

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **OBTENCIÓN DE LOS COEFICIENTES DE DESCARGA DE ALVIADEROS DE LABERINTO, SEGÚN SU POSICION EN EL CANAL DE ALIVIO Y SEGÚN LA ALTURA DE INICIO DE LA CANALETA DE DESCARGA**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Delgado F.  
Gustavo A.  
Para optar al Título  
de Ingeniero Civil

Caracas, 2009

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **OBTENCIÓN DE LOS COEFICIENTES DE DESCARGA DE ALVIADEROS DE LABERINTO, SEGÚN SU POSICION EN EL CANAL DE ALIVIO Y SEGÚN LA ALTURA DE INICIO DE LA CANALETA DE DESCARGA**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Jose de Jesus Gaspar

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Delgado F.  
Gustavo A.  
Para optar al Título  
de Ingeniero Civil

Caracas, 2009

## DEDICATORIA

Este trabajo de grado se lo dedico a todas aquellas personas que viven sinceramente para cambiar mundo, y cuya labor notable o no, tenga como prioridad hacer un aporte a la humanidad para mejorar este mundo en que vivimos. Pero especialmente a:

Rodolfo Minumboc, quien fue un gran creador, un escritor insigne y un modernista que vio mas allá de las fachadas, lejos de esta tierra, siendo fuente de inspiración y honor para nuestra familia. Ya perteneces a la historia.

Carmelita Ulloa, quien con su disciplinado fervor y su filosofía dejo aquel legado de sabiduría y demás virtudes, que son la guía para la vida.

Alberto Guillen, el idealista, el maestro, aquel patriarca, que siendo un uno más de aquella resistencia, fue el único de aquella generación en dar ese paso al frente y luchar por la defensa de los ideales.

Antonio Villegas, quien como soldado fuiste a aquella guerra y enseñaste el deber, el honor, el ejemplo, y la fuerza, poner los trofeos de un lado y hacer el esfuerzo, fue la enseñanza.

Y a Todos aquellos ancestros que hoy miran lo que hacemos en su nombre.

## **Agradecimientos**

Ante todo agradezco a mi madre por su ayuda, su apoyo y todas aquellas cosas que hizo por mí, perceptibles o no, ante todo a ella le doy mi máximo reconocimiento.

Al tutor de esta tesis Profesor J.J. Gaspar, por la oportunidad de la realización de esta tesis y a su esposa, por todas las molestias ocasionadas. A Alejandro Balestrini, quien en un momento dado fue mi compañero para este trabajo, pero por falta de perspicacia, hizo de su presencia en esto un punto de inflexión, espero que te recuperes.

A la profesora Yuri Medina, quien al frente del departamento de hidráulica con sus cartas y permisos me ayudó con aquellas excepciones que colaboraron con el desarrollo del estudio. Al profesor Mauro Nalesso, quien con sus aparatos electrónicos fue de vital ayuda para la validación de los datos obtenidos. A La Profesora Bernarda Romero por su asesoría. Al Profesor Marco Falcón por sus indicaciones y atenciones. Al señor Pablo, quien con su taller y sus indicaciones fue de vital importancia para la elaboración del modelo estructural. A Mauricio por haber prestado su camión para llevar el acrílico. Al Licenciado Fidel Jaramillo.

A los vigilantes del Edificio de Hidráulica, quienes pacientemente me permitieron el paso al edificio de hidráulica uno y otra vez aquel diciembre a realizar los trabajos. A mis compañeros de clase quienes de una u otra manera me ayudaron con este trabajo, Henry Sarmiento, Miguel Medrano, Waldorf Gomez, Maria del Pino, Jorge Vargas, Renato Canónico, Omar López, Karol Sánchez, Dayselis Márquez, Alejandro Guilarte. A Vladimir Martínez por todas aquellas veces que me pregunto sobre la tesis.

Y a todos aquellos que se me escapan a la memoria.



**Delgado F., Gustavo A.**

**OBTENCIÓN DE LOS COEFICIENTES DE DESCARGA DE ALIVIADEROS DE LABERINTO, SEGÚN SU POSICION EN EL CANAL DE ALIVIO Y SEGÚN LA ALTURA DE INICIO DE LA CANALETA DE DESCARGA**

**TUTOR ACADÉMICO: Prof. José de Jesús Gaspar**

**Trabajo especial de grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil 2009 153 n° paginas**

**Palabras Claves:** Aliviaderos, modelos, Coeficientes

**Resumen:**

Este trabajo de grado presenta la obtención de los coeficientes de descarga de aliviaderos de laberinto, según la variación de dos características geométricas. Posición del vertedero, hacia el canal de descarga y hacia aguas arriba, en el canal de aproximación, donde los efectos de fricción de las paredes laterales es mínimo. La otra característica geométrica es la altura inicial de la canaleta de descarga en cada uno de los ciclos del laberinto, lo cual determina la pendiente de esta canaleta. Se ha procedido a realizar mediciones en un modelo físico reducido y en dimensiones acordes a la disponibilidad de espacio en el canal de vidrio del Laboratorio de Hidráulica del Departamento de Hidráulica. Se obtuvieron curvas que relacionan el coeficiente de descarga con el caudal para cuatro formas de ubicación del vertedero de laberinto y también para cuatro alturas de inicio de la canaleta de salida. Se pudo observar como el coeficiente de descarga aumenta en la medida en que se ubica el vertedero de laberintos hacia el canal de aproximación, liberándolo de los efectos de fricción de las paredes, obteniéndose diferencias en el coeficiente de descarga del orden de 4% a 16%. De igual manera, se observaron incrementos en el coeficiente de descarga 3% a 12% para la altura de inicio de la canaleta de descarga.

## INDICE

### Paginas Preliminares

Acta.....	III
Dedicatoria.....	IV
Agradecimientos.....	V
Resumen.....	VI
Introducción.....	1
Capitulo I.....	4
1 Planteamiento del Problema.....	5
2 Antecedentes.....	8
3 Objetivos.....	10
3.1 Objetivo General.....	10
3.2 Objetivos Específicos.....	10
Capitulo II.....	11
1 Embalse.....	12
1.1 Elementos de un Embalse.....	13
1.2 Niveles Notables de un Embalse.....	15

1.2.1 Nivel de aguas muertas o nivel mínimo.....	15
1.2.2 Nivel de aguas normales.....	15
1.2.3 Nivel de aguas máximas.....	15
1.3 Volúmenes notables de un embalse.....	17
1.3.1 Volumen muerto.....	17
1.3.2 Volumen Útil.....	17
1.3.3 Volumen de control de crecientes.....	17
1.4 Caudales Notables.....	17
1.4.1 Caudal Regulado.....	17
1.4.2 Caudal Firme o Garantizado.....	17
1.4.3 Caudal ecológico.....	17
1.5 Efectos.....	17
1.6 Tipos de Presas.....	18
1.6.1 Presas de Concreto.....	18
1.6.2 Presas de Enrocado.....	19
1.6.3 Presas de Tierra.....	19
2 Aliviaderos.....	20
2.1 Criterio de diseño de un aliviadero.....	20
2.2 Factores de determinación de la capacidad de un Aliviadero.....	21
2.3 Componentes de un aliviadero.....	21

2.3.1 Canal de Aproximación.....	22
2.3.2 Estructuras de Control.....	24
2.3.3 Cimacio.....	24
2.3.4 Canal rápido.....	25
2.3.5 Estructuras finales, o disipadoras de energía.....	27
2.4 Clasificación de los aliviaderos.....	29
2.5 Aliviadero tipo usado para el modelo.....	29
2.5.1 Aliviadero frontal recto.....	30
2.5.2 Aliviadero frontal curvo.....	32
2.5.3 Selección del tipo de aliviadero.....	33
3 Aliviaderos de Laberinto.....	34
3.1 Definición.....	34
3.2 Ciclo de vertedero de Laberinto.....	35
3.3 Tipos de aliviaderos de laberinto.....	35
3.4 Elementos de un Vertedero de laberintos.....	36
3.5 Dirección del eje del vertedero de laberinto.....	37
3.6 Pendiente de la canaleta de salida.....	38
3.7 Ventajas Constructivas de los Vertedero en Laberinto.....	38
Capitulo III.....	39

1 Evolución de vertedero de laberinto.....	41
2 Otras funciones.....	45
3 Funcionamiento hidráulico de las partes de un Vertedero de Laberinto.....	46
3.1 Sistema de aproximación.....	46
3.2 Perfiles de Cresta.....	48
3.3 Apertura angular entre las paredes del vertedero.....	52
3.4 Canaletas de Salida y características del flujo aguas abajo.....	53
3.5 Implementos de aeración.....	56
4 Coeficiente de descarga.....	57
5 Características del Flujo de descarga.....	60
6 Oscilación de la descarga.....	64
7 Tensión superficial.....	67
8 Aeración.....	68
Capitulo III.....	71
1 Ecuaciones de diseño.....	72
1.1 Numero de ciclos.....	73
1.2 Ancho de ciclo.....	73
1.3 Longitud de cresta.....	73
1.4 Angulo Entre paredes del Vertedero.....	75

1.5	Ápice.....	76
1.6	Longitud de la pared de Vertedero.....	76
1.7	Perfil de cresta.....	76
1.8	Paredes del vertedero.....	77
1.9	Condiciones de Aproximación y posición del vertedero.....	78
1.9.1	Variación de la aproximación con respecto a la investigación..	80
1.10	La canaleta de salida y canal rápido.....	81
1.11	Interferencia de la descarga.....	82
2	Acerca de los Resultados Experimentales.....	82
2.1	Coefficiente de descarga.....	83
2.1.1	Errores de cálculo.....	83
2.2	Rango de Carga Hidráulica.....	84
2.3	Efectos producidos por la tensión superficial.....	85
3	Descripción del modelo.....	85
3.1	Ubicación del modelo.....	86
3.2	El Modelo de aliviadero de Laberinto.....	87
3.3	La aeración del flujo.....	92
4	Método de Operación.....	95
	Capitulo V.....	96

1 Validación de los resultados obtenidos.....	97
1.1 Mediciones.....	97
1.2 Mediciones en el modelo.....	98
1.2.1 Niveles.....	98
1.2.2 Presiones.....	98
2 Ubicación.....	99
3 Actividades en el modelo.....	100
4 Resultados experimentales.....	101
4.1 Grafica de coeficientes de descarga en función a las formas de aproximación.....	101
4.1.1 Grafica de coeficientes de descarga en función a las formas de aproximación para la relación $Y_a/P = 0,625$ .....	102
4.1.2 Grafica de coeficientes de descarga en función a las formas de aproximación para la relación $Y_a/P = 0,5$ .....	103
4.1.3 Grafica de coeficientes de descarga en función a las formas de aproximación para la relación $Y_a/P = 0,375$ .....	104
4.1.4 Grafica de coeficientes de descarga en función a las formas de aproximación para la relación $Y_a/P = 0,25$ .....	105
4.2 Grafica de coeficientes de descarga en función a las relaciones $Y_a/P$ .....	106
4.2.1 Grafica de coeficientes de descarga en función a las relaciones $Y_a/P$ para la primera aproximación.....	106
4.2.2 Grafica de coeficientes de descarga en función a las relaciones $Y_a/P$ para la segunda aproximación.....	107

4.2.3 Grafica de coeficientes de descarga en función a las relaciones Ya/P para la tercera aproximación.....	108
4.2.4 Grafica de coeficientes de descarga en función a las relaciones Ya/P para la cuarta aproximación.....	109
5 Observaciones fotográficas a las modalidades sometidas a experimentación.....	109
Capitulo VI.....	115
1 Tablas comparativas	
1.1 Tablas comparativa de los resultados en función a las altura de la canaleta de descarga.....	116
1.1.1 Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a las formas de aproximación para Ya/P= 0,625.....	116
1.1.2 Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a las formas de aproximación para Ya/P= 0,5.....	116
1.1.3 Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a las formas de aproximación para Ya/P= 0,375.....	117
1.1.4 Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a las formas de aproximación para Ya/P= 0,25.....	117
1.2 Tabla comparativa de los resultados en función a las aproximaciones.....	117
1.2.1 Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a Ya/P para la primera forma de aproximación.....	118
1.2.2 Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a Ya/P para la segunda forma de aproximación.....	118
1.2.3 Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a Ya/P para la tercera forma de aproximación.....	119



1.2.4	Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a $Y_a/P$ para la cuarta forma de aproximación.....	119
1	Observaciones por a las aproximaciones en función a la pared de canal de Aproximación.....	119
2.1	Graficas comparativas paras dos formas de aproximación según la altura de inicio de la canaleta de descarga.....	120
2.1.1	Grafica comparativas paras dos formas de aproximación según la altura de inicio de la canaleta $Y_a/=0,625$ .....	120
2.1.2	Grafica comparativas paras dos formas de aproximación según la altura de inicio de la canaleta $Y_a/=0,5$ .....	120
2.1.3	Grafica comparativas paras dos formas de aproximación según la altura de inicio de la canaleta $Y_a/=0,375$ .....	121
2.1.4	Grafica comparativas paras dos formas de aproximación según la altura de inicio de la canaleta $Y_a/=0,25$ .....	121
	Conclusiones.....	123
	Recomendaciones.....	126
	Bibliografía.....	127
	Apéndice I.....	129
	Apéndice II.....	133
	Apéndice III.....	137
	Apéndice IV.....	143
	Apéndice V.....	145

## INDICE DE GRAFICOS

Figura III.10 Grafica del coeficiente de descarga para el perfil de cresta Quarter Round.....52

Figura III.12 Grafica del coeficiente de descarga para valores de  $\alpha$ . Tullis (1995).....53

Figura III.14 Grafica del coeficiente de descarga para valores de Canaleta de salida. Taylor (1968).....	55
Figura III.20 Graficas de los coeficientes de descarga para los flujos bajo el efecto de aeración y sin tales efectos. Rouvé y Indlerkofer (1974).....	69
Figura IV.1. Grafica de los coeficientes de descarga para el valor de $Y_a$ . Taylor y Hay (1970).....	74
Figura IV.2. Grafica de los coeficientes de descarga para el valor del ángulo $\alpha$ . Tullis (1995).....	75
Figura V.3 Grafica de coeficientes de descarga en función a las formas de aproximación para la relación $Y_a/P = 0.625$ .....	102
Figura V.4 Grafica de coeficientes de descarga en función a las formas de aproximación para la relación $Y_a/P = 0.50$ .....	103
Figura V.5 Grafica de coeficientes de descarga en función a las formas de aproximación para la relación $Y_a/P = 0.375$ . ....	104
Figura V.6 Grafica de coeficientes de descarga en función a las formas de aproximación para la relación $Y_a/P = 0.25$ .....	105
Figura V.7 Grafica de coeficientes de descarga en función a las relaciones $Y_a/P$ para la primera aproximación.....	106
Figura V.8 Grafica de coeficientes de descarga en función a las relaciones $Y_a/P$ para la segunda aproximación.....	107
Figura V.9 Grafica de coeficientes de descarga en función a las relaciones $Y_a/P$ para la tercera aproximación. ....	108
Figura V.10 Grafica de coeficientes de descarga en función a las relaciones $Y_a/P$ para la cuarta aproximación. ....	109
Figura IV.1 Grafica comparativas para dos formas de aproximación según la altura de inicio de la canaleta $Y_a/=0,625$ .....	120

Figura IV.2 Grafica comparativas para dos formas de aproximación según la altura de inicio de la canaleta $Y_a=0,5$ .....	120
Figura IV.3 Grafica comparativas para dos formas de aproximación según la altura de inicio de la canaleta $Y_a=0,375$ .....	121
Figura IV.4 Grafica comparativas para dos formas de aproximación según la altura de inicio de la canaleta $Y_a=0,25$ .....	121
Figura A3.6. Graficas para los caudales de medición, obtenidos por el Flow Tracker y la ecuación para vertedero en V.....	142

## INDICE DE FIGURA

Figura I.1 vista del modelo construido.....	7
Figura II.1. Esquema de los aportes de un embalse.....	13
Figura II.2 elementos de una presa.....	14
Figura II.3 niveles notables de una presa.....	16
Figura II.4 niveles notables de una presa hidroeléctrica.....	17
Figura II.5 presas de concreto de gravedad y contrafuerte.....	19
Figura II.6 presas de enrocado y tierra.....	19
Figura II.7 Perspectiva de un canal de aproximación.....	22
Figura II.8 Vista en planta de la perspectiva de canal de aproximación.....	23
Figura II.9 Ilustración de un cimacio aguas arriba vertical.....	24
Figura II.10a Ilustración de una sección transversal de un canal rápido.....	26
Figura II.10b Ilustración de una sección transversal de un canal rápido.....	27
Figura II.11 Ilustración de un estanque disipador.....	28

