
Método Directo v2.0

Para la Serie de Calculadoras hp48 y hp49

ej_miranda@hotmail.com

Contenido

1 Copyriht	4
2 Introducción	4
3 Bases Teórica	4
3.1 Elementos Geométricos De Una Sección De Canal	4
3.1.1 Ancho Superficial	4
3.1.2 Área Mojada	4
3.1.3 Perímetro Mojado	4
3.1.4 Radio Hidráulico	5
3.1.5 Profundidad Hidráulica	5
3.1.6 Factor De Sección	5
3.2 Tirante Crítico	5
3.2.1 Ecuación De Froude	5
3.3 Tirante Normal	5
3.3.1 Ecuación De Manning	6
3.4 Clasificación De Los Perfiles De Flujo	6
4 Operación Del Programa	7
4.1 Comando UNI	7
4.2 Comando MD8/9	7
4.3 Comando SEC	8
4.4 Comando GRA	9
4.5 Formulas Usadas Por El Programa	9
4.5.1 Comando MD8/9	9
4.5.1.1 Iteraciones	10
4.5.1.2 Alturas	10
4.5.1.3 Área	10
4.5.1.4 Perímetro Mojado	11
4.5.1.5 Ancho Superficial	11
4.5.1.6 Profundidad Hidráulica	11
4.5.1.7 Radio Hidráulico	11
4.5.1.8 Velocidad	11
4.5.1.9 Número De Froude	11
4.5.1.10 Pendiente De Fricción	11
4.5.1.11 Bresse	12
4.5.1.12 Delta x	12
4.5.1.13 x	12
4.5.2 Comando SEC	12
5 Ejemplos	13
5.1 Ejemplo 1	13
5.1.1 Datos	13

5.1.2 Solución	13
5.2 Ejemplo 2	21
5.2.1 Datos	22
5.2.2 Solución	22
6 Apéndice.....	24
6.1 Características	24
6.2 Autor	25

1 Copyright

Todos los ficheros de la biblioteca **MD48/49** tienen el copyright © por Javier Enrique Miranda.

La biblioteca **MD48/49** se distribuye bajo dominio público confiado en que sea de utilidad, pero se suministra “**tal cual**” y puede modificarse sin previo aviso.

No se da ninguna garantía de ningún tipo con respecto al software o la documentación. El autor no se hace responsable de cualquier error ni de consecuencias relacionadas con el software y la documentación.

2 Introducción

MD48/49 es una biblioteca diseñada para que sea de ayuda en el estudio del *Flujo En Canales Abiertos*, pudiendo esta calcular cualquier tipo de perfil para canales con sección rectangular, trapezoidal y triangular.

3 Bases Teóricas

3.1 Elementos Geométricos De Una Sección De Canal

3.1.1 Ancho Superficial

El *Ancho Superficial* **T** es el ancho de la sección del canal en la superficie libre.

$$b + 2zy$$

3.1.2 Área Mojada

El *Área Mojada* **A** es el área de la sección transversal del flujo perpendicular a la dirección del flujo.

$$(b + zy)y$$

3.1.3 Perímetro Mojado

El *Perímetro Mojado* **P** es la longitud de la línea de intersección de la superficie de canal mojada y de un plano transversal perpendicular a la dirección del flujo.

$$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$$

3.1.4 Radio Hidráulico

El *Radio Hidráulico R* es la relación del área mojada con respecto a su perímetro mojado.

$$\frac{A}{P}$$

3.1.5 Profundidad Hidráulica

La *Profundidad Hidráulica D* es la relación entre el área mojada y el ancho en la superficie.

$$\frac{A}{T}$$

3.1.6 Factor De Sección

El *Factor De Sección Z* para el cálculo de flujo crítico Z es el producto del área mojada y la raíz cuadrada de la profundidad hidráulica.

$$A\sqrt{D}$$

3.2 Tirante Crítico

Para un canal por el que circula un cierto caudal Q , el tirante crítico (o profundidad crítica) es aquel que verifica que el número de Froude es igual a 1.

Por lo tanto, el tirante crítico depende de la geometría del canal y el caudal y no de otros parámetros como ser la pendiente y la rugosidad (número de Manning).

3.2.1 Ecuación De Froude

$$\left(\frac{Q}{A}\right)^2 - g\left(\frac{A}{T}\right) = 0$$

Esta ecuación esta en función de y_c , al resolverla obtendremos el valor del tirante crítico.

