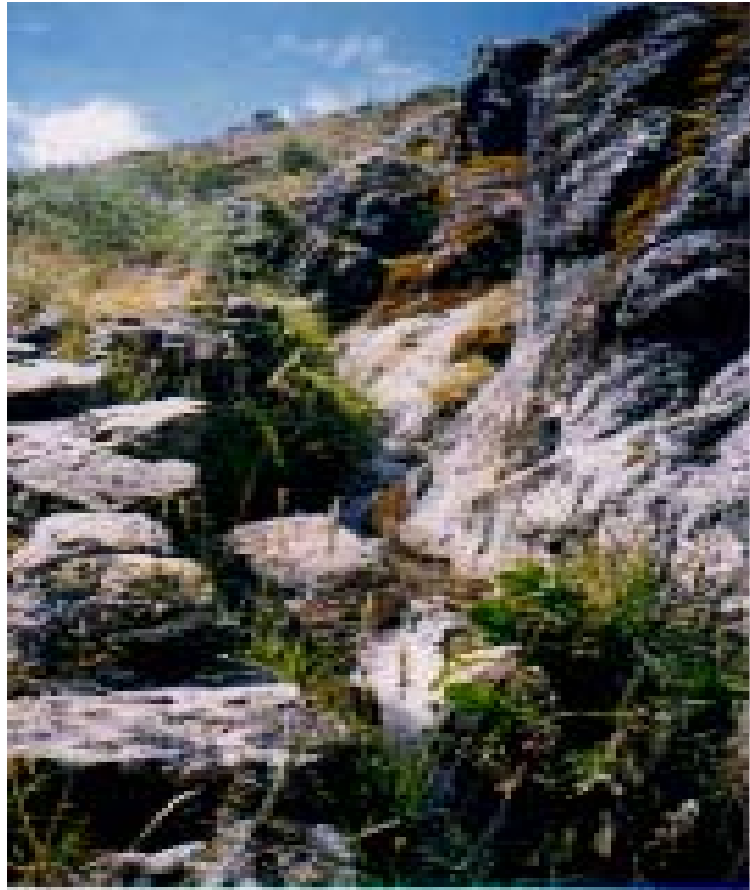
Vista de un tramo de canal de fuerte pendiente . Obsérvese la construcción rústica del canal

FOTO N° 2



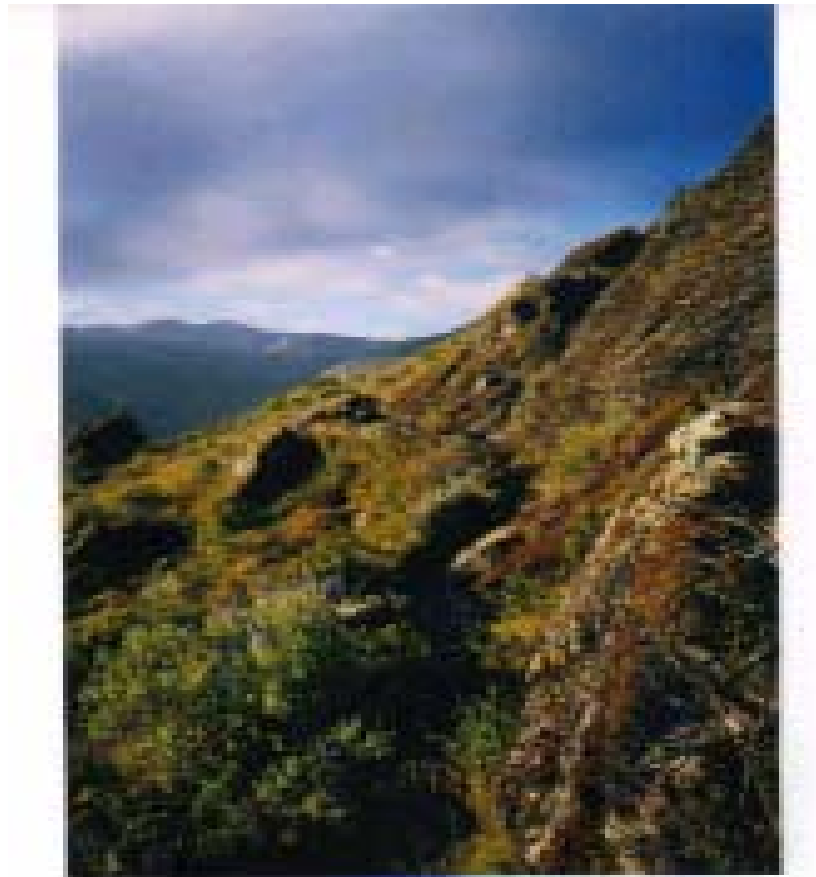
Vista de una Rápida en el canal. El canal sortea el relieve accidentado del terreno.

FOTO N° 3



Vista Aguas Abajo de una Rápida. Obsérvese la naturaleza rocosa del terreno.

FOTO N° 4



**Vista del Canal de Fortaleza en el tramo de estudio
(Progresiva 3+240 km)**

FOTO N° 5



Vista a la culminación de los trabajos de campo (Levantamiento Topográfico) en el Canal Fortaleza.