Figura II.12 Ilustración de un lanzador.....	29
Figura II.13 Ilustración de un aliviadero.....	31
Figura II.14 Ilustración de un típico aliviadero típico con Vertedero de Laberinto...31	
Figura II.15 Ilustración del perfil de un aliviadero típico con Vertedero de cimacio..32	
Figura II.16 Ilustración de la estructura de un vertedero de laberinto.....	34
Figura II.17 Tipos de ciclo de vertedero de laberinto.....	35
Figura II.18 Vista en planta de los tipos de vertedero de Laberinto.....	35
Figura II.19 Ilustración de la estructura de un aliviadero de laberinto y sus partes...36	
Figura II.20 Ilustración de la estructura de un aliviadero de laberinto y sus partes....37	
Figura II.21 Ilustración de la estructura de un aliviadero de laberinto y sus partes...37	
Figura II.22 Vista en planta de dos direcciones de un aliviadero de laberinto Trapezoidal.....	37
Figura II.23 Vista de perfil de un vertedero indicando el valor correspondiente a la altura de inicio de canaleta de descarga “Ya”. .....	38
Figura III.1 Perspectiva de un canal de aproximación, vertedero de Laberinto y canal rápido.....	41
Figura III.2 Vista en planta de un vertedero de laberinto tipo rectangular.....	42
Figura III.3 Vista en planta de un vertedero de laberinto tipo Triangular.....	43
Figura III.4 Vista en planta de un vertedero de laberinto tipo Trapezoidal.....	44
Figura III.5 Terminus Dam, Lake Kaweah U.S.....	44
Figura III.6 Vista de la aproximación, donde se muestran sus partes y las canaletas de entrada.....	46

Figura III.7 Vista de los diferentes perfiles de cresta de pared de vertedero.....	49
Figura III.8 Vista del perfil de cresta de pared de vertedero piramidal.....	50
Figura III.9 Vista del perfil de cresta de pared desarrollado por Megalhaes.....	51
Figura III.11 Vista en planta del ángulo de las paredes del vertedero con respecto al eje del vertedero.....	52
Figura III.13 Vista de perfil de un vertedero indicando el valor correspondiente a la altura de inicio de canaleta de descarga “Ya”.....	54
Figura III.15 Esquema de la aeración de la descarga bajo el vertedero.....	56
Figura III.16 perfiles de vertido sobre el vertedero.....	61
Figura III.17 Vista en detalle de la descarga de un Vertedero de Laberinto (River Chees).....	61
Figura III.18 interferencia de la descarga en el ápice aguas arriba.....	63
Figura III.19 Vista y detalle de la oscilación de la descarga en un ápice de vertedero Triangular.....	65
Figura IV.3. Posición normal e invertida del laberinto.....	79
Figura IV.4. Estructura de Aproximación.....	80
Figura IV.5. Vista en Perfil del Canal y el estanque que contiene el modelo.....	86
Figura IV.6. Vista en planta de los elementos del modelo.....	87
Figura IV.7. Vista en planta del vertedero de laberinto y las canaletas de salida.....	88
Figura IV.8. Vista de las dimensiones dadas a un ciclo de vertedero.....	88
Figura IV.9 Vista de perfil las diferentes modalidades de canaleta de salida.....	91

Figura IV.10. Vista en planta de las diferentes configuraciones de aproximación a ser ensayadas.....	91
Figura IV.11. Vista en perfil del acabado Quarter-Round.....	92
Figura IV.12. Vista del esquema del mecanismo de aeración.....	93
Figura IV.13. Vista del esquema del mecanismo de aeración en una cara de la pared de vertedero.....	94
Figura IV.14. Vista general del modelo, con la aproximación, el vertedero y el canal rápido.....	94
Figura V.1 calibración del vertedero en $V$ .....	98
Figura V.2 Piezómetros.....	99
Figura V.11. Descarga de los ápices aguas abajo.....	110
Figura V.12. Detalle de la aproximación y punto de medición.....	110
Figura V.13. Detalle de descarga a altos caudales.....	110
Figura V.14. Detalle de los bolsones de aire aguas arriba y en los ápices.....	110
Figura V.15. Descarga a altas cargas hidráulicas.....	110
Figura V.16. Perfil de la descarga.....	110
Figura V.17. Perfil del vertido en la pared del canal.....	111
Figura V.18. Vista del modelo.....	111
Figura V.19. Detalle del remanso diagonal.....	111
Figura V.20. Vista del remanso diagonal y sugerencia del segmento aguas arriba de la canaleta de descarga.....	111
Figura V.21. Detalle del vertido del ápice.....	111

Figura V.22. Detalle del vertido del ápice en varias direcciones.....	111
Figura V.23. Vista del flujo en el canal rápido de flujo con oleaje cruzado a flujo turbulento.....	112
Figura V.24. Detalle del remanso diagonal.....	112
Figura V.25. Vista del vertido asimétrico sobre un ciclo.....	112
Figura V.26. Desbalance del vertido.....	112
Figura V.27. Vertido de bajos caudales.....	112
Figura V.28. Detalle del remanso diagonal.....	112
Figura V.29. Detalle del vertido Turbulento del ápice.....	113
Figura V.30. Simetría del vertido y de los remansos.....	113
Figura V.31. Asimetría del vertido en el ciclo derecho.....	113
Figura V.32. Remanso sobre el ciclo.....	113
Figura V.33. Carga Hidráulica mayor sobre el ápice.....	113
Figura V.34. Bolsones de aire bajo la lamina.....	113
Figura V.35. Carga Hidráulica mayor sobre el ápice.....	114
Figura V.36. Vertido asimétrico y turbulento.....	114
Figura V.37. Interferencia de la descarga.....	114
Figura V.38. Descarga del vertedero en el canal.....	114
Figura V.39. Detalle de los bolsones de aire bajo interferencia de la descarga.....	114
Figura V.40. Caudales bajos donde no ocurre interferencia de descarga.....	114
Figura AII.1. Vista del vertedero en V utilizado.....	131

Figura AII.2. Líneas de corriente en vertederos en V.....	131
Figura AII.3 Perfil de Vertedero en V (triangular).....	132
Figura AII.1. Lugares claves en el pegado.....	134
Figura AII.1. Detalles de las perforaciones a precisión.....	136
Figura A3.1. Vista de las partes del instrumento.....	138
Figura A3.2 Condiciones Ideales de flujo.....	139
Figura A3.3. Vista de otras condiciones de dirección de flujo.....	139
Figura A3.4. Realización de las mediciones.....	140

### INDICE DE TABLAS

Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a las formas de aproximación para $Y_a/P= 0,625$ .....	116
Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a las formas de aproximación para $Y_a/P= 0,5$ .....	116
Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a las formas de aproximación para $Y_a/P= 0,375$ .....	117
Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a las formas de aproximación para $Y_a/P= 0,25$ .....	117
Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a $Y_a/P$ para la primera forma de aproximación.....	118
Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a $Y_a/P$ para la segunda forma de aproximación.....	118
Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a $Y_a/P$ para la tercera forma de aproximación.....	119
Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a $Y_a/P$ para la cuarta forma de aproximación.....	119
Tabla A3.1. Resultados obtenidos por el Flow Tracker.....	142



Tabla AIV.1 Números de weber Obtenidos.....	144
Tabla AV.1 Ensayos para primera aproximación y $Y_a/P=0,625$ .....	146
Tabla AV.2 Ensayos para primera aproximación y $Y_a/P=0,5$ .....	147
Tabla AV.3 Ensayos para primera aproximación y $Y_a/P=0,375$ .....	148
Tabla AV.4 Ensayos para primera aproximación y $Y_a/P=0,25$ .....	149
Tabla AV.5 Ensayos para segunda aproximación y $Y_a/P=0,625$ .....	150
Tabla AV.6 Ensayos para segunda aproximación y $Y_a/P=0,5$ .....	151
Tabla AV.7 Ensayos para segunda aproximación y $Y_a/P=0,375$ .....	152
Tabla AV.8 Ensayos para segunda aproximación y $Y_a/P=0,25$ .....	152
Tabla AV.9 Ensayos para tercera aproximación y $Y_a/P=0,625$ .....	153
Tabla AV.10 Ensayos para tercera aproximación y $Y_a/P=0,5$ .....	155
Tabla AV.11 Ensayos para tercera aproximación y $Y_a/P=0,375$ .....	156
Tabla AV.12 Ensayos para tercera aproximación y $Y_a/P=0,25$ .....	158
Tabla AV.13 Ensayos para cuarta aproximación y $Y_a/P=0,625$ .....	159
Tabla AV.14 Ensayos para tercera aproximación y $Y_a/P=0,5$ .....	160
Tabla AV.15 Ensayos para tercera aproximación y $Y_a/P=0,375$ .....	161
Tabla AV.16 Ensayos para tercera aproximación y $Y_a/P=0,25$ .....	162

## **Introducción**

## Introducción

Los aliviaderos de laberinto responden a la necesidad de mejorar el funcionamiento de las estructuras de alivio en embalses. Los cuales surgen por la necesidad de aumentar la descarga de un aliviadero, manteniendo el mismo ancho de canal de alivio. Al aumentar la descarga se puede aumentar el nivel de aguas máximas dentro de un mismo borde libre disponible. Tienen como ventaja recuperar el volumen útil perdido por sedimentación, ajustarse a las crecidas corregidas de una hidrología no ajustada a las situaciones reales de la cuenca de aporte e incluso cambios en el régimen de crecientes debido a cambios climáticos, entre otros.

Este aumento se produce por el incremento de la longitud efectiva de descarga de un vertedero de cresta recta en una formación alternativa de su proyección en planta. La utilización de estos mecanismos se ha hecho frecuente en los últimos años, lo cual ha suscitado numerosas investigaciones.

Los vertederos de Laberinto, muestran un aumento del volumen de descarga, y este incremento está proyectado como parte del diseño inicial del aliviadero o rehabilitaciones a estructuras ya existente. En estos últimos se busca el aumento del nivel de aguas normales del cuerpo de agua, para reponer pérdidas del volumen útil por sedimentación, manteniendo el mismo nivel de aguas máximas.

Los aliviaderos de laberintos presentan diferentes configuraciones de su geometría, sobretodo su orientación en planta, a lo cual se generan variaciones en la capacidad de descarga, bien sea aumentándolas o disminuyéndolas. Estas variaciones en el volumen de descarga que se puede dar de una configuración a otra se reflejan en el coeficiente de descarga. El comportamiento de descarga de un aliviadero incluyendo un aliviadero de Laberinto va descrito por el coeficiente de descarga. La optimización del funcionamiento de este tipo de vertedero en estudio va orientado a mejoras en los elementos geométricos que lo conforman.

En este trabajo se busca determinar los coeficientes de descarga de un aliviadero de laberinto en relación a dos características geométricas, una la forma de la aproximación y a otra la pendiente de la canaleta de salida. El fin es observar

el desempeño de ese coeficiente con respecto a las variaciones que se realicen a las características.

Se ha desarrollado investigaciones en modelos hidráulicos sobre aliviaderos de laberinto, situando como objetivo la determinación de valores de coeficiente de descarga, asociados a las configuraciones geométricas experimentadas. Para la obtención de coeficientes de descarga se ha planteado es el estudio de un modelo hidráulico para un aliviadero de laberinto en función de las dos características geométricas.

Una de estas características es la posición del vertedero en relación con la aproximación, cuya configuración incide notablemente en la conducción de aguas del embalse al vertedero. Muchas configuraciones se habían diseñado a partir de observaciones a prototipos y modelos anteriores, pero muy pocos investigadores habían especificado conclusiones numéricas al respecto.

La otra característica evaluada en el montaje experimental es la pendiente de la canaleta de salida para cada ciclo de vertedero, la cual gobierna el comportamiento del vertedero en el acto de la descarga. Para ambas características el objetivo es obtener las gráficas de los coeficientes de descarga, como principio para realizar comparaciones, y las cuales tienen la finalidad de mostrar situaciones de descarga y plantear las premisas que se puedan interpretar a partir de su contenido.

Se ha recurrido a la modelación física por que esta ha sido una herramienta en la investigación en el área de la hidráulica, señalada por Da Vinci más de 5 siglos como una necesidad en la construcción del conocimiento de esta materia. Desde entonces ha ido desarrollándose y requiriendo mayores necesidades de infraestructura, materiales, instrumentación y otros. Sus resultados han aportado vital información para el entendimiento de la hidráulica así como para implementaciones de configuraciones de obras.

De hecho se destaca que la gran mayoría de los autores que han generado conocimientos sobre vertederos de laberintos han recurrido a modelos físicos para sus investigaciones.

## **Capítulo I**

## **1 Planteamiento del Problema:**

El uso de los vertederos de Laberinto es una práctica cada vez más frecuente en aliviaderos de embalses, cuando es necesario aumentar el nivel de aguas normales, manteniendo el mismo borde libre de presa o cuando no se dispone de un volumen adecuado para el control de crecientes. Se puede considerar este tipo de estructura como una serie de estructuras dispuestas en forma de zigzag asemejando en vista de planta el dentado de una cremallera. Por consiguiente, se aumenta la longitud efectiva de descarga del aliviadero, para un mismo ancho de canal.

Es de destacar, que al aumentar la longitud efectiva de descarga, el caudal a descargar aumenta, por lo que la capacidad del aliviadero se incrementa. Esta viene a ser la ventaja más importante, dado que la finalidad de la disposición de la estructura del aliviadero de laberinto, es cumplir esta función, para lo cual se ha realizado este tipo de diseño. Otro aspecto importante de estas estructuras es la posibilidad de incrementar la capacidad del embalse, característica que genera por consiguiente aumentar el nivel de aguas normales, manteniendo el mismo nivel de aguas máximas.

Existe amplia bibliografía la cual proporciona gráficos que permiten el diseño de un vertedero en laberinto; al respecto se puede citar a Tullis, Waldron y Amanian (1995). Sin embargo, muchos aspectos sobre el funcionamiento de estas estructuras no han sido investigados; inclusive en casos sencillos sigue siendo recomendable realizar el estudio del funcionamiento hidráulico en modelos físicos reducidos.

Se dispone de información somera sobre los efectos en el coeficiente de descarga de la posición del vertedero con respecto al embalse. J. Houston (1998), ha encontrado que el coeficiente de descarga aumenta en la medida en que el vertedero se interna en el canal de aproximación y disminuye al colocarlo dentro del canal. También reporta efectos en el coeficiente de descarga según la primera canaleta adyacente al muro del aliviadero, pero no presenta conclusiones numéricas o gráficos de coeficientes referenciales.

Por otra parte, tiene importante efecto en el coeficiente de descarga, la altura en la cual se inicia la canaleta de salida. Al respecto, Taylor presenta un gráfico con información limitada a sólo tres relaciones entre la altura de inicio de la canaleta de salida y la altura del vertedero.

Como consecuencia de lo expuesto, se ubica la importancia de construir un modelo hidráulico para hacer investigaciones que permitan visualizar los efectos de la posición del vertedero y alturas de inicio de la canaleta, que aporten más información cuantitativa que la disponible. Por esta razón se recurrió al estudio de este dispositivo, a según un equivalente geométrico físico a escala de un aliviadero con vertedero en laberinto, para realizar un análisis cuantitativo y cualitativo del comportamiento hidráulico para varias situaciones. Este análisis será hecho a través de observaciones realizadas a las diferentes disposiciones del modelo en estudio.

Las modificaciones de las situaciones de funcionamiento hidráulico en el vertedero, se realizarán mediante la observación de la capacidad de descarga en dicho sistema, examinando y comparando entre sí las diversas formas de las propuestas de situaciones en estudio, con el fin de obtener el valor óptimo del coeficiente de descarga.

Se considera la utilización de aliviaderos de laberinto según su forma trapezoidal para el desarrollo de todas las experiencias, debido a que ésta es la configuración óptima para el funcionamiento hidráulico, según investigaciones previas. De hecho, se puede observar en la literatura consultada que es la modalidad más usada en los vertederos de laberinto existentes. Como particularidad, se puede resaltar que este modelo será de tres ciclos. Un ciclo comprende toda una secuencia de paredes contrapuestas que asemejan en planta la secuencia de una onda.