3.3 Tirante Normal

Para un canal con una cierta pendiente y rugosidad, por el que circula un cierto caudal Q , el tirante normal (o profundidad normal) es aquel que verifica que el flujo es uniforme.

Por lo tanto, a diferencia del tirante crítico, este depende además de la geometría del canal y el caudal de otros parámetros como ser la pendiente y la rugosidad (número de Manning).

Observación: El tirante normal solo está definido para canales con pendiente positiva (no horizontal ni adversa).

3.3.1 Ecuación De Manning

Para el Sistema de Unidades Internacional:

$$n\left(\frac{Q}{A}\right) - s_0^{\frac{1}{2}}\left(\frac{A}{P}\right)^{\frac{2}{3}} = 0$$

Para el Sistema de Unidades Ingles:

$$n\left(\frac{Q}{A}\right) - 1.49s_0^{\frac{1}{2}}\left(\frac{A}{P}\right)^{\frac{2}{3}} = 0$$

Estas ecuaciones están en función de y_N , al resolver la que nos interesa obtendremos el valor del tirante normal.

3.4 Clasificación De Los Perfiles De Flujo

Se pueden clasificar de acuerdo a las relaciones entre los Tirantes Crítico y Normal (y por lo tanto a la pendiente) de acuerdo a las siguientes categorías

Perfiles “S” (steep, o de pendiente pronunciada). Son aquellos donde para un caudal determinado el tirante normal es menor que el crítico (flujo normal supercrítico)

Perfiles “M” (mild, o de pendiente moderada). Son aquellos donde para un caudal determinado el tirante normal es mayor que el crítico (flujo normal subcrítico)

Perfiles “C” (critical, o de pendiente pronunciada). Son aquellos donde para un caudal determinado el tirante normal es igual que el crítico (flujo normal crítico)

Perfiles “H” (horizontal, o sin pendiente). En este caso no es posible encontrar un tirante normal.

Perfiles “A” (Adverse, o de pendiente adversa). En este caso tampoco es posible encontrar un tirante normal.

Cada canal tiene hasta 3 diferentes tipos de curvas de superficie libre asociadas, de acuerdo a la región donde se encuentre la condición de borde respecto a los tirantes crítico y normal.

Tipos De Perfiles De Flujo En Canales Prismáticos

Pendiente	Designación			Tipo General De Curva	Tipo De Flujo
Horizontal	Ninguno			Ninguno	Ninguno
		H2		Caída	Subcrítico
			H3	Remanso	Supercrítico
Suave	M1			Remanso	Subcrítico
		M2		Caída	Subcrítico
			M3	Remanso	Supercrítico
Crítica	C1			Remanso	Subcrítico
		C2		Paralelo Al Fondo Del Canal	Uniforme-Critico
			C3	Remanso	Supercrítico
Empinada	S1			Remanso	Subcrítico
		S2		Caída	Supercrítico
			S3	Remanso	Supercrítico
Adversa	Ninguno			Ninguno	Ninguno
		A2		Caída	Subcrítico
			A3	Remanso	Supercrítico

4 Operación Del Programa

4.1 Comando UNI

```

RAD XYZ HEX R= 'X'      00 25 27:JAN
{HOME}
5:
4:  SI
3:  Ingres
2:
1:
      CANCEL  OK

```

Este comando se usa para poder selecciona el tipo de unidades que usara el programa al inicializar con **MD8/9**.

4.2 Comando MD8/9



El comando MD8/9 inicializara el programa, e ira abriendo 6 Plantillas:

- Plantilla 1 – Sección De Canal
- Plantilla 2 – El Canal
- Plantilla 3 – El Canal
- Plantilla 4 – Condiciones De Borde
- Plantilla 5 – Parámetros
- Plantilla 6 – La Tabla

Cada plantilla se abrirá si y solo si su antecesora ha recolectado los datos pedidos y si además estos están dentro del rango de cada variable.

Si por ejemplo en la primera plantilla base y talud son ‘cero’ al mismo tiempo, entonces el programa no dejara pasar los datos y devolverá el mensaje: **“Dato(s) No Valido(s)”**.



Para seguir con el programa presiona **OK**, e introduce los datos correctos.