Se considerará variar dos características físicas importantes en el modelo, ya citadas, y en función de las cuales se trazarán las curvas de descarga, evaluándose para las diferentes formas de aproximación cuatro variantes.

Como particularidad, se puede destacar que este modelo, está partiendo de estudios previos, en los cuales se han presentado variantes en sus conclusiones, razón principal que incita a llevar a cabo una investigación específica elaborada en torno a las consecuencias de las diferentes modalidades de descarga.

Por otro lado, la construcción del modelo de aliviadero presenta como punto importante, una relación de tamaño o escala entre el dimensionamiento de lo actualmente construido y el modelo que se quiere elaborar para someter a experimentación.

Al final de este trabajo especial de grado, se espera optimizar el conocimiento sobre el funcionamiento hidráulico de estas estructuras (vertederos laberintos), aportando así conocimientos y experiencias en el área de vertederos laberintos. También, con este trabajo especial de grado se espera conocer el efecto en el coeficiente de descarga producido por la ubicación del vertedero en el aliviadero, hacia el embalse (canal de aproximación) o hacia el canal (canal rápido del aliviadero).



Figura I.1 vista del modelo construido



## 2 Antecedentes

En algunas estructuras hidráulicas construidas por las antiguas civilizaciones, se observa elementos de descarga con características similares a los vertederos actuales, con disposición de sus partes alternativa para aumentar la descarga. Estas construcciones hidráulicas fueron antecedentes autodidactas de los primeros vertederos de laberintos. Se pueden ubicar estructuras similares, o que trabajen bajo el mismo principio en varias construcciones desarrolladas a lo largo de las sucesivas civilizaciones hasta el siglo pasado.

Se genero entonces la necesidad de aumentar la longitud de descarga en los aliviaderos de los embalses, a lo cual esta variante de la disposición se incorporo, y fue evolucionando e incorporándose en los diseños de embalses. Los estudios formales se iniciaron recientemente y son pocos los investigadores que han aportado información al desempeño de estas estructuras.

En Francia se planteó una estructura muy similar a un vertedero de laberinto, Fusegate, como mecanismo de aliviadero que incrementa la longitud efectiva de descarga, representó al menos teóricamente una innovación en la materia, pero en los prototipos desarrollados, se presentaron problemas muy relevantes tales como dificultades constructivas, sedimentación, falla en el momento de funcionamiento y altos costos constructivos. No se conocen recientes construcciones de aliviaderos utilizando estos dispositivos.

Muchos modelos y estudios han sido desarrollados por J P Tullis, quien ha realizado numerosas publicaciones y las cuales han servido de referencia bibliográfica para diseños y rehabilitaciones. Muchos de los conceptos teóricos utilizados para el desarrollo de este modelo se basan en las publicaciones desarrolladas por Tullis.

Las configuraciones que un aliviadero de laberinto podría tener diferentes variantes, las cuales de acuerdo a su ubicación y forma, pueden influir en el coeficiente de descarga del vertedero. Algunas de estas configuraciones han sido investigadas en modelos y observaciones a prototipos y algunas solo se han

investigado parcialmente su desempeño, pero hay otras características que no han sido desarrolladas.

### **3 Objetivos**

#### **3.1 Objetivo General:**

Calcular para un aliviadero en laberinto la influencia de la posición del vertedero en el canal de alivio y defecto de la altura del inicio de la canaleta de salida en el coeficiente de descarga; mediante la utilización de un modelo a escala.

#### **3.2 Objetivos Específicos:**

- 1) Calcular coeficientes de descarga para distintas formas de aproximación en alternancia con las configuraciones de la canaleta de descarga.
- 2) Estimar la influencia de la posición de la pared de vertedero en el canal de descarga mediante variantes de su posición.
- 3) Trazar los gráficos característicos de los coeficientes de descarga, según las Formas modeladas.

## **Capítulo II**

### **Estructuras Hidráulicas**

Es importante citar conocimientos hidráulicos, que tomen parte en la determinación de los coeficientes de descarga y se relacionen con el modelo a desarrollar.

## **1 Embalse**

El embalse es un cuerpo de agua creado artificialmente por el hombre, para el almacenamiento de excedentes de aguas provenientes de cursos de aguas naturales. La configuración física es particular para cada uno de estos depósitos de agua y su tamaño va en función de los requerimientos para lo cual fue construido.

Su configuración física se adapta a la disponibilidad topográfica o vaso de almacenamiento y allí se dispone para su almacenamiento las aguas provenientes de ríos, escorrentías o llenados artificiales. (Figura II.1) El objetivo de estas construcciones es el abastecimiento de agua a poblaciones, generación de energía eléctrica, control de inundaciones y riego entre las más importantes. Estos objetivos se ordenan en dos grupos, con fines de aprovechamiento o con fines de protección.

Los lagos y estancamientos de los ríos son formaciones naturales que presentan las mismas características que los embalses. A diferencia que estos son causadas por la orografía y el movimiento geomorfológico de la corteza terrestre, también por actividad volcánica, grandes acumulaciones de sedimentos, disminución del lecho de un río y otras actividades geológicas. También se dado el caso de cuerpos de agua de esta naturaleza creados por la actividad biológicas de algunos animales como castores y marsupiales australianos.

La formación de embalses depende necesariamente de la topografía del lugar, pues el requerimiento básico es la existencia de un vaso de almacenamiento formado por formas irregulares de la topografía adyacente al cuerpo de aporte de agua (Figura II.1). Al aprovechar la formación del vaso de almacenamiento se construye, por actividad humana o natural, el tapón, para el cerramiento y acumulación de agua. Muchas veces la acumulación de agua, ocurre por crecidas o aumento significativo de los aportes de agua.

La construcción de presas ha sido una actividad generada por el hombre desde los principios de las civilizaciones históricas, por lo que la evolución de

estas estructuras fue realizada de una manera autodidacta para convertirse en una disciplina que concentra ciencias aplicadas.

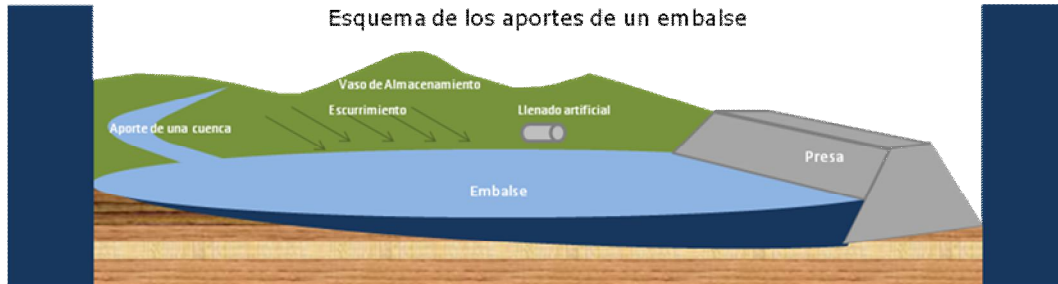


Figura II.1. Esquema de los aportes de un embalse

### 1.1 Elementos de un Embalse

Un embalse ocupa un espacio físico donde se estancan las aguas, a esta área, se le denomina vaso de almacenamiento, en la cual se encuentran los elementos hidráulicos para el funcionamiento del embalse,(figura II.2) los cuales son:

- Presa: Es el elemento que cierran el paso de los ríos, para estancar el curso natural de un río.
- Tapones: Son presas secundarias, que tienen como objetivo complementar el vaso de almacenamiento en esos puntos donde el nivel máximo del embalse estaría por encima de la cota mas alta de la topografía.
- Tomas: Son estructuras desarrolladas para desalojar el agua para los propósitos de operación del embalse.
- Descarga de Fondo: Es una estructura que tiene como funciones desalojar sedimentos acumulados en el fondo del estanque y vaciar el embalse en caso de ser necesario.
- Aliviaderos: Es una estructura, que desaloja los excesos de agua provenientes de crecidas.
- Obras de desvío: Se refiere a todo el conjunto de obras necesarias para desviar el afluente, para construir las obras del embalse.
- Otras obras adicionales pueden considerar otras estructuras, según el requerimiento particular de cada diseño, así como elementos ecológicos, retenedores de sedimentación y demás.

La elección del vaso de almacenamiento implica requerimientos topográficos, geológicos, geomorfológicos, económicos y ecológicos, entre los más importantes. Un sitio de presa con una formación morfológica accidentada, es fundamental para el emplazamiento de un embalse, para el aprovechamiento del espacio y maximizar el volumen de agua a almacenar. La elección de un sitio de presa presencias de llanura, es poco estimado, debido a que el área inundable no sería aprovechable con respecto al volumen de agua a almacenar. Este criterio es el más prioritario a consultar en el diseño de una presa.



Figura II.2 elementos de una presa

La geología de un sitio de presa es importante por los componentes del material del vaso de almacenamiento. La seguridad de la presa, vida útil y función dependen de la geología, debido a que es el material que va a estar en contacto con el embalse. También la geomorfología es importante, pues la orientación de mantos y fallas donde se asientan las obras construidas de la presa, y embalse dependen de estos elementos. Los factores climatológicos también son importantes, pues el funcionamiento y vida útil de la presa, dependen de factores como evaporación, erosión, oleajes y eventos no previsible.

Las consideraciones ecológicas son importantes en el momento de construir una presa, ya que se pueden derivar en daños al medio ambiente, y a las cadenas

biológicas que hacen vida en las adyacencias, que en algunos casos pueden los sustentadores naturales de la cuenca de aporte, y que una alteración de los ciclos biológicos podría acabar con el embalse.

## **1.2 Niveles Notables de un Embalse**

Como se había citado antes las características físicas de un embalse son particulares para cada uno de estos cuerpos de agua, pero en conjunto hay elementos relacionados directamente a sus dimensiones y operatividad, los cuales se puntualizan en los niveles característicos de los embalses. Estos niveles están generados por el volumen de agua y por sus variaciones. Estos niveles gobiernan el comportamiento de la presa, y el tipo de operación que desempeña, de tal manera que influyen en medidas y planteamientos secundarios, pero no menos importantes, como la seguridad de la presa.

Se puede señalar que para el grupo de los embalses de funciones típicas, tales como aquellos diseñados para abastecimiento de agua, riego o control de crecientes, se observan los siguientes niveles:

- Nivel de aguas muertas o nivel mínimo
- Nivel de aguas normales
- Nivel de aguas máximas

Para estos niveles notables se cita una definición.

### **1.2.1 Nivel de aguas muertas o nivel mínimo**

Es aquella cota de la superficie del agua que puede alcanzar el embalse, igualando la cota o nivel de la estructura de servicio de la presa, y bajo el cual anula cualquier actividad de funcionamiento. Por otro lado también especifica el nivel de los sedimentos al momento del término de la vida útil del embalse.

### **1.2.2 Nivel de aguas normales.**

Es el nivel de la superficie del agua para el cual se diseño el funcionamiento de la presa, y fija su nivel límite en el valor de cota de la estructura de alivio.

### **1.2.3 Nivel de aguas máximas.**

Es el nivel que puede alcanzar la presa y en el cual ocurre eventos de alivio, para el desalojo de los volúmenes no deseados producto de sucesos naturales ocasionales. Para este nivel se calcula la máxima creciente hidrológica y por lo tanto se diseña las estructuras complementarias como el aliviadero. Se destaca que



el límite que puede alcanzar las aguas del embalse y excederlo tiene en consecuencia el desborde, y todas las consecuencias negativas que se pueden producir aguas abajo.

Adicionalmente para una presa de generación de energía eléctrica, se presentan otros niveles adicionales, como se pueden citar los más importantes el nivel de operación mínima y el Nivel de operación máxima.

Se muestra un esquema de un embalse, en el cual se ubica sus niveles notables, la presa y su aliviadero. En la ilustración se grafica un embalse diseñado para la regulación de caudales, destinado al riego, abastecer acueductos o control de crecientes.

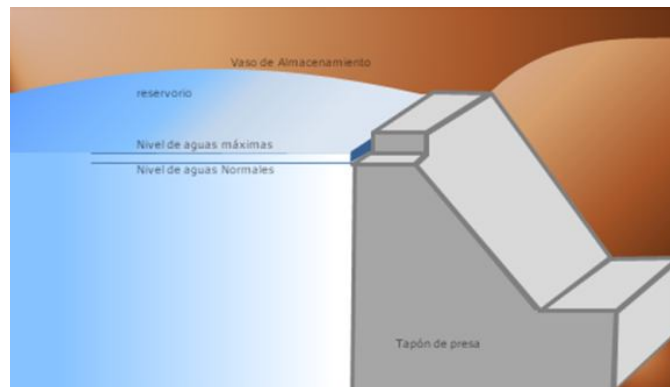


Figura II.3 niveles notables de una presa

Los niveles señalados en la figura anterior son, Nivel de aguas normales, Nivel de aguas máximas y el volumen limitado por ambos niveles, es el volumen de alivio.

Alternativamente se había citado, que para un embalse destinado a proporcionar aguas a una planta hidroeléctrica, se requiere el volumen necesario para disponer de altura para la generación de energía. En la figura II.4, se muestra el perfil de una presa hidroeléctrica.

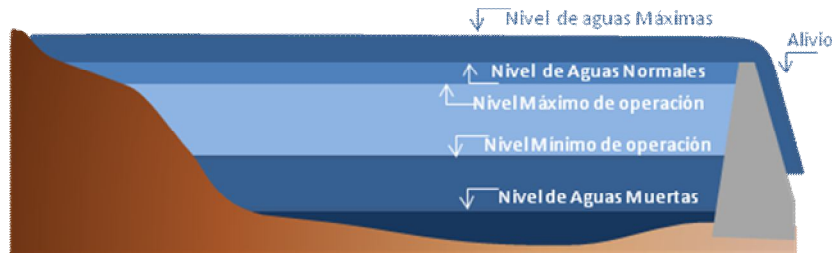


Figura II.4 niveles notables de una presa hidroeléctrica

### 1.3 Volúmenes notables de un embalse

Según los niveles notables de un embalse, estos generan volúmenes notables del mismo cuerpo de agua, bajo los mismos criterios de funcionalidad.

**1.3.1 Volumen muerto:** Es aquel generado por el nivel de aguas muertas, y bajo el cual el embalse tiene operatividad nula.

**1.3.2 Volumen Útil:** es aquel generado por el nivel de aguas normales y es aquel necesario para regular los aportes del río.

**1.3.3 Volumen de control de crecientes:** Es aquel destinado al almacenamiento temporal de volúmenes de aguas producto de crecidas de la cuenca de aporte.

### 1.4 Caudales Notables

También el embalse genera caudales a los cuales se les denomina caudales notables.

**1.4.1 Caudal Regulado:** es aquel que puede producir el embalse por los aportes de la cuenca, y del cual se diseña la capacidad operativa de la presa.

**1.4.2 Caudal Firme o Garantizado:** Es aquel generado por el embalse según la hidrología en condiciones mínimas de aporte.

**1.4.3 Caudal ecológico.** Es aquel aportado por el embalse para el mantenimiento de la cadena ecológica aguas abajo.

### 1.5 Efectos

Estos caudales generan efectos, bien sean de acción negativa o positiva aguas abajo del embalse, entre los cuales se pueden citar.

- La capacidad de aumentar la fuerza erosiva del río.

- La disminución de los caudales medios aportados al río aguas abajo, por lo que las actividades inotrópicas se manifiesten alteradas.

- Consecuencias negativas en la flora y fauna por la variación de los caudales regulares del río, por lo que su habitat se alteraría constantemente sin manifestar adaptabilidad biológica.

- Alteración de la cadena ecológica a la fauna acuática, al verse alterado su ciclo biológico por encontrarse con la barrera física que crea el embalse.

- Efectos en la fauna acuática al variar las temperaturas del agua.

- Alteración del ciclo biológico de la actividad anaeróbica.

Alteración de la geomorfología del lecho y riveras del río, por la alterabilidad de la capacidad de arrastre de sedimento.

## **1.6 Tipos de Presas**

Se pueden distinguir tres tipos de clasificación de presas, las cuales clasifican las presas de acuerdo al tipo de material usado en su construcción, su finalidad o uso y el dimensionamiento. Aunque hoy en día se pueden ubicar presas que combinan materiales, configuraciones y dimensionamientos, pero en general se citan las tipologías generales más usadas.

Un primer grupo orientado al tipo de material usado o predominantemente usado:

**1.6.1 Presas de Concreto:** Son aquellas construidas con la mezcla de concreto, bien sea con la forma tradicional de vaciado y compactado de concreto y aquellas compactadas con rodillo.

Es de destacar que las presas de concreto tradicionales están divididas en grupos, según el tipo de construcción, de acuerdo a su diseño y formalidad estructural.

- Gravedad: son aquellas construidas con mampostería estructural, donde la carga actuante son soportadas por el peso o el cuerpo de la estructura, de esta manera consiguen la estabilidad. (Figura II.5)
- Presas de Arco. Son aquellas que su configuración en planta se realiza en forma de arco, con el fin de transmitir el peso o la acción de las cargas actuantes a los estribos en el que se asientan sus bases. (Figura II.5)

- **Presas de Contrafuerte:** Consisten en una cascara de concreto, que resisten el peso de las cargas actuantes a través de su estructura, que regidas por dos secuencias de arcos, en direcciones diferentes se comportan bajos los mismos principios de transmisión de carga. (Figura II.5).



Presajion Yin  
Presade concreto gravedad



Presawildhors  
Presade Contrafuerte

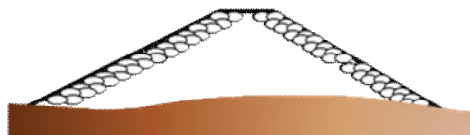


Presahoover  
Presade Arco

Figura II.5 presas de concreto de gravedad y contrafuerte

**1.6.2 Presas de Enrocado:** Están construidas con rocas en la mayor parte del tapón, con refuerzos impermeabilizantes bien sea por una porción de los materiales o una estructura en particular. (Figura II.6).

**1.6.3 Presas de Tierra:** Son aquellas construidas con materiales sueltos cuya granulometría es menor a 2 mm, y que soportan las fuerzas aplicadas sobre el cuerpo de la presa mediante el peso de misma. (Figura II.6).



Presade enrocado



Presade Tierra

Figura II.6 presas de enrocado y tierra

La clasificación de las presas de acuerdo a su uso, son varias de tal manera que pueden construirse presas con fines muy específicos que escapan a la bibliografía consultada, pero en general, se construyen para abastecimiento, producción hidroeléctrica, control de inundaciones, riego entre otros.

La clasificación de acuerdo a su tamaño se cataloga como bajas, medianas y altas. La especificación del término bajas son aquellas cuya altura no supera 30

metros, las medianas comprenden una altura entre 30 y 100 metros y las altas, donde su altura supera los 100 metros.

## **2 ALIVIADEROS**

En un embalse, se señala la necesidad de amortiguar el volumen de una creciente o de un evento similar. Es por eso que la existencia de estructuras de alivio que tienen como finalidad retirar esos volúmenes de agua adicionales y cuyo almacenamiento, no ha sido considerado en el diseño de la presa. La ubicación de la estructura del aliviadero puede estar integrada a la presa o fuera de ella emplazado en el embalse.

El aliviadero debe tener la capacidad de retirar esos volúmenes de agua adicionales, mediante el tránsito del progresivo del flujo, a través de los elementos estructurales que componen el aliviadero. El diseño de esta estructura, debe considerar el vertido atendiendo la seguridad de otros elementos del embalse y la disposición de las aguas deben estar diseñadas de tal manera para el impacto aguas abajo, sea el mínimo posible.

El aliviadero puede presentar varias magnitudes del flujo a descargar, pero en realidad el diseño del aliviadero se basa en el cálculo de la máxima creciente por la hidrología de la cuenca de aporte. La descarga de cualquier magnitud que pueda presentar el aliviadero acumula grandes cantidades de energía cinética, para lo cual también se proyectan estructuras para disipar esta energía, las cuales serán señaladas.

### **2.1 Criterio de diseño de un aliviadero.**

Un aliviadero es seleccionado de acuerdo a requerimientos de descarga, diseño de la presa, utilidad de la presa. La capacidad del aliviadero debe ser necesariamente igual pero generalmente mayor al caudal máximo de descarga. El caudal máximo de salida sería la creciente de diseño, término obtenido del aporte de la cuenca en eventos de alta ocurrencia de la precipitación.

Las crecientes en el aporte de la cuenca, son consideradas eventos aislados y ocasionales, y están relacionados con una probabilidad de ocurrencia, por lo que la determinación de estos se realiza por medio de un artificio matemático. Esta

determinación se basa en seleccionar la capacidad del aliviadero en relación al riesgo de colapso e importancia de la presa. La selección del riesgo posible esta relacionado con el periodo de retorno  $T_r$ , pues se evalúa la ocurrencia de la crecida máxima en un periodo de mil años. También tiene importancia en la determinación del embalse el impacto de una ruptura, el material que se uso para la construcción, y la función del embalse.

La ruptura de una presa, puede producir numerosos daños destacándose una posible pérdida de vidas humanas, no menos importante, daños aguas abajo a la infraestructura, tierras cultivables y otros. Es el daño directo por la ruptura y el efecto de su acción es inmediato. También el factor bajo el cual se determina la capacidad de un aliviadero, es aquel asociado al material de construcción de la presa, pues una presa de concreto permite un mínimo vertido a través de la cresta de la presa, sin que peligre su infraestructura. Esta acción no es permitida por una presa de tierra, bajo ningún motivo. Finalmente la función del embalse es un factor importante dado que su ruptura puede alterar la función que lo hacia indispensable, bien sea en el suministro de energía, agua, riego, o en el caso de control de inundaciones, la interrupción de esta función.

## **2.2 Factores de determinación de la capacidad de un Aliviadero**

El gasto máximo de un aliviadero, es el factor más importante de la determinación de la capacidad, pues el caudal y el régimen del flujo a transitar son el patrón del dimensionamiento y configuración geométrica del aliviadero. El gasto es obtenido por los eventos atípicos que se producen en el caudal del aporte de la cuenca, es por eso que se construye una hidrógrafa de crecida de proyecto. Con esta información se obtiene el periodo de retorno, termino  $T_r$  correspondiente con un periodo de tiempo de ocurrencia de una crecida y asociado a un caudal, con el cual se obtiene un gasto de acuerdo a los requerimientos o necesidades de los diseñadores.

## **2.3 Componentes de un aliviadero**

Cada aliviadero esta conformado por una aproximación, cuya función es la de encausar el flujo de las aguas del reservorio, para el desalojo. La disposición de este flujo se regula con un control hidráulico, que en muchas ocasiones es un

Cimacio, o como se ha venido haciendo, implica la utilización de un vertedero en laberinto. La cota de estructura de control es la que determina el nivel de aguas máxima. Aguas abajo a la estructura de control, el aliviadero debe poseer un conducto, que conduce el flujo hacia el antiguo cause del río, y que puede ser un túnel o canal con superficie libre, en régimen supercrítico aunque en muchos casos se incluye aguas debajo de este canal una estructura de disipación de energía cinética.

### 2.3.1 Canal de Aproximación

Lo constituye un área dentro del vaso de almacenamiento en la cual el agua pasa del estado de reposo, desde el reservorio y de una velocidad mínima, a la estructura de control. Este canal se inicia con un tramo excavado en tierra o proyectado en la de presa, canal que normalmente conduce a un segundo tramo en concreto. El tramo excavado en tierra, presenta un ancho mayor que el tramo de concreto, motivado por la transición usada entre ambos canales. Se ilustra esta definición en las figuras II.7 y II.8, una vista axonometría y una vista en planta.

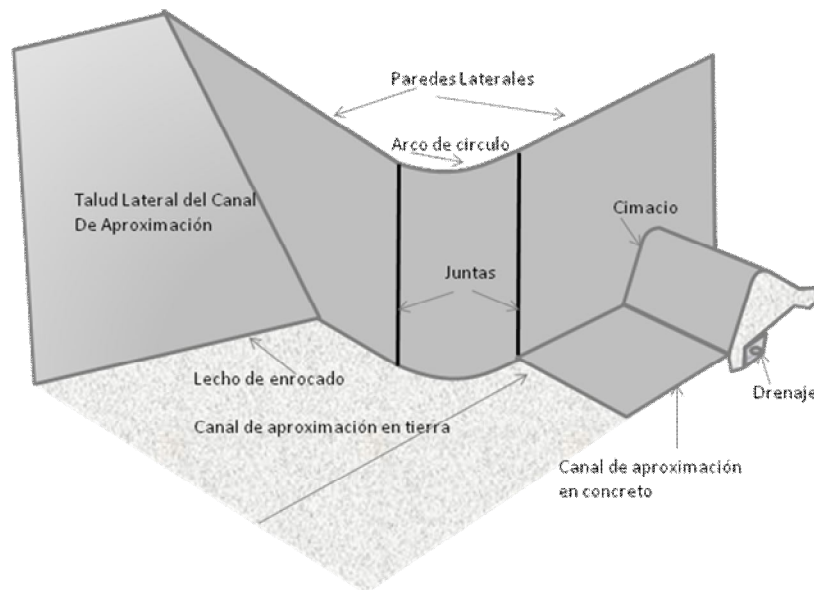


Figura II.7 Perspectiva de un canal de aproximación Fuente: apuntes Prof. J. J. Gaspar

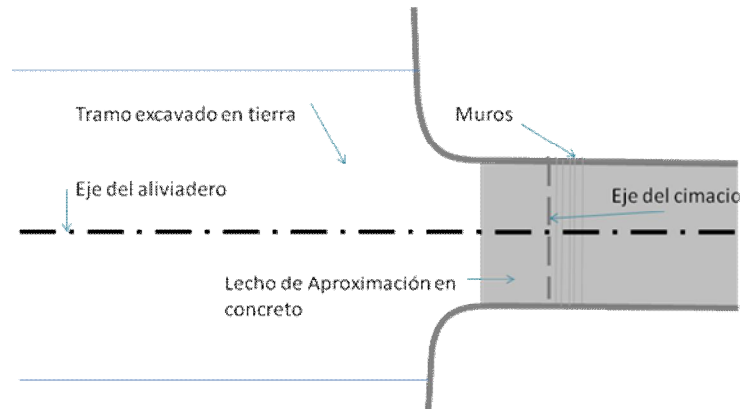


Figura II.8 Vista en planta de la perspectiva de canal de aproximación.

Fuente: apuntes Prof. J. J. Gaspar

El tramo excavado en tierra es un canal de sección constante o variante. En algunos casos en su cercanía con el tramo en concreto, sus taludes y fondo se recubre con enrocado. El tramo en concreto es rectangular formado por la prolongación hacia aguas arriba, de las paredes del canal que constituye el vertedero, estas paredes alcanzan una cota igual a la de la cresta de la presa, el fondo de este tramo se reviste con losa de concreto que se extiende desde el cimacio hacia aguas arriba hasta la transición entre ambos tramos.

La cota de fondo del canal de aproximación, corresponde a la del nivel de aguas normales restándole la altura de la estructura de control. Esta cota tiene efectos significativos en el coeficiente de descarga de la estructura de control, dado que a mayor altura de estructura, mayor será el coeficiente de descarga y viceversa, pero al aumentar su altura también aumentan los costos de excavación.

No existe en la bibliografía, parámetros de diseño del canal de aproximación, y es importante tener en cuenta que es difícil encontrar en la geomorfología de todas las presas construidas y a construir condiciones totalmente ajustadas a tablas de datos para la proyección de este. Por esta razón, se indica la particularidad de cada diseño de aliviadero. Sin embargo, existen una serie de normas de diseño, determinadas por las características que debe presentar el flujo de agua en la entrada de la estructura de control, que deben cumplir ambos tramos del canal de aproximación.



### 2.3.2 Estructuras de Control.

La estructura de control, es el elemento que determina el nivel de aguas normales del embalse. Sobre este nivel se proyecta el aliviadero realice la descarga del excedente, a través de la estructura de control. Se espera que durante la descarga, el nivel del embalse alcance el nivel de aguas máximas, sobre este nivel estaría en peligro la presa. Aun así el canal del aliviadero tiene previsto un borde libre, como factor de seguridad.

### 2.3.3 Cimacio

El cimacio es una de la estructura de control más usado, generalmente construida en concreto, que se obtiene, de inclinar un vertedero de pared en un vertedero de cresta viva, ajustándolo a la hidrodinámica del vertido del flujo.

El cimacio es básicamente una estructura masiva de concreto, lo cual lo hace estable; está separado del resto de los componentes del aliviadero por juntas de dilatación, e igualmente dividido en varios bloques, cuando la longitud, determinada por el ancho del aliviadero, así lo requiere. En su base, normalmente se coloca un drenaje, cuya finalidad es captar cualquier filtración que pueda dar origen a inestabilidad de la estructura. El perfil de aguas abajo del cimacio debe unirse con el canal rápido.

Sobre la cresta del cimacio, el flujo de agua alcanza la altura crítica haciéndose, el régimen hidráulico, antes del cimacio el flujo es subcrítico y a partir de este punto es supercrítico. La figura II.9 ilustra las partes y la forma de lo que es un cimacio y su funcionamiento.

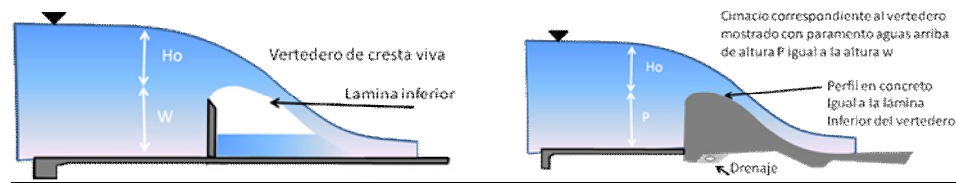


Figura II.9 Ilustración de un cimacio aguas arriba vertical Fuente: apuntes Prof. J. J. Gaspar

### **2.3.4 Canal rápido**

El canal rápido es un canal en régimen supercrítico que conduce el flujo desde el pie de la estructura de control, hasta la estructura final de disipación de energía. Sus dimensiones están determinadas tanto por la magnitud del caudal a descarga, el estudio económico del aliviadero, como a las características morfológicas del sitio de aliviadero.

Con respecto a estos canales se pueden destacar los siguientes aspectos:

1) Generalmente el canal rápido es un canal de ancho constante, igual al ancho de la estructura de control, aunque en algunos casos se puede hacer convergente; o se hace necesario hacerlo divergente; con la finalidad de modificar las condiciones hidráulicas en la entrada de la estructura final de disipación, para obtener las condiciones de disipación deseadas.

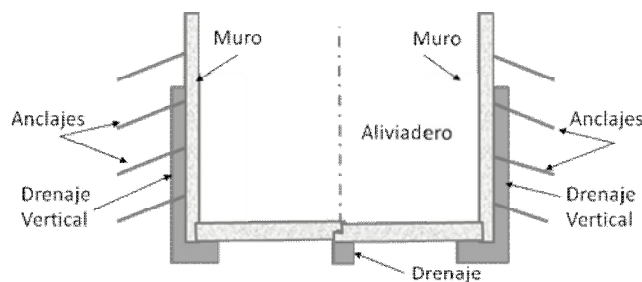
En el caso del canal rápido convergente, se obtiene un ahorro con las cantidades de concreto y excavación. Debido a que el régimen del canal rápido es supercrítico, y la introducción de un elemento orientador del flujo, como lo son las paredes del canal, en una dirección distinta a la de la corriente, introduce en éste un sistema de olas cruzadas estacionarias. En el caso de la utilización de un vertedero de laberinto la generación de oleaje cruzado se incrementa. El efecto de este oleaje aumenta con el número de Froude, muchas veces la convergencia se hace mayor en la salida del cimacio, inicio del canal rápido, en donde el número de Froude es menor.

2) Por ser siempre el régimen hidráulico supercrítico, el alineamiento de los canales rápidos casi siempre es recto, aunque en algunos casos por razones de espacio y disponibilidades de topografía su alineamiento se hace curvo ajustándose así a las condiciones del sitio. En estos casos de rápidos con cambio de alineamientos, se producen ondas que se cruzan y que viajan aguas abajo produciéndose sobre-elevación en la lámina de agua, que pueden pasar la altura de las paredes laterales del vertedero. Esto obliga a hacer estudios en modelos, para determinar sobre-elevaciones y radios de curvatura y poder así proyectar las alturas de los muros laterales y mejorar el alineamiento del rápido, mediante modificaciones de diseño por sus dimensiones o incorporación de dispositivos.

3) Otro fenómeno propio del régimen supercrítico, es el de aire atrapado en la superficie libre cuando se desarrolla a lo largo de la lámina vertiente toda la capa límite turbulenta, esto produce, también, un incremento en la altura del nivel de aguas y debe ser considerado en el diseño de la altura de los muros laterales.