Lo que hace el comando es crear una tabla de iteraciones de x-y para así poder graficar el perfil con esas coordenadas (ver 4.5.1).

Esta tabla puede ser Completa o Compacta (Plantilla 6).

4.3 Comando SEC

El comando SEC sirve para calcular la **Curva Secuente** de la curva anteriormente calculada con el comando MD8/9.

Limitación: Solo calcula la curva seciente de canales con sección rectangular.
Si la sección no fuese rectangular el programa mostrara el mensaje: **“Sección No Valida”**.


```

RAD XYZ HEX R= 'X'      00 29 27:JAN
{HOME}
5:
4: Seccion
3: No Valida
2:
1:

```

4.4 Comando GRA

El comando GRA sirve para graficar las curvas calculadas, este te mostrara 2 *choose* diferentes dependiendo si calculaste o no la Curva Secuente.

```

RAD XYZ HEX R= 'X'      00 30 27:JAN
{HOME}
5:
4: Curva
3:
2:
1:

```

```

RAD XYZ HEX R= 'X'      00 30 27:JAN
{HOME}
5: Curva
4: Secuente
3: Ambos
2:
1:

```

4.5 Formulas Usadas Por El Programa

4.5.1 Comando MD8/9

Este comando puede formar 2 tipos de tablas a partir de los datos recolectados; como las que se muestran a continuación (con opción de redondeo de 3).

Tabla Completa

IT	y	A	P	T	v	F	dy/dx	>x	x
1.	.5	1.	3.	2.	6.	2.71	.006	0.	0.
2.	.544	1.087	3.087	2.	5.519	2.391	.006	6.871	6.871

3.	.587	1.174	3.174	2.	5.11	2.13	.006	6.98	13.851
4.	.631	1.261	3.261	2.	4.757	1.913	.006	7.136	20.986
5.	.674	1.348	3.348	2.	4.45	1.73	.006	7.366	28.352
6.	.718	1.436	3.436	2.	4.18	1.575	.005	7.722	36.075
7.	.761	1.523	3.523	2.	3.94	1.442	.005	8.317	44.392

Tabla Compacta

IT	y	dy/dx	>x	x
1.	.5	.006	0.	0.
2.	.544	.006	6.871	6.871
3.	.587	.006	6.98	13.851
4.	.631	.006	7.136	20.986
5.	.674	.006	7.366	28.352
6.	.718	.005	7.722	36.075
7.	.761	.005	8.317	44.392

Estas tablas se forman resolviendo las siguientes formulas para cada iteración.

4.5.1.1 Iteraciones

$$IT = \frac{yF - yI}{\Delta y}$$

$$\Delta y = \frac{yF - yI}{IT - 1}$$

El programa solo admite un “IT” que varié desde 2 hasta 30. Cuando introduces un “Δy” el programa verifica que con este valor no se exceda las 30 iteraciones, si es así el programa borra el valor y da un mensaje de error.

4.5.1.2 Alturas

El “yI” y el “yF” tienen que ser mayores a cero (>0). También ambos pueden ser iguales (Perfil C2).

4.5.1.3 Área

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

4.5.1.4 Perímetro Mojado

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2}$$

4.5.1.5 Ancho Superficial

$$T = b + 2zy$$

4.5.1.6 Profundidad Hidráulica

$$D = \frac{A}{T}$$

4.5.1.7 Radio Hidráulico

$$R = \frac{A}{P}$$

4.5.1.8 Velocidad

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

4.5.1.9 Número De Froude

$$F = \frac{v}{\sqrt{gD}}$$

“g” puede tomar los siguientes valores:

$$g = 9.80665 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$g = 32.174 \text{ [ft/s}^2\text{]}$$

Dependiendo de que sistema de unidades se este utilizando.

4.5.1.10 Pendiente De Fricción

Para el Sistema Internacional de Unidades:

$$sF = \left(\frac{nv}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2$$

Para el Sistema Ingles de Unidades:

$$sF = \left(\frac{nv}{1.49R^{\frac{2}{3}}} \right)^2$$

4.5.1.11 Bresse

$$\frac{dy}{dx} = \frac{s0 - sF}{1 - F^2}$$

4.5.1.12 Δx

$$\Delta x = \frac{2\Delta y}{\frac{dy}{dx}_i + \frac{dy}{dx}_{i-1}}$$

4.5.1.13 x

$$x = x_{i-1} + \Delta x_i$$

4.5.2 Comando SEC

Este comando puede formar tablas de iteraciones para formar la Curva Secuente.