4) En rápidos donde los caudales a aliviar son grandes y se presentan notables diferencias de cotas entre inicio y fin del rápido: puede presentarse la destrucción del concreto, por el efecto de la cavitación dada la gran velocidad que alcanza el agua. Como medidas para evitársete suceso se aplica un acabado al concreto lo más liso posible. También se ha dado el caso de ser necesario, incorporar aire al flujo en las zonas de baja presión, o presión negativa mediante dispositivos transversales a la dirección del rápido, estos dispositivos están abiertos a la atmósfera mediante un sistema de tuberías. Los dispositivos incorporados de aire comúnmente usados, son ranuras o canaletas, lanzadores y combinaciones de ambos. Su diseño requiere el uso de modelos e incluso se han hecho estudios en prototipo.

5) Los rápidos de los aliviaderos son casi siempre canales rectangulares, revestidos de concreto, con suficiente borde libre para evitar el derrame de agua y consecuente socavación del suelo adyacente, generalmente las paredes laterales son muros que funcionan como muros en voladizo empotrados a una zapata de fundación, la solera del canal se completa con losas. Los espesores de los muros laterales y zapatas dependen de las cargas a las que el muro está sometido. (Figura II.10a y II.10b)



Se muestra un diseño de canal rápido en el cual el muro se ancla a la roca. Tanto en el muro como debajo de la solera del canal se han colocado drenajes para disminuir la presión de poros que pudiese generarse por presión de poros

Figura II.10a Ilustración de una sección transversal de un canal rápido.

Fuente: apuntes Prof. J. J. Gaspar

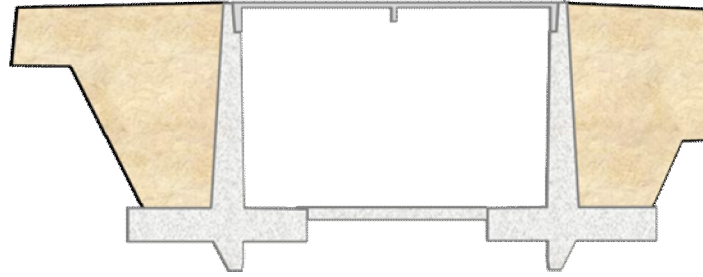


Figura II.10b Ilustración de una sección transversal de un canal rápido.

Fuente: apuntes Prof. J. J. Gaspar

La losa central puede variar en espesor influyendo en esto las condiciones del suelo, carga de agua, etc.. En los casos en que este canal se coloca sobre rocas de buenas características de fundación, se puede evitar los muros de voladizo, anclando la pared lateral a la roca, mediante estructuras particulares, según las necesidades específicas de cada aliviadero

### 2.3.5 Estructuras finales, o disipadoras de energía:

Las estructuras finales, cumplen en algunos casos la función de cambiar el régimen propio del canal rápido, supercrítico, a subcrítico, así como minorizar o disipar la energía cinética contenida en el fluido descargado. En estos casos las estructuras utilizadas son los denominados estanques o pozos disipadores, y estos trabajan mediante la formación de un resalto hidráulico dentro de su configuración. También existen los lanzadores o deflectores sumergidos, para los cuales existen una amplia serie de parámetros de diseño. También la estructura final es la responsable de la transición del flujo desde el aliviadero al curso de agua natural.

En otros casos la estructura final está constituida por un deflector o lanzador libre, el cual cambia la dirección de la corriente proyectándola lejos del aliviadero, en donde por su impacto se forma un estanque que constituirá un colchón de aguas en el cual el excedente de energía cinética es disipado.

Los estanques disipadores consisten, como su nombre lo indica en un estanque contiguo al canal rápido, dentro del cual se forma el resalto hidráulico, el régimen pasa a subcrítico, y con las velocidades suficientemente bajas, que pueden ser toleradas por el antiguo cauce del río o canal de descarga que conduce a éste.

El diseño de estas estructuras, requiere de un gran volumen de material, en la gran mayoría de los casos concreto, para poder soportar las fuerzas de las presiones y vibraciones propias del resalto hidráulico, así la presión de poros desarrollada en la fundación. La presión de poros desarrollada en la fundación puede ser negativa, ocasionando la absorción de material, o positiva produciendo una fuerza aplicada, se ha dado el caso, de una combinación ambas. Su buen funcionamiento depende de la altura de restitución que se tenga aguas abajo, la cual debe ser igual a la altura conjugada del resalto para evitar que éste salga del estanque y socave el pie de la estructura. Estas estructuras se utilizan cuando no existen aguas abajo condiciones geológicas que permitan el uso de un lanzador, generalmente, cuando el cauce del antiguo río es erosionable, y se presenta la posibilidad de que la socavación creada por el chorro avance sin control hacia aguas arriba poniendo en peligro la estabilidad del mismo aliviadero y por consecuente el embalse. También se utilizan en aquellos casos en que la energía disponible no es suficiente para hacer funcionar el lanzador como tal.

En muchos aliviaderos para embalses en Europa es común ver la utilización de los lanzadores. Los estanques disipadores incluyen obras de obras de transición entre el estanque y el curso de agua. (Figuras II.11 y II.12)

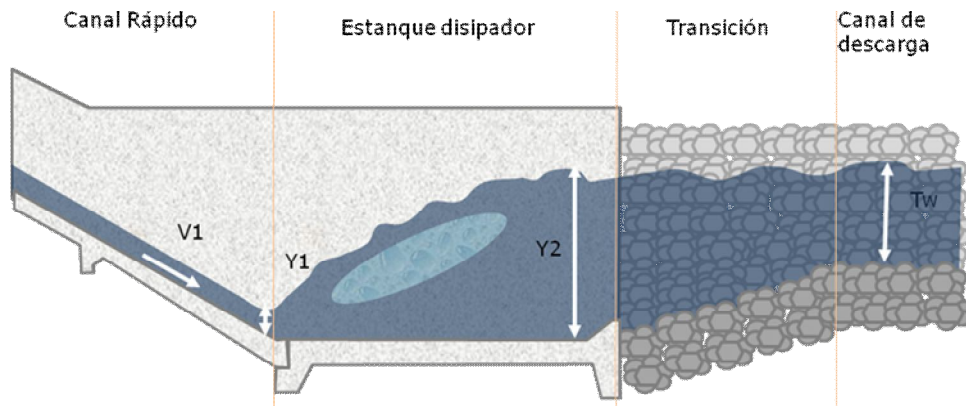


Figura II.11 Ilustración de un estanque disipador.

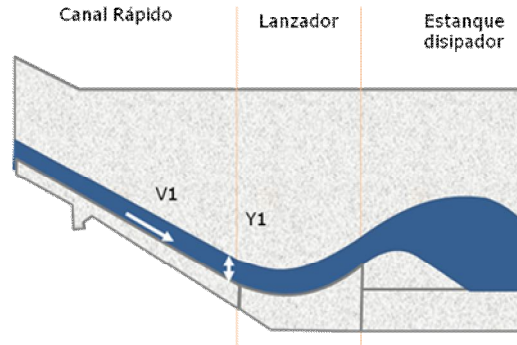


Figura II.12 Ilustración de un lanzador

## 2.4 Clasificación de los aliviaderos

Los aliviaderos pueden ser clasificados de acuerdo a varios criterios:

Tipo de flujo: es una clasificación que va indicado por el funcionamiento del aliviadero, por que bien este puede funcionar bajo superficie libre o a presión, o bien una combinación de ambos. Esta clasificación va referida a las estructuras de conducción o disposición de las aguas.

- Ubicación del aliviadero. Es una clasificación, indicada por el punto de emplazamiento de estructura de captación con respecto al cuerpo de la presa.
- Regulación de gastos: Señala dos tipos de aliviaderos, unos aquellos con compuertas que regulan el gasto a descargar y otra que permiten el flujo libre a través del aliviadero.

## 2.5 Aliviadero tipo usado para el modelo:

Muchos sitio de presa y vaso de almacenamiento presentan características particulares y por lo tanto hay diseños particulares para la proyección de cada presa y sus componentes. Entonces surge como solución para la descarga de los excedentes de crecientes, una gran variedad de estructuras imposibles de agrupar en su totalidad dentro de tipos, pues estas son diseñadas con respecto a la necesidades de volumen de descarga, configuración del lugar, tipo de presa y factor de seguridad.

El Aliviadero frontal recto es una de las estructuras de alivio más comúnmente usadas en las obras de embalse al igual que en los anteriores

modelos de laberinto. Es de destacar que para este grupo de estructuras bajo análisis, se excluyen aquellos aliviaderos provistos de compuerta para regular el caudal descargado, tratándose de estructuras donde el caudal a aliviar no puede ser controlado, depende sólo de la geometría del cimacio y la carga hidráulica disponible.

Se hace una descripción del aliviadero frontal recto bastante amplia dado que sus partes constitutivas en una u otra forma se presentan en los otros tipos de aliviaderos, a través de estructuras equivalentes o similares que desempeñan la misma función. Es una estructura con una configuración sencilla y es el proyectado para el modelo, he allí donde se realiza una descripción detallada de sus componentes y partes.

### **2.5.1 Aliviadero frontal recto**

Este aliviadero consiste en un canal rectangular de concreto que conduce las aguas a través de una aproximación, desde el vaso de almacenamiento hasta aguas abajo de la presa. Estas estructuras se pueden ubicar en la presa, o bien fuera de ella en ubicaciones adyacentes.

En caso de proyectar el aliviadero fuera de la presa, esta requiere que el vaso de almacenamiento presente una geomorfología que en un punto se encuentre con una altura cercana al nivel de las aguas normales en el embalse, para minimizar las obras de movimiento de tierra y así poder proyectar la estructura de alivio. De este modo se libera la construcción del aliviadero sobre el cuerpo de la presa, pero aun así, de no presentarse estos requerimientos topográficos, se proyectaría sobre este.

El aliviadero frontal recto, es una estructura sencilla muy usada, por la disposición de sus elementos así como lo sencillo de sus estructuras complementarias. En presas de enrocado y materiales sueltos es muy usado, pues, representa la solución más económica, y con mayor factibilidad constructiva.

Básicamente se compone de los siguientes elementos, enunciándolos en la dirección de las aguas:

- Una canal o aproximación. Es la estructura que dispone las aguas desde el reservorio hacia la estructura de alivio.

- Sección de control, formada por una estructura de vertido. Es la que controla el nivel de aguas normales del embalse y usualmente se implementa un cimacio o como en algunos casos se ha mencionado un vertedero de Laberinto.
- Un canal rápido. Estructura que recoge las aguas del vertido y las conduce aguas abajas, trabaja en régimen supe crítico.
- Estructura final o disipadora de energí. Mecanismo de transición del canal rápido al cuerpo de agua, al que se dispone las aguas, en el cual se disipa los excesos de energía cinética. En algunos casos es un estanque o lanzadores.
- Canal de descarga. Estructura final de transición para la incorporación de aguas al cuerpo de agua natural.

Las partes mencionadas se muestran en un caso típico de este tipo de aliviadero con sus partes anteriormente señaladas, el grafico II.13. En este se señala la ubicación de cada uno de sus elementos, en el caso de utilizar como estructura de control un cimacio. En la figura II.14 se dispone de la misma figura, pero se utiliza en lugar de un cimacio, un aliviadero de laberinto.

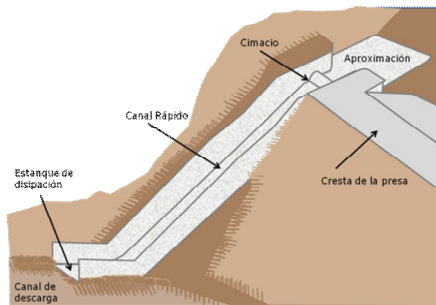


Figura II.13 Ilustración de un aliviadero

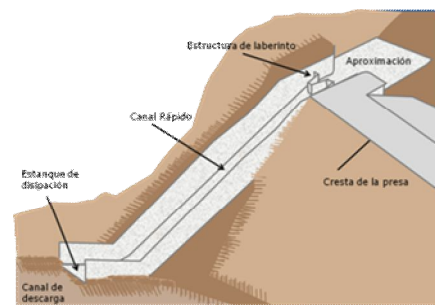


Figura II.14 Ilustración de un típico aliviadero típico

con Vertedero de laberinto

Fuente: apuntes Prof. J. J. Gaspar



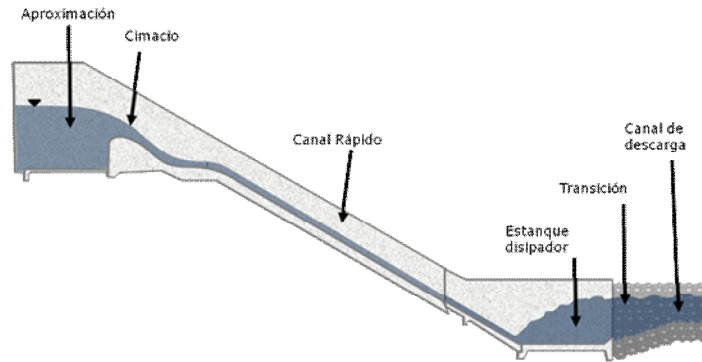


Figura II.15 Ilustración del perfil de un aliviadero típico con Vertedero de cimacio

Fuente: apuntes Prof. J. J. Gaspar

Se menciona una descripción de cada una de las partes de esta estructura en forma bastante detallada para este caso, ya que los componentes de este aliviadero, constituyen en la mayor parte de los casos, los mismos de los otros tipos de aliviaderos, con diferentes arreglos o modificaciones.

### 2.5.2 Aliviadero frontal curvo

El aliviadero frontal curvo, como su nombre lo indica, presenta iguales características y partes que el aliviadero frontal recto, con la diferencia que el eje de la estructura de control, en este caso, se ha hecho curvo hacia aguas arriba de manera que con la misma disponibilidad de espacio se tiene una mayor longitud de vertedero, obteniéndose un mayor caudal de descarga, ya que éste es proporcional al ancho del cimacio.

Para un mismo embalse y misma creciente de diseño, la altura máxima que alcanzará el agua sobre el nivel de aguas normales se hará menor, no obstante teniendo mayor caudal descargado en todo momento con su consecuente aumento de dimensiones en las demás estructuras.

La forma de este cimacio, en planta, parece tener su origen en copiar una de los equipotenciales de un flujo convergente en el cual las paredes del aliviadero en el canal de aproximación y cimacio corresponden a la dirección de las líneas de corriente. El cimacio formado por arcos de círculo puede estar constituido por un solo arco.

El buen funcionamiento de este tipo de aliviadero requiere la formación de un resalto hidráulico al final del cimacio dentro del espacio que éste encierra,

eliminando de esta forma el oleaje cruzado, propio de un régimen supercrítico convergente, y el paso de oleaje al canal rápido, el cual es antecedido por un pequeño umbral que constituirá un segundo control.

Esta estructura resulta ventajosa cuando no se desea tener un aumento notable del nivel de aguas sobre el nivel normal, sin hacer una inversión grande en el canal rápido, tanto en estructura de concreto como excavación, pero si es importante el control de crecientes, su uso no tiene sentido, demás está hacer notar la desventaja constructiva que introduce la necesidad de encofrados costosos para el cimacio y la problemática tanto hidráulica como estructural que acarrea la presencia de un resalto hidráulico aguas abajo del cimacio.

### **2.5.3 Selección del tipo de aliviadero:**

La elección del tipo de aliviadero para un determinado embalse, consiste básicamente en seleccionar la estructura más factible técnicamente y segura que se adapte a las características de topografía y geología del vaso de almacenamiento, y a las condiciones de funcionamiento de aliviadero que imponga al uso del embalse. Hay casos excepcionales donde el aliviadero no es necesario, en caso de embalse llenados por mecanismos de bombeo, y donde el control del nivel de aguas normales se realiza desde el mismo sistema de llenado artificial. En otros casos el aliviadero dispone las aguas en otro embalse, representando un costo muy alto, pero no considerando la disposición de las aguas en el cuerpo de agua natural. En presas de concreto el aliviadero puede formar parte del tapón de presa, o proyectarse como el aliviadero estándar descrito, pero se han reportado muy pocos casos,

En la mayor parte de los casos la estructura que resulta más económica es un aliviadero frontal recto con el rápido rectilíneo, sin compuertas. Su construcción es relativamente fácil, su eficiencia hidráulica, es alta, presenta las ventajas ya descritas.

Sin embargo, requiere que el sitio presente una buena depresión cercana al nivel de aguas normales, y en corta distancia es necesario alcanzar el cauce del río.

Si la topografía no lo permite, la siguiente solución a analizar pudiera ser la

de un aliviadero lateral, teniendo en cuenta, que ya es tan eficiente como el frontal y que en aquellos casos en donde la información hidrológica no es buena, pudiera resultar peligroso, e implica altos costos constructivos, aun planteando el requerimiento de un alto costo económico.

Sólo en casos extremos en que la topografía no facilita otras soluciones se puede recurrir a los aliviaderos en pozo o en túnel, éstos normalmente son mucho más costosos y presentan las desventajas citadas en el caso anterior. La disponibilidad de un túnel que se haya usado para el desvío del río, y no sea necesario para la obra de toma se puede aprovechar para abaratar el costo de un aliviadero de este tipo, usándolo para el tramo horizontal del conducto.

Cuando el problema no es el control de inundaciones, de presentarse en la topografía una garganta estrecha con depresión cercana al nivel de aguas normales, los aliviaderos en abanico o curvos pueden resultar una buena solución.

### **3 VERTEDEROS DE LABERINTOS**

#### **3.1 Definición**

Es un vertedero de aliviadero para presas de embalse, que tiene una disposición en forma de pared que describe una formación de Zigzag a lo largo de su longitud de descarga. (Figura II.16).

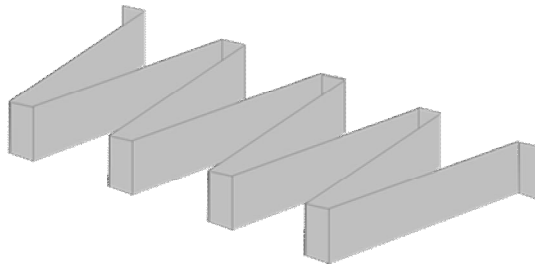


Figura II.16 Ilustración de la estructura de un vertedero de laberinto

Esta estructura al presentar esta configuración posee una mayor longitud de descarga, por consecuencia el caudal descargado es mayor, en comparación a un vertedero de cresta viva con el mismo ancho de canal.

La utilización de un vertedero de laberinto permite en algunos embalses existentes el incremento del nivel de aguas normales en un embalse, manteniendo

el mismo nivel de aguas máximas. Por consecuencia de aumentar el nivel de las aguas normales, se aumenta el volumen útil del embalse. Esto ocurre por que al descargar mayores caudales con un nivel de carga hidráulica menor, se puede disminuir el borde libre.

En un vertedero de Laberinto la longitud efectiva, es la longitud de vertedero por la cual descarga sin interferencia. Con una mayor longitud efectiva de vertedero, es mayor el caudal descargado para la misma carga hidráulica actuante, con lo cual el nivel de aguas normales se mantendrá a menor cota en todo momento, para la entrada al embalse de una creciente.

### 3.2 Ciclo de vertedero de Laberinto

Un vertedero de laberinto esta conformado por varios ciclos. Un ciclo es una secuencia de paredes y ápices que forman una secuencia similar a una onda. El tipo de ciclo determina el tipo de vertedero de laberinto. Las formas mas comunes se pueden observar en la figura II.17.

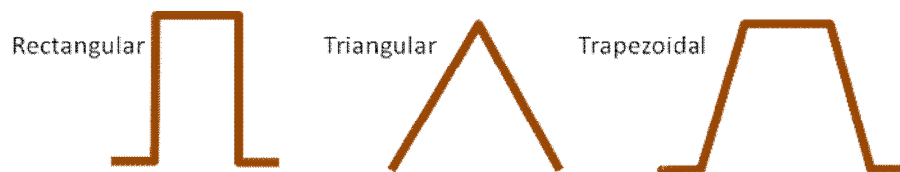


Figura II.17 Tipos de ciclo de vertedero de laberinto

### 3.3 Tipos de aliviaderos de laberinto

Los tipo de vertedero mas comunes son el Rectangular, Triangular y Trapezoidal. El vertedero rectangular esta formado por paredes rectangulares dispuestas de manera perpendicular entre ellas. El tipo triangular dispone las paredes de manera angular asemejando un triangulo. El tipo trapezoidal dispone las paredes en una formación asemejando un trapecio. Se puede observar en la figura II.18, los vertederos de tipo Rectangular, Triangular y Trapezoidal

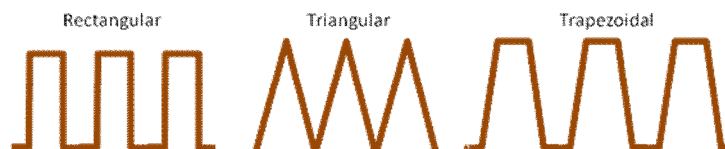


Figura II.18 Vista en planta de los tipos de vertedero de laberinto

### 3.4 Elementos de un Vertedero de laberintos

Los aliviaderos de laberintos están compuestos por tres grupos de elementos. Citándolos de aguas arriba a aguas abajo, en un primer grupo se citan los dispositivos de aproximación, en el segundo el canal de vertedero. El tercer grupo esta conformado por todos los elementos del vertedero (ciclos). En la figura II.19 se pueden observar estos elementos.

Un ciclo de vertedero (Figura II.17) esta formado por paredes de distintas longitudes y ubicaciones y que en la configuración de vertedero Trapezoidal las paredes se dividen en paredes laterales y ápices aguas arriba y ápices aguas abajo. Las diferentes partes que conforman los ciclos y la cantidad de estos influyen en el comportamiento de descarga del aliviadero. Se cita las partes del vertedero Trapezoidal por que es el mas complicado y es el usado en el modelo.

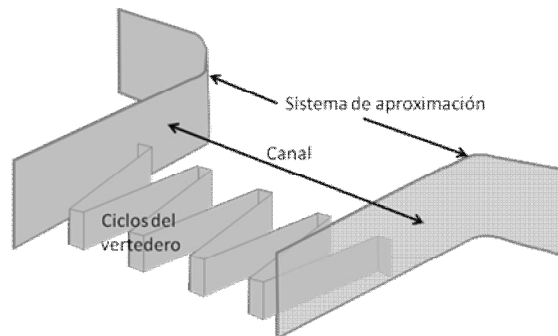


Figura II.19 Ilustración de la estructura de un aliviadero de laberinto y sus partes.

En un ciclo de vertedero de Laberinto (Trapezoidal), los ápices ubicados aguas arriba y aguas abajo se denominan por “ $2a$ ”, las paredes laterales se dominan “ $B$ ”, el ancho de ciclo se denomina “ $Wc$ ” y la altura sobre del vertedero se denomina “ $P$ ”. Estas magnitudes se pueden ver en la figura II.20 y en la figura II.21 para el tipo Rectangular, Triangular y Trapezoidal. Existe un ángulo “ $\alpha$ ”, medido desde el eje del vertedero a la pared. (Figura II.20).

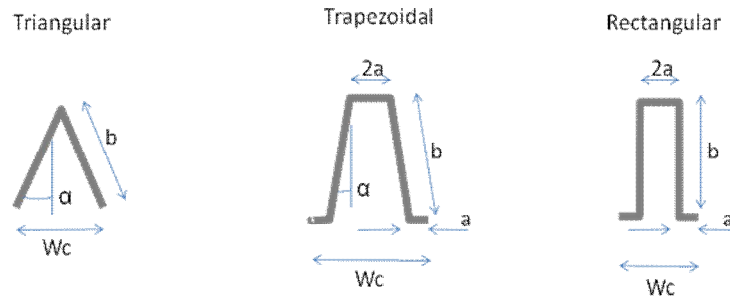


Figura II.20 Ilustración de la estructura de un aliviadero de laberinto y sus partes.

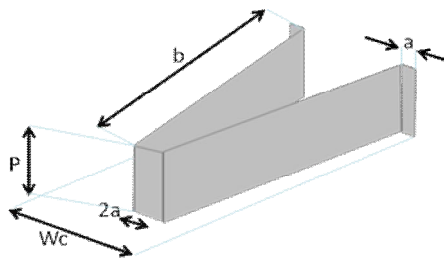


Figura II.21 Ilustración de la estructura de un aliviadero de laberinto y sus partes.

### 3.5 Dirección del eje del vertedero de laberinto

La dirección del eje de un vertedero de laberinto es aquella orientación que indica la ordenación de los ciclos de un vertedero de laberinto, según su vista en planta. La implementación de vertederos de laberinto utiliza geometrías de ejes diferentes, por lo que la dirección del eje del vertedero es particular para cada estructura.

La variación de la dirección del eje se realiza para incrementar la longitud del vertedero o incorporar mas ciclos al vertedero, y por consecuencia el caudal de alivio utilizando el mismo ancho disponible. Las direcciones utilizadas pueden ir desde un trazado recto a una curva o combinaciones de ambas.

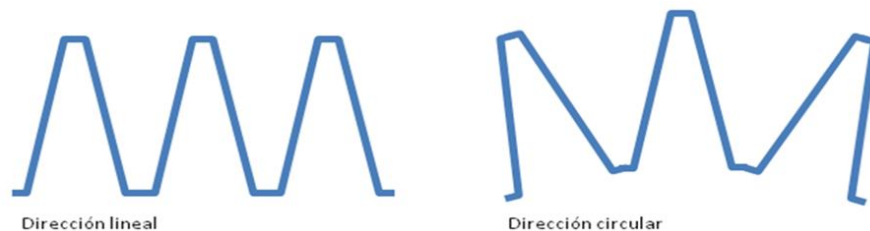


Figura II.22 Vista en planta de dos direcciones de un aliviadero de laberinto Trapezoidal.

### 3.6 Pendiente de la canaleta de salida

La canaleta de salida tiene una pendiente, esta es medida por la diferencia que existe entre el lecho de la aproximación y la altura de su punto de inicio. Se designa por el termino “Ya”. (Figura II.23).



Figura II.23 Vista de perfil de un vertedero indicando el valor correspondiente a la altura de inicio de canaleta de descarga “Ya”.

### 3.7 Ventajas Constructivas de los Vertedero en Laberinto

La implementación de estos dispositivos proporciona una gran serie de ventajas que van más allá de lo funcional, las facilidades constructivas y los bajos requerimientos de material utilizados. Cabe mencionar que la utilización de encofrados sencillos y factibles de realizar sin la necesidad de complicadas formas o acabados es parte de estos mecanismos.

## **Capítulo III**

### **Funcionamiento Hidráulico de los aliviaderos de Laberinto**



El uso de los vertederos de Laberinto se ha implementado en el diseño de embalses, en gran medida por las ventajas que aporta a la descarga de los excedentes, permitiendo para una carga hidráulica un mayor caudal descargado. Dado el aumento del caudal a descargar por el vertedero se puede rehabilitar una presa por pérdida del volumen útil por sedimentación, Incrementando así la cota de la cresta del vertedero y de esta manera se incrementaría, también, el nivel de aguas normales. Asimismo, se solucionaría el problema que puede tener un aliviadero en cuanto a la descarga por causa de subestimación de crecientes. Este es el criterio que hace que surja la necesidad de incrementar la longitud efectiva de descarga de un vertedero, para aumentar el caudal a descargar. Al implementar un vertedero de laberinto en el aliviadero se desarrolla una mayor longitud efectiva de descarga, en el mismo ancho de canal de vertedero que uno convencional, como por ejemplo un cimacio.

La eficiencia de un aliviadero depende de su geometría, la cual se expresa en el coeficiente de descarga de la ecuación que relaciona la carga hidráulica con el caudal descargado.

Las partes que conforman un vertedero de laberinto pueden variar geoméricamente en su diseño, y se desarrollan de acuerdo a los requerimientos de operatividad o topografía que han llevado a mejorar muchas de las características y tipos que presentan actualmente. Usualmente este tipo de vertedero, tiene como partes fundamentales el sistema de aproximación, la estructura de laberinto, y el conjunto de canaletas de salida y canal rápido. Se puede observar estas partes en la (figura III.1)

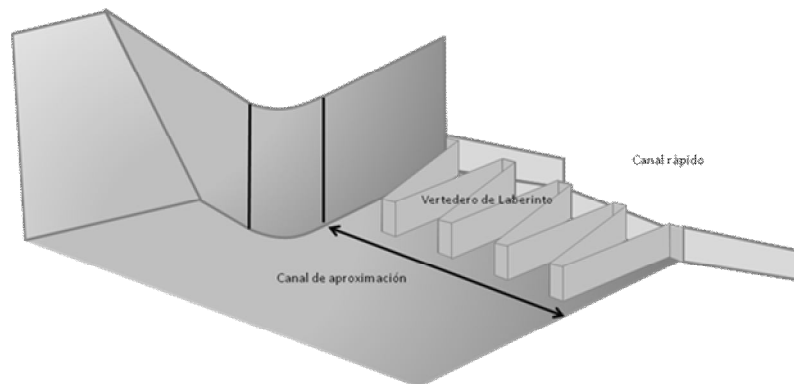


Figura III.1 Perspectiva de un canal de aproximación, vertedero de Laberinto y canal rápido.

El vertedero de laberintos ha experimentado variaciones mediante investigaciones y observaciones realizadas a modelos y prototipos. Comenzaron siendo paredes dispuestas en forma de medio-óvalo y rectángulo según su vista de planta; hasta los actuales diseños de ciclos de paredes angulares. Muchos investigadores han hecho aportes al conocimiento que de este mecanismo se tiene, a partir de trabajos de que han permitido el desarrollo del diseño de los prototipos que han sido implementados.

La necesidad de mejorar la descarga manteniendo el mismo valor de carga hidráulica, ha sido la causa de la constante modificación de los componentes de los vertederos de laberinto. Este hecho de realizar mejoras a las partes de este tipo de vertedero tiene como consecuencias cambios en el coeficiente de descarga. Y es precisamente la obtención del coeficiente de descarga el objetivo de esta investigación con respecto a la variación de dos características geométricas de componentes del aliviadero de laberinto. Estas características dimensionales están bajo estudio mediante un modelo hidráulico para observar cómo influyen en el coeficiente de descarga. Una de estas partes se denomina aproximación, y está referida al conjunto de estructuras que conducen el flujo desde el reservorio hasta el canal de alivio. En prototipos puede presentar varias configuraciones determinadas por los requerimientos o disponibilidades topográficas del sitio, o el área de inicio del canal de alivio.

## **1 Evolución de vertedero de laberinto**

Los aliviaderos de Laberinto por requerimientos topográficos y operativos han registrado variaciones, que buscan siempre aumentar el coeficiente de descarga. Los primeros vertederos de laberinto que se implementaron en embalses tenían forma de U según, o forma rectangular según su vista de planta. A la primera modalidad citada, se le llamó en inglés *Duckbill*, o pico de pato, debido a la similitud de su ciclo con el pico del ave. Este vertedero bajo esta configuración, incremento el coeficiente de descarga de un aliviadero en comparación a un vertedero de cresta recta en un mismo ancho de canal. Estas alteraciones dieron lugar a varios ensayos de vertederos

de laberinto con múltiples variaciones, buscando aumentar la longitud efectiva de descarga, con diversas configuraciones de ciclos.

Luego de esta innovación se presentó un tipo de vertedero con presencia de varios ciclos, de paredes rectangulares entre sí, que aumentó el volumen de descarga, por lo que se puede considerar como el paso fundamental para la implementación de los vertederos utilizados actualmente. Por causa de las formas perpendiculares de sus paredes, se producían perfiles cuadrados y rectangulares en los ápices aguas arriba de cada ciclo. En estos el contacto con el flujo producía turbulencia, por su poca adaptación a la dirección dinámica del agua. A este tipo de vertedero se le dio diversas designaciones que iban acorde a los autores que trabajaron en las distintas investigaciones. Por ejemplo: *Folded*, *Accordion* o *Corrugated*. (Figura III.2).

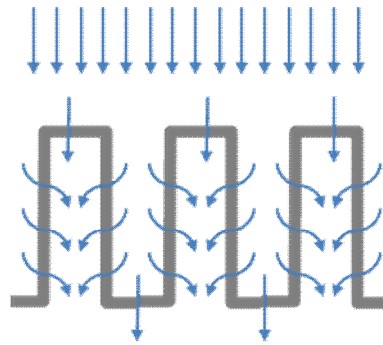


Figura III.2 Vista en planta de un vertedero de laberinto tipo rectangular.