CURVA SECUENTE v2.0

IT	y1	x	y2
1.	.5	0.	1.682
2.	.578	12.454	1.516
3.	.657	25.403	1.375
4.	.735	39.391	1.255

Los valores de “x” y “y1” son tomados de una variable que se guarda en el directorio oculto y con estos se obtiene “y2”. Para esto se usa la siguiente formula:

$$y_2 = y_1 \left(\frac{-1 + \sqrt{1 + 8F^2}}{2} \right)$$

5 Ejemplos

5.1 Ejemplo 1

Con los siguientes datos calcular los Perfiles que se llegan a formar.

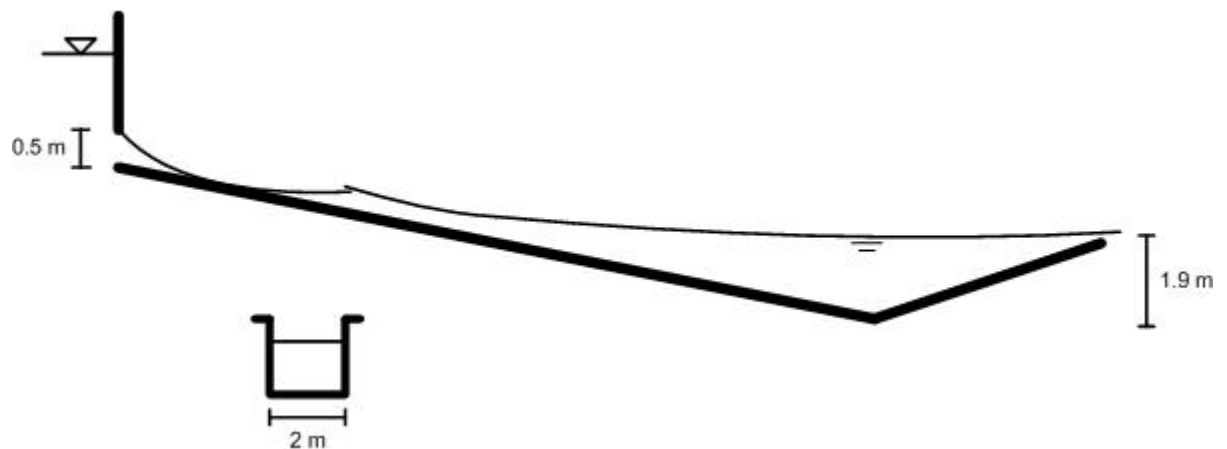
5.1.1 Datos

$Q=6 \text{ [m}^3/\text{s]}$

$n=0.018$

$s=0.01$

Longitud del Canal=50 [m]



5.1.2 Solución

Nota: Antes de cualquier cosa, se debe de verificar primero que tipo de unidades se va a usar y seleccionarlas con el comando **UNI**.



En nuestro caso seleccionaremos SI.

I. Calculamos Los Tirantes Crítico Y Normal

Para esto utilizamos la biblioteca y *Critico Normal v2.0* © por Javier Enrique Miranda. Esta biblioteca nos dará como solución:

$y_C = 0.972$ [m]
 $y_N = 0.892$ [m]

Comparando los Tirantes podemos ver que se forman perfiles del **Tipo “S”** (“S3”, ”S1”).
 (Ver la tabla del subtitulo 3.4).

II. Calculamos Los Perfiles S3 Y S3’

a. Iniciamos con el Comando MD8/9

Plantilla 1: Esta plantilla nos pide ingresar la base y el talud de la sección del canal.



Nota: Si $z=0$ la sección es Rectangular y si $b=0$ entonces la sección es Triangular.

Plantilla 2: Esta plantilla nos pide ingresar el caudal que pasa por el canal. La aceleración de la gravedad se coloca por defecto en la plantilla.

```

##### METODO DIRECTO #####
El Canal:
  g: 9.80665  q: 6
(c) Por Javier Miranda
Gravedad [ m/s^2 ]
EDIT [ ] [ ] [ ] CANCEL OK

```

Plantilla 3: Esta plantilla nos pide ingresar el Coeficiente de Rugosidad de Manning y la Pendiente del Canal.

```

##### METODO DIRECTO #####
El Canal:
  n: .018  s: .01
UMSS-FCYT [ Ing-Civil ]
Coeficiente De Rugosidad
EDIT [ ] [ ] [ ] CANCEL OK

```

Plantilla 4: Esta plantilla nos pide ingresar las Condiciones de Borde del Perfil (el Tirante Inicial y el Final).

```

##### METODO DIRECTO #####
Cond. De Borde:
  yI: .5  yF: .892
Cochabamba-Bolivia
Tirante Inicial [ m ]
EDIT [ ] [ ] [ ] CANCEL OK

```

Nota: En nuestro caso nuestro Perfil va desde 0.5 a 0.892.

Plantilla 5: Esta plantilla nos pide ingresar el Número de Iteraciones o el Δy y la Longitud del Canal.

```

##### METODO DIRECTO #####
Parametros:
  IT: 6  x: 50
ej_mirandathotmail.com
Longitud Del Canal (+/-) [ m ]
EDIT [ ] [ ] [ ] CANCEL OK

```

En nuestro caso tomamos 6 Iteraciones.

Nota: La Longitud del Canal es *positiva* si el Perfil empieza desde aguas arriba, y *negativa* si empieza desde aguas abajo.

Plantilla 6: Esta plantilla nos pide escoger como queremos ver la tabla de salida, si Completa o Compacta, y si queremos ver los elementos de la tabla redondeada.

```

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
METODO DIRECTO
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

La Tabla:

TAB: Completa RND: 3
MD49 v2.0 (c) 2004 JEM
User CHOOSE 0 [+/-]
CHOOS CANCEL OK
  
```

b. Tabla de Iteraciones

Después de presionar **OK** en la plantilla 6.

```

RAD XYZ HEX R= 'X'
{HOME} 00:36 27-JAN
1: "
METODO DIRECTO v...

+-----+-----+-----+
| IT | y | A | P | T |
+-----+-----+-----+
MD4 SEC GRA UNI
  
```

Nota: Para poder visualizar esta tabla se debe de tener instalado un Visor (te puedes bajar visores de www.hpcalc.org).

Visualizándolo:

METODO DIRECTO v2.0					
IT	y	A	P	T	
1.	.5	1.	3.	2.	
2.	.578	1.157	3.157	2.	

La tabla completa es esta:

METODO DIRECTO v2.0

IT	y	A	P	T	v	F	dy/dx	>x	x
1.	.5	1.	3.	2.	6.	2.71	.006	0.	0.
2.	.578	1.157	3.157	2.	5.187	2.178	.006	12.454	12.454
3.	.657	1.314	3.314	2.	4.568	1.8	.006	12.949	25.403
4.	.735	1.47	3.47	2.	4.081	1.52	.005	13.987	39.391

c. Ejecutamos el comando SEC

```
RAD XYZ HEX R= 'X'
{HOME} 00 37 27:JAN
1: "
CURVA SECUENTE v...
+-----+-----+-----+
| IT | y1 | x | y2 |
+-----+-----+-----+
MOD SEC GRA UNI
```

Visualizándolo:

CURVA SECUENTE v2.0			
IT	y1	x	y2
1.	.5	0.	1.682
2.	.578	12.454	1.516

La tabla completa es esta:

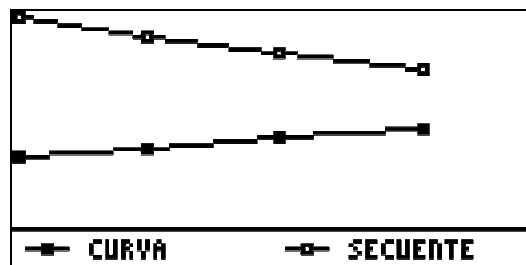
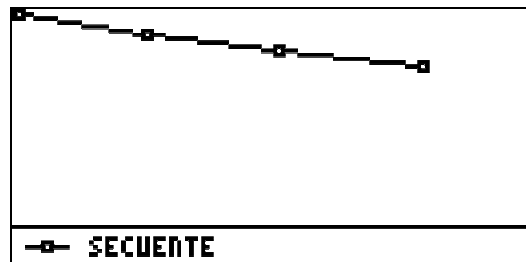
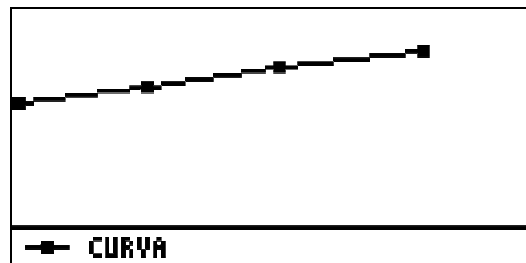
CURVA SECUENTE v2.0