Posteriormente se planteó una mejora al vertedero tipo *Corrugated*, mediante el trazado de arcos de media circunferencia en los ápices, mejorando levemente el desempeño de la descarga, pero creando comportamientos irregulares en las partes más adyacentes al reservorio. También se realizaron modelos y diseños utilizando uno o dos ciclos, extendiendo a longitudes muy extensas las dimensiones de las paredes laterales que lo adentraban dentro del reservorio, lo que trajo como consecuencia la presencia de amplios canales. Estos requirieron de dimensiones mayores a las que se podrían implementar en diseños de aliviaderos, por lo que se descartaron por criterios económicos y constructivos.

La modificación de la disposición física de los ciclos produjo como consecuencia el vertedero tipo triangular, que hace referencia, como su nombre lo indica, a la disposición triangular de sus paredes según su vista en planta. La relación entre sus paredes no viene por perpendicularidad y paralelismo, sino por una relación angular, derivándose de su similitud con un triángulo su designación. Con esto aumentaría levemente el valor de sus volúmenes de descarga. Pero, al haber interferencia en la descarga en los ápices, se producirían desempeños irregulares, así como se reseña en una publicación de tipo histórica realizada por P. Tullis (2001). (Figura III.3).

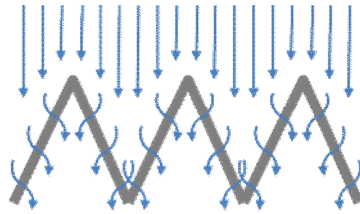


Figura III.3 Vista en planta de un vertedero de laberinto tipo Triangular.

Finalmente con la incorporación de elementos propios del tipo *Corrugated*, como los ápices, en la estructura denominada triangular, se produce un vertedero de laberinto cuyas paredes están dispuestas con un ángulo, pero en los extremos de estas se dispone un ápice formado por una pared de longitud corta. Este ápice que se genera tanto aguas arriba como aguas abajo, es perpendicular al flujo.

Esta configuración se denomina Trapezoidal (Figura III.4), es de un comportamiento de vertido similar a los otros tipos, y muestra una notable mejora en el coeficiente de descarga con respecto a sus predecesoras. De hecho, es la utilizada en el modelo desarrollado en esta investigación; y actualmente es implementada en los vertederos y aliviaderos desarrollados para embalses, en diseños y rehabilitaciones. Al poseer las características antes descritas, posee facilidades constructivas, así como la facultad de permitir un fácil mantenimiento por sedimentación.

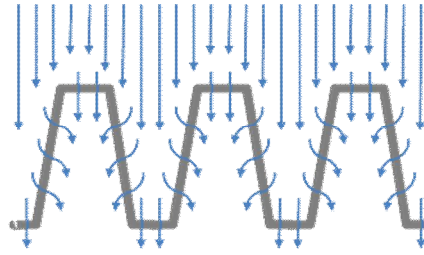


Figura III.4 Vista en planta de un vertedero de laberinto tipo Trapezoidal.

Se han diseñado numerosos aliviaderos usando este tipo de estructura para el vertedero, en los cuales se ha variado la cantidad de ciclos y la dirección de estos. La variación de la dirección de los ciclos es realizada con el propósito de poder ampliar la longitud efectiva o la de añadir más ciclos. Se puede proyectar la orientación de los ciclos de una manera lineal, ubicándose uno al lado del otro considerándose entre ellos un eje perpendicular al flujo. En otros casos este eje puede dibujar un arco circunferencia, o combinaciones de ambas. También estas variaciones que obedecen directamente a necesidades topográficas o en el caso de rehabilitaciones la menor intervención posible de la estructura del aliviadero previo.

Se menciona un prototipo particular denominado por su término en inglés como *Fusegate*, (figura III.5).



Figura III.5 Terminus Dam, Lake Kaweah U.S.

Fue desarrollado en Francia como alternativa a los requerimientos de rehabilitaciones de aliviaderos. Geométricamente tiene la configuración en planta como un aliviadero de laberinto del tipo trapezoidal o rectangular, pero las paredes o los muros del vertedero son elementos estructurales similares a un muro pero inclinados.

Tiene óptimo funcionamiento, que se puede observar en su coeficiente de descarga, pero los inconvenientes constructivos por lo complicado de muchas partes de su encofrado lo hace realmente poco rentable económicamente. También se han dado casos en los que la estructura ha fallado a altos niveles de carga hidráulica. Se ha sugerido, incluso, su construcción en acero, material poco rentable por el mismo concepto, razón por la cual no se ha generalizado su aplicación a pesar de las innovaciones con respecto a su descarga y aeración. Hecho que se puede observar claramente en las continuas investigaciones realizadas a los vertederos en laberintos, muchos de ellos, de reciente data.

## **2 Otras funciones**

Por otro lado los vertederos de laberintos tienen ventajas que se producen de incrementar la longitud efectiva de descarga. Una de ellas es el aumento del volumen útil del embalse a través del aumento del nivel de aguas normales del reservorio. Esto se produce al aumentar la cota del vertedero y se incrementa así, el nivel de aguas normales de la presa. Este hecho es, en muchos casos, el objetivo de la construcción de estas estructuras cuando el embalse ha perdido volumen por sedimentación. Producir el incremento de la capacidad del embalse con la utilización de aliviaderos de laberintos está dado por el incremento del volumen de descarga del vertedero, pues en medida de que se pueda descargar mayores caudales se puede considerar mayor seguridad en caso del aumento del nivel del embalse y eventos de alivio.

También se espera que los vertederos de laberintos se desarrollen como mecanismos que puedan disipar energía cinética, manteniendo la misma profundidad de flujo en el canal. Esta función se desempeña como una labor secundaria y no como

la finalidad propiamente dicha de la estructura de laberinto.

### 3 Funcionamiento hidráulico de las partes de un Vertedero de Laberinto

#### 3.1 Sistema de aproximación

La aproximación en un aliviadero es la estructura de conducción del flujo al vertedero. Para los aliviaderos de Laberinto, este mecanismo fue ignorado al principio de las primeras investigaciones, sin tomar en cuenta que este podría influir sobre la calidad de la descarga. Esto ocurre por la construcción de obras de aproximación para prototipos sin estimar que se estaba trabajando con un nuevo tipo de vertedero y que se relacionaba con el flujo de una manera no estudiada. Se diseñaron aproximaciones para implementarse en aliviaderos o vertederos, pero la acción de los aliviaderos de laberinto con respecto a la aproximación no tenía una base de argumentos estudiados para las posibles acciones de diseño que se podrían tomar en estas estructuras.

Previamente ya se había citado que existe una serie de canaletas trapezoidales como conductores del flujo descargado, para la configuración de vertedero Trapezoidal. También existen una serie de canaletas en la aproximación que debe tener las mismas dimensiones que las canaletas de salida. Estas canaletas están unidas al lecho de la aproximación que conecta a su vez con el lecho del reservorio. Esta formación de estructuras de aproximación, son las típicas comprendidas para el sistema de aproximación. (figura III.6).

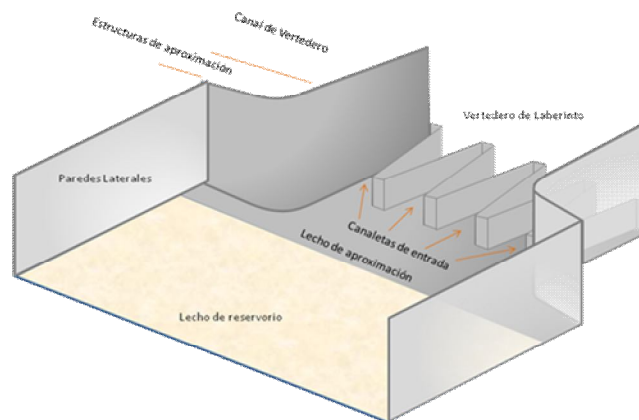


Figura III.6 Vista de la aproximación, donde se muestran sus partes y las canaletas de entrada

La aproximación comprende las obras laterales y el lecho que conduce el flujo desde el reservorio hasta el vertedero. Las paredes de la aproximación se proyectan perpendicularmente al lecho de la estructura. Las paredes de la aproximación y el lecho dependen geoméricamente una de la otra. (Figura III.6).

Las canaletas de aproximación sólo dependen en su dimensionamiento de la geometría dada a la estructura del vertedero, por lo que su configuración geométrica es consecuencia de las dimensiones dadas a la estructura de laberinto. La macro-aproximación ubicada aguas arriba ve su diseño en función a los requerimientos de caudal a transitar y la topografía del lugar.

Considerando entonces que muchos prototipos manifestaron valores de coeficientes que no se relacionaron con los modelos realizados, se iniciaron una serie de investigaciones que se centraron en las relaciones entre ellos.

Taylor y Hay (1970) encontraron con una brusca diferencia el valor del Volumen de descarga de entre lo medido en un modelo y su prototipo y señalaron esta divergencia por causa de la aproximación. Megalhaes (1985) también fue partícipe de estudios en los cuales se observaban considerables diferencias de coeficientes de descarga en estudios de modelo y prototipo. Houston (1982) quien profundizo los estudios de Taylor realizó comparaciones entre un prototipo diseñado para la represa de *Ute* y su respectivo modelo; ubicando la causa de diferencia de magnitudes en la observación de este dispositivo.

Cassidy (1983) corroboró las investigaciones de Taylor encontrando en un prototipo altos coeficientes de descarga que los determinados inicialmente en el modelo. Houston (1982) condujo investigaciones donde descartó el uso de aproximaciones y dispuso la proyección del aliviadero dentro del reservorio. Puso de un lado la utilización del vertedero, así que los valores obtenidos para el término  $H_o$ , que fueron medidos directamente sobre la cresta del vertedero.

Se considera que el vertedero tiene una disposición del flujo por la aproximación, pero esta no estaba estimaba para los aliviaderos de laberinto. Esto produjo que se iniciaran investigaciones en el área, teniendo como punto de enfoque



la implementación de varios tipos de estructuras de aproximación y su relación con el aliviadero.

### **3.2 Perfiles de Cresta**

Los perfiles de cresta son el acabado geométrico que poseen las paredes del vertedero en su parte superior, y son de relativa importancia, considerando que el diseño de estos influye en el coeficiente de descarga del vertedero. En una vista de perfil de la pared del vertedero, se pueden observar las dimensiones que este componente posee en el área ubicada en la cima que se denomina cresta. Este acabado de la pared de vertedero estará en contacto con el caudal circulante pues de un lado de este se encontrara el volumen del flujo a descargarse, del otro la lámina de la descarga. La importancia que debe tener este acabado, es muy relevante pues influye sobre la descarga.

El diseño óptimo de un perfil de cresta es de importancia dado que algunos aliviaderos han presentado funcionamientos deficientes por adoptar un perfil de cresta no acorde. También se han desarrollado y sometidos a experimentación diseños particulares, para determinar coeficientes de descarga y patrones de diseño.

Entre los perfiles desarrollados se pueden destacar muchos señalados por Falvey, según su publicación, y otros por Amanian según su múltiples publicaciones (1989, 1990, 1992). También se cita uno desarrollado por Megalhaes (1985). Todos presentan características particulares en cuanto a su dimensionamiento geométrico y formas utilizadas. (Figura III.7). Generalmente, todas las tipologías tienen una tendencia a trabajar aprovechando el espesor base de la pared de vertedero, y aplicando un acomodo del borde de descarga, que incluso se puede interpretar con una finalidad constructiva. Se busca por medio de un perfil de cresta adecuado hacer más eficiente la descarga, evitando que el diseño de la pared de vertedero se vuelva más complicado, por lo que indicaría un encofrado laborioso y por consecuencia un mayor costo económico.

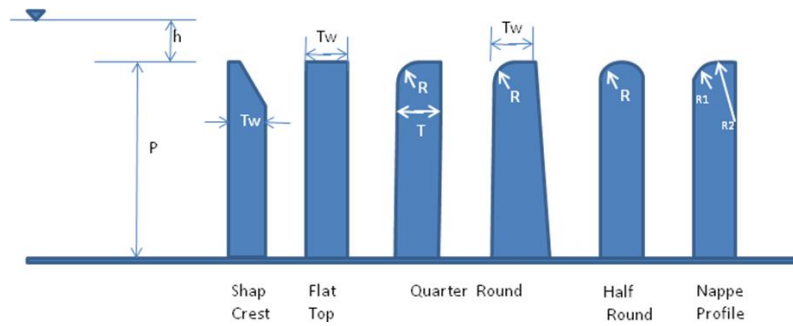


Figura III.7 Vista de los diferentes perfiles de cresta de pared de vertedero

Se muestran, entonces, perfiles de cresta, tales como *Shap Crest*, *Flat Top*, *Quarter Round* (este con dos configuraciones una de espesor una constante a lo largo del elemento y otro de espesor variante, mostrándose ancha en la base y disminuyendo a una tasa de decrecimiento constante a medida que aumenta su altura), *Half Round*, *Nappe Profile* y *Pyramic*. Para todas se realiza una breve descripción de su configuración física, y funcionamiento hidráulico.

Uno de estos, sería el designado por el término en inglés de *Flat Top*, consiste en el corte perpendicular recto a la pared, sus características delatan una simpleza no hidrodinámica. La descarga para este no es del todo óptima y su forma hace entrever la presencia de turbulencia.

Luego estaría el designado por el término en inglés de *Sharp Crest* o cresta de tiburón, por similitud con la aleta dorsal del escualo. Consiste en un biselado inclinado con un ángulo variante hacia el lado de la descarga.

También se cita el designado por el término en inglés *Pyramic*, o piramidal, (figura III.8) consistiendo este en el trazado de dos biseles que se inclinan uno hacia el lado de la aproximación y otro hacia el lado de la descarga, teniendo su valor máximo de cota ubicado en el punto máximo de la cresta alineado con el eje vertical de la pared.

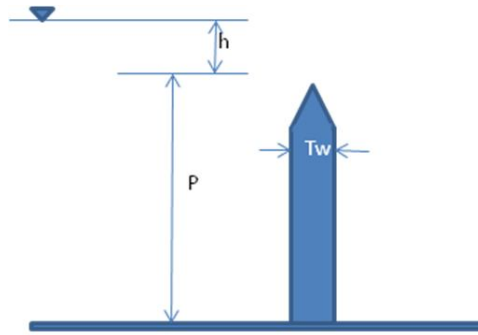


Figura III.8 Vista del perfil de cresta de pared de vertedero piramidal.

Hay dos perfiles designados por el término en inglés como Quarter round y Half Round ambos con incorporaciones de formas curvas. En el perfil Quarter Round se introduce un elemento geométrico, un cuarto de circunferencia tangente al muro en la parte adyacente a la descarga. Con respecto a la descarga, se espera que esta vierta libremente, lejos de efectos tales como la cavitación o la presuración, efectos que desaparecen al producirse el aumento del volumen de caudal descargado.

Para el tipo de perfil designando como *Half-Round* o Media circunferencia se introduce una media circunferencia como acabado en la parte superior del muro de vertedero. La razón, implica ajustar el perfil del muro a adoptar el desempeño hidrodinámico de la descarga por medio de su forma circular en la entrada del flujo, tal como ocurre en el descrito anteriormente, el *Quarter-Round*. Pero la utilización del mismo acabado hacia el lado de la descarga causa de efectos de la salida del flujo tales como cavitación, oscilación y otros, contrario a la descarga libre que se quiere tener.

Otro de los perfiles de cresta citados en la bibliografía de Falvey es que el que recibe la denominación en inglés de *Nappe Profile*, el cual remata la cresta del muro del vertedero mediante una forma curva que se basa en el trazado de dos arcos de circunferencia adaptados al comportamiento de las líneas de corriente.

También se cita un perfil de cresta desarrollado por Megalhaes,(figura II.9) según una publicación (1985), en la cual desarrolla un perfil de cresta, cuyo acabado está compuesto de forma en general por una “L” invertida, con arcos de circunferencia en la parte superior. Bajo el lado en el cual circulará el flujo, se

prolonga una pestaña bajo la misma formación de arcos de circunferencia hacia el lado de la descarga. Se desempeña bajo uno un óptimo trabajo de aeración del flujo, así como la adaptación a las líneas de corrientes del flujo.

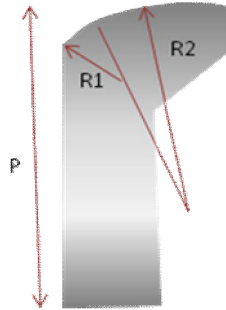


Figura III.9 Vista del perfil de cresta de pared desarrollado por Megalhaes.