IT	y1	x	y2
1.	.5	0.	1.682
2.	.578	12.454	1.516
3.	.657	25.403	1.375
4.	.735	39.391	1.255

d. Ejecutamos el comando GRA

Curva
Secuente
RABOS

Con este comando podemos graficar la Curva su Secuente o ambas (graficaremos separadamente las curvas y luego ambas).



III. Calculamos El Perfil S1

a. Iniciamos con el Comando MD8/9

Plantilla 1:

```

##### METODO DIRECTO #####
Seccion Del Canal:
  b: 2 z: 0
MD49 v2.0 (c) 2004 JEM
Base [ m ]
EDIT CANCEL OK

```

Plantilla 2:

```

##### METODO DIRECTO #####
El Canal:
  g: 9.80665 q: 6
(c) Por Javier Miranda
Gravedad [ m/s^2 ]
EDIT CANCEL OK

```

Plantilla 3:

```

##### METODO DIRECTO #####
El Canal:
  n: .018 s: .01
UMSS-FCYT [ Ing-Civil ]
Coeficiente De Rugosidad
EDIT CANCEL OK

```

Plantilla 4:

```

##### METODO DIRECTO #####
Cond. De Borde:
  yI: 1.9 yF: .972
Cochabamba-Bolivia
Tirante Inicial [ m ]
EDIT CANCEL OK

```

Plantilla 5:

```

METODO DIRECTO
Parametros:
  IT: 6 x: -50
ej_mirandathotmail.com
IT/Δy
EDIT CANCEL OK

```

Nota: Como pueden ver la longitud del canal es negativo esto indica que el perfil empieza desde aguas abajo (“S1”).

Plantilla 6:

```

METODO DIRECTO
La Tabla:
  TAB: Completa RND: 8
MD49 v2.0 (c) 2004 JEM
Usar CHOOSE 0 [+/-]
CHOOS CANCEL OK

```

b. Tabla de Iteraciones

Después de presionar **OK** en la plantilla 6:

METODO DIRECTO v2.0				
IT	y	A	P	
1.	1.9	3.8	5.8	2
2.	1.714	3.429	5.429	2

La tabla completa es esta:

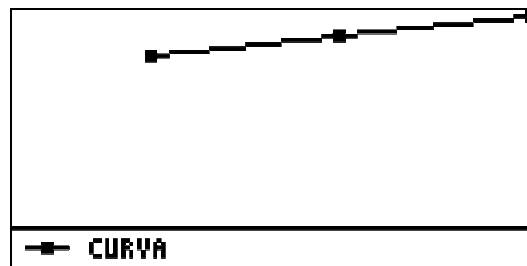
METODO DIRECTO v2.0										
IT	y	A	P	T	v	F	dy/dx	>x	x	
1.	1.9	3.8	5.8	2.	1.579	.366	.01	0.	50.	
2.	1.714	3.429	5.429	2.	1.75	.427	.01	-18.659	31.341	
3.	1.529	3.058	5.058	2.	1.962	.507	.01	-18.412	12.929	