Se considera un funcionamiento realmente óptimo, para este perfil de cresta de vertedero, desarrollado por Megalhaes, pero las obras constructivas para prototipos e incluso para modelos son relativamente complicadas y difíciles, por lo que su implementación a gran escala ha experimentado este obstáculo. Para los modelos hidráulicos, experimentalmente no es viable, por lo variante de su coeficiente de descarga, que para todo punto es óptimo, pero muy variante a medida que aumenta el caudal que lo hace descartable cuando el fin es la obtención de valores comparables.

Con respecto al perfil de cresta *Quarter-Round*, Tullis (1995) desarrolló numerosas pruebas con la utilización de este perfil, cuyos resultados representan una referencia para utilización de éste en modelos experimentales. Muchos de sus resultados e indicaciones señalan el uso de ese tipo de perfil. (figura III.10).

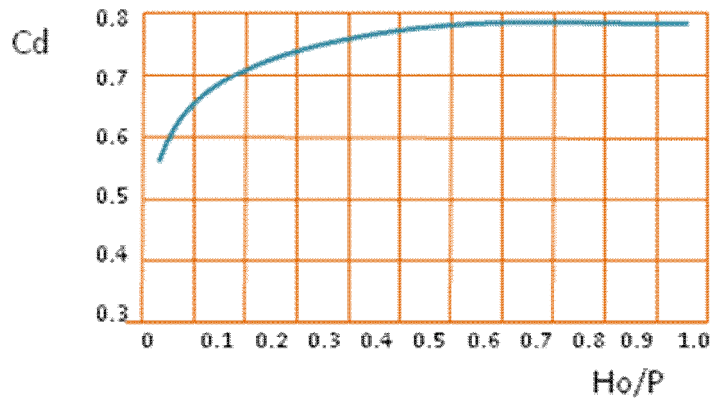
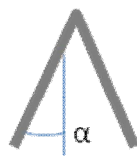


Figura III.10 Gráfica del coeficiente de descarga para el perfil de cresta Quarter Round.

### 3.3 Apertura angular entre las paredes del vertedero

Se ha mencionado la existencia de un ángulo entre las paredes de mayor longitud del vertedero, según la configuración geométrica de la estructura utilizada, bien sea triangular o trapezoidal y su magnitud es medida en grados desde el eje del ciclo hasta la dirección de la pared. (Figura III.11) Este término influye sobre la descarga y el respectivo coeficiente.

Triangular



Trapezoidal

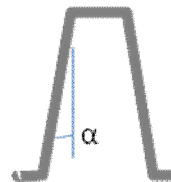


Figura III.11 Vista en planta del ángulo de las paredes del vertedero con respecto al eje del vertedero.

Tullis junto a Nosratollah y Waldron (1995) llevaron a cabo modelos experimentales en los cuales se determinan una serie de valores para este ángulo de tipo trapezoidal (figura III.12). Los modelos desarrollados por estos autores evalúan varios valores de esta configuración angular, y sus resultados se expresan en gráficas en las cuales claramente se pueden percibir diferencias en el coeficiente de descarga.

Estos valores angulares están dentro de un rango que va desde 2 grados, aumentándose hasta llegar a un valor de 90 que sería la implementación de un vertedero de cresta y donde desaparecerían los ciclos del vertedero.

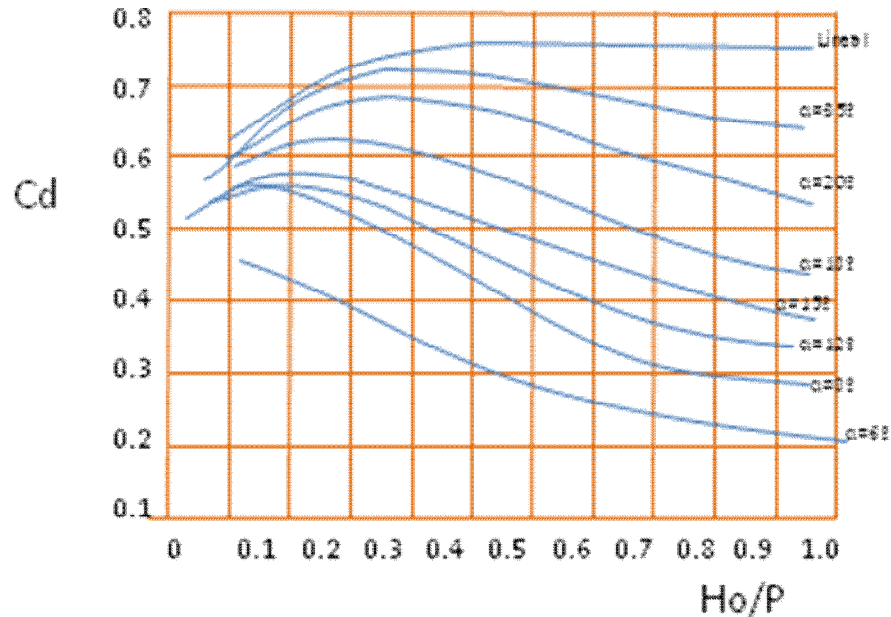


Figura III.12 Grafica del coeficiente de descarga para valores de  $\alpha$ . Tullis (1995)

### 3.4 Canaletas de Salida y características del flujo aguas abajo

Una serie de elementos que se generan en el vertedero son las canaletas de salida, o la canaleta de descarga según su otra designación. Su forma se obtiene por el dimensionamiento de los elementos de los ciclos del vertedero. En el tipo Trapezoidal su forma es similar a la de un trapecio. Esta canaleta se repite en igual dimensión para cada ciclo que compone el Vertedero, excepto por aquellos que presenten un orientación del eje de los ciclos en una formación asimétrica.

El propósito fundamental de estas canaletas es la recolección del flujo descargado y conducirlo hacia un canal aguas abajo, y cada uno de estos elementos debe tener la capacidad de evitar la sumergencia del vertido y debe recoger el flujo de todas estas canaletas y conducirlo a un estanque de disipación o incorporarlo a un curso de agua. Muchas veces como respuesta a requerimientos topográficos, esta canaleta particularmente para un ciclo puede verse afectada en la extensión de su

área. Para un óptimo funcionamiento del flujo de estas canaletas que contribuya a mejorar el coeficiente de descarga, se puede variar su pendiente, que aumenta la altura para el punto de inicio de la canaleta de salida. El termino para designar la altura de inicio de la canaleta de salida es  $Y_a$ , medido desde el lecho de la aproximación hasta el inicio de este elemento (Figura III.13).



Figura III.13 Vista de perfil de un vertedero indicando el valor correspondiente a la altura de inicio de canaleta de descarga “ $Y_a$ ”.

En las canaletas de descarga puede ocurrir un suceso denominado sumergencia, la cual es el aumento del nivel del flujo descargado sobre la cresta del vertedero, afectando la descarga, disminuyendo el coeficiente de descarga. Es un efecto totalmente negativo en la descarga y un suceso con probabilidades de ocurrir en aliviaderos de Laberinto. El objetivo de muchos estudios sobre sumergencia del vertedero de laberinto es la de generar parámetros de diseño para evitar este efecto en las canaletas de descarga.

Falvey (2003) basándose en estudios previos sobre la canaleta de descarga concluye que se pueden crear descargas supercríticas para cada ciclo del aliviadero, así como un oleaje cruzado que no ha sido catalogado totalmente para prototipos o modelos de aliviaderos de laberintos. En otras observaciones esta afirmación puede ir orientada a la observación de descargas de diferente magnitud de caudal de algunos ciclos con respecto a otros. Algunos estudios han considerado el uso de dispositivos en la canaleta de descarga para acelerar el flujo descargado por el vertedero.

El oleaje cruzado es un fenómeno común en el canal aguas abajo que recoge el flujo de todas las canaletas de los vertederos de Laberinto, generado por el flujo proveniente de estas canaletas. Este fenómeno implica la implementación de un borde libre de mayor dimensión al estimado para el canal de descarga. Esto ocurre dado que

se pueden producir ondas que superen las paredes laterales del canal aguas abajo, de esta manera se produce la erosión tanto de la pared del canal como la del material que lo circunda, y por consecuencia la falla. Estas ondas ocasionadas por el oleaje cruzado pueden ser impredecibles y no han sido investigadas totalmente en el tema de los aliviaderos de laberinto.

Algunos investigadores han considerado que la altura del punto de inicio de esta canaleta influye en el coeficiente de descarga del respectivo vertedero, dependiendo de  $Y_a$ . Por consecuencia, la pendiente de dicha canaleta, para fines analíticos, varía por igual para todos los ciclos, siempre manteniendo la geometría de la superficie de la canaleta.

Taylor (1968) desarrolló investigaciones en la cuales varió la altura de inicio de la canaleta de salida y por consecuencia la pendiente. Expuso que sus desarrollos se hicieron en modelos con características físicas indicadas mediante los coeficientes  $L/W$ ,  $W/P$  y el valor del ángulo entre paredes de laberinto, así como la configuración del vertedero la cual fue del tipo Trapezoidal. (Figura III.14)

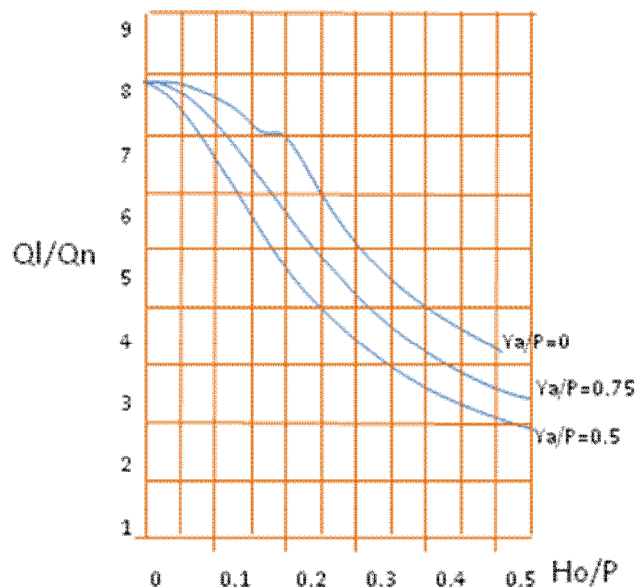


Figura III.14 Grafica del coeficiente de descarga para valores de Canaleta de salida. Taylor (1968)

Los resultados de sus montajes y observaciones experimentales podrían ser



considerados como referenciales al presente trabajo. Los efectos físicos que desarrolló para la pendiente en la canaleta de salida, los desarrolló a igual dimensión para la canaleta de entrada, en este elemento, quiso experimentar el efecto de la sedimentación. Las pendientes utilizadas para su desarrollo fueron pocas porque en la realidad sus experiencias estuvieron orientadas a la sedimentación.

Uno de los principios que se pueden deducir de sus conclusiones, es que el aumento de la pendiente aumenta el valor del tipo de coeficiente utilizado. Pero lamentablemente utilizó pocos valores del coeficiente  $Y_a/P$  o pendiente de la canaleta de descarga, por lo que sus resultados son limitadas. Incluso podría decirse que ese vacío de información, generó la necesidad de este trabajo de investigación.

### 3.5 Implementos de aeración

La aeración del flujo es importante en un aliviadero de laberinto, dado que de encontrarse bajo los efectos de la aeración o sin la aeración, el flujo presenta descargas libres o con problemas. Se espera que con la aeración mejore la descarga, al compensar las presiones negativas que se generan bajo la lamina de descarga (figura III.15). Esta compensación se genera en la longitud efectiva de descarga, así que aumenta el área de la lámina de exposición y por lo tanto de aeración.

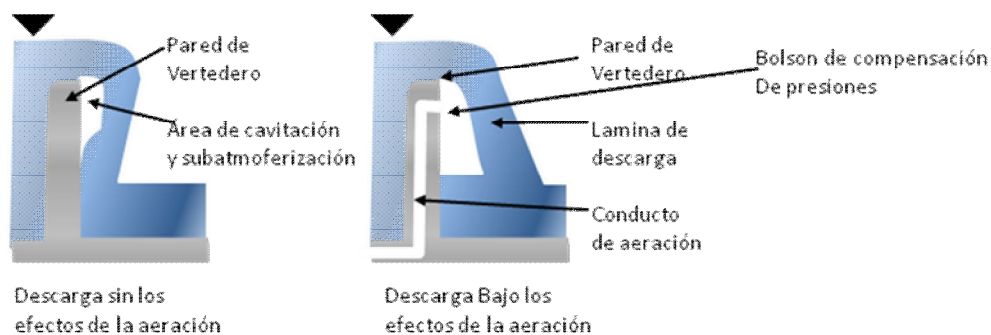


Figura III.15 Esquema de la aeración de la descarga bajo el vertedero.

Los autores que investigaron en el área se destacan por mostrar una serie de implementaciones de sistemas de aeración al respecto, Hauser (1996) planteó el desarrollo de mecanismos de aeración para aliviaderos de laberinto y para vertederos de creta viva. Este punto podría ubicar los cimientos de la construcción de vertederos

que tengan la capacidad de suministrar la aeración al flujo. Wormleaton y Soufiani (1998) en base a un proyecto de Wormleaton y Tsang (2000) desarrollaron diversos estudios con la aeración de aliviaderos de laberintos. En sus montajes involucraron la utilización de varias configuraciones de vertederos de laberintos, los cuales sometieron a diversas variantes de aeración. En sus conclusiones destacaron resultados en función de características como la longitud de descarga, el sistema de aeración utilizado, y la calidad del agua resultante. También señalaron el tipo de sistemas de aeración en relación con la efectividad de acuerdo a cada configuración de vertedero utilizado.

#### **4 Coeficiente de descarga**

Muchos autores han descrito el funcionamiento de los vertederos de laberinto mediante el coeficiente de descarga, y en base a estos se han realizado comparaciones y estimaciones de parámetros constructivos.

Cuando se revisan los estudios sobre aliviaderos de laberintos, se observa que algunos autores se basaron en los principios de Rouse (1936) quien investigó y publicó trabajos con respecto a la descarga de caudales en vertederos. Este autor especifica que los parámetros más significativos en el flujo a descargar son la geometría del dispositivo de descarga del caudal y la velocidad del flujo. Este criterio se aplica a los principios de desarrollo y estudio de aliviadero de laberintos y para esta afirmación, se debe partir de conocimientos obtenidos de desarrollos experimentales. Como consecuencia, el término numérico que describe el volumen de descarga, y que se basa en la geometría del vertedero es el coeficiente de descarga.

También es importante citar a Cassidy (1985) quien demostró que cualquiera de los valores de profundidad aguas arriba del vertedero, para la carga hidráulica de la descarga sobre el vertedero, puede ser usado para determinar el coeficiente de descarga. Pero este autor considera que se deben seleccionar cuidadosamente los puntos de medición de las profundidades aguas arriba en la aproximación, para crear una óptima base de datos seleccionados para la elaboración de la grafica de los coeficientes de descarga.

Esta determinación de Cassidy, es fundamental en los trabajos experimentales, dado que es un criterio que se aplica a la determinación del coeficiente de descarga. Esto viene dado por las indicaciones de otros autores como Tullis, quien ha desarrollado sus conclusiones gráficas bajo el uso de este criterio. También bajo este punto se indica el principio de la medición de caudales aguas abajo del canal de alivio en modelos y prototipos, partiendo de que el caudal que transita por el vertedero es igual al caudal que transita por la aproximación.

Tullis (1995) expresó sus conclusiones gráficas relacionando el coeficiente de descarga con el coeficiente  $H_o/P$ . Otros autores desarrollaron sus trabajos experimentales relacionando el coeficiente de descarga con otros parámetros. Este autor desarrolló una serie de montajes experimentales trabajando con una ecuación sobre vertederos de laberinto. Esta ecuación incorpora términos como la aceleración de la gravedad, y su relación entre las características del aliviadero.

Los resultados gráficos de Tullis fueron generados utilizando vertederos trapezoidales, con perfiles de cresta del tipo *Quarter-Round*. Con esta especificación de tipo de cresta obtiene valores poco alterados debido a que el desempeño de esta característica afecta poco el coeficiente de descarga. Para los modelos desarrollados por Tullis, los coeficientes de descarga fueron determinados por la ecuación siguiente:

$$Q_L = C_d \cdot L \cdot \frac{2}{3} \sqrt{2 \cdot