c. Ejecutamos el comando GRA

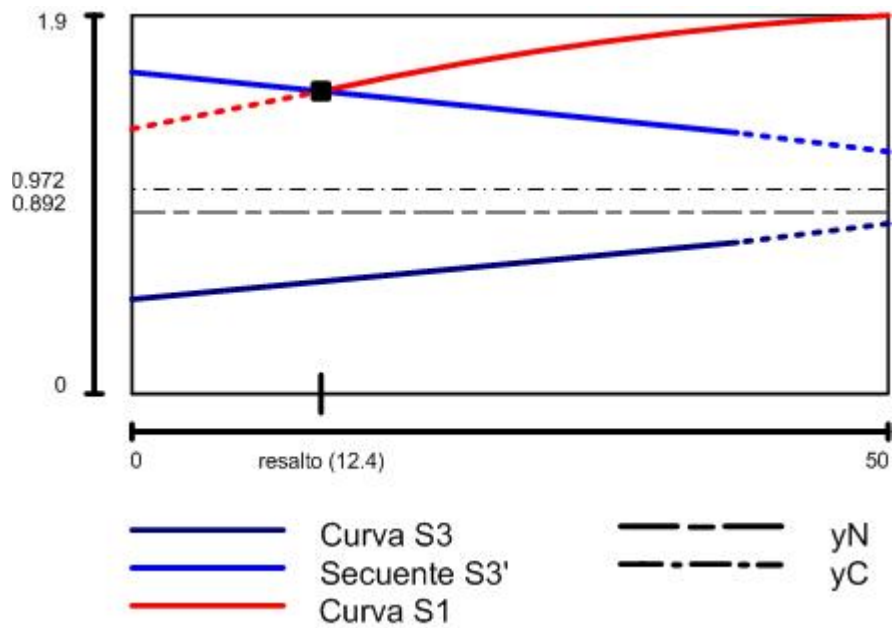
```

RAD XYZ HEX R= 'X'
CHONE3 00:39 27-JAN
5:
4: Curva
3:
2:
1:
[ ] [ ] [ ] [ ] CANCEL OK
  
```

Visualizamos la Curva:



IV. Graficamos Todas Las Curvas



5.2 Ejemplo 2

Con los siguientes datos calcular los Perfiles que se llegan a formar.

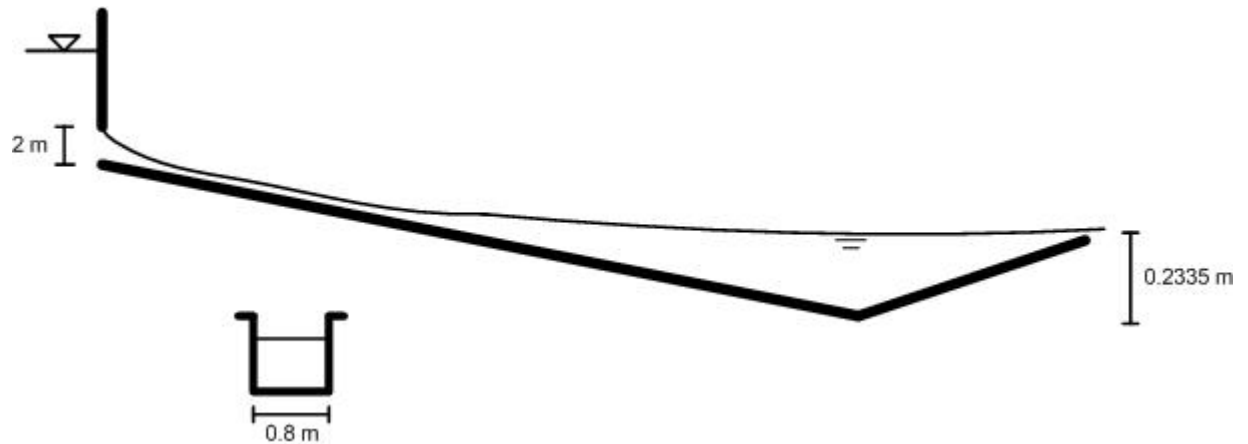
5.2.1 Datos

$Q=0.031 \text{ [m}^3/\text{s]}$

$n=0.015$

$s=0.034$

Longitud del Canal=15 [m]



5.2.2 Solución

I. Calculamos Los Tirantes Crítico Y Normal

$y_C=0.053 \text{ [m]}$

$y_N=0.033 \text{ [m]}$

Se forman **Perfiles “S”**

II. Calculamos Los Perfiles S2 y S2'

a. Tabla del Perfil S2

METODO DIRECTO v2.0

IT	y	A	P	T	v	F	dy/dx	>x	x
1.	.053	.042	.906	.8	.731	1.014	-.943	0.	0.
2.	.049	.039	.898	.8	.791	1.141	-.082	.008	.008
3.	.045	.036	.89	.8	.861	1.296	-.032	.07	.078
4.	.041	.033	.882	.8	.945	1.491	-.015	.171	.248
5.	.037	.03	.874	.8	1.047	1.739	-.006	.395	.643

6.	.033	.026	.866	.8	1.174	2.064	0.	1.309	1.952
----	------	------	------	----	-------	-------	----	-------	-------

b. Tabla del Perfil S2'

CURVA SECUENTE v2.0

IT	y1	x	y2
1.	.053	0.	.054
2.	.049	.008	.058
3.	.045	.078	.063
4.	.041	.248	.068
5.	.037	.643	.074
6.	.033	1.952	.081

c. Grafica de los Perfiles S2 y S2'



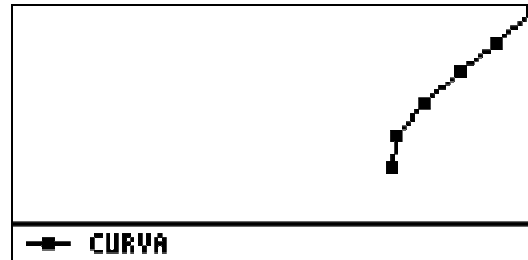
III. Calculamos El Perfil S1

a. Tabla del Perfil S1

METODO DIRECTO v2.0

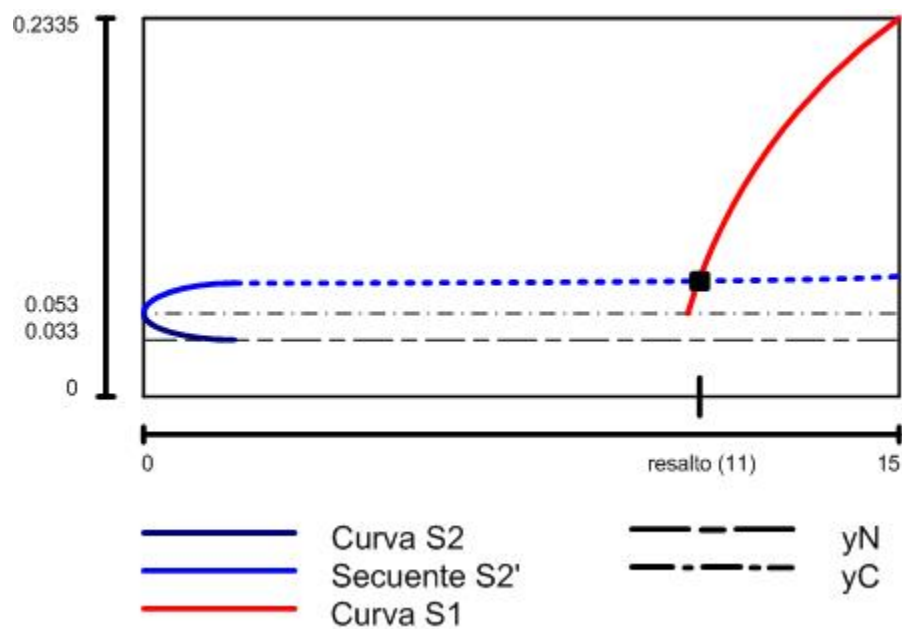
IT	y	A	P	T	v	F	dy/dx	>x	x
1.	.234	.187	1.268	.8	.166	.109	.034	0.	15.
2.	.198	.158	1.196	.8	.196	.141	.035	-1.051	13.949
3.	.162	.129	1.123	.8	.24	.19	.035	-1.04	12.909
4.	.125	.1	1.051	.8	.309	.279	.036	-1.014	11.894
5.	.089	.071	.978	.8	.434	.464	.042	-.929	10.965
6.	.053	.042	.906	.8	.731	1.014	-.943	-.08	10.885

b. Grafica del Perfil S1



IV. Graficamos Todas Las Curvas

Juntando las anteriores graficas (dibujándolas con la misma escala vertical) obtenemos el siguiente resultado:



6 Apéndice

6.1 Características

Titulo..... MD48/49 v2.0
 Tipo..... Biblioteca
 Checksum..... HP48 (# 554Ch ; 7859.5) HP49 (# E192Fh ; 7931.5)
 Lenguaje..... SysRPL (99%) / UserRPL (1%)
 Plataformas Soportadas..... HP48G/G+/GX y HP49G/g+

6.2 Autor

Javier Enrique Miranda
Cochabamba - Bolivia
Universidad Mayor de San Simón
Facultad de Ciencias y Tecnología (Carrera de Ingeniería Civil)
E-mail: [<ej_miranda@hotmail.com>](mailto:ej_miranda@hotmail.com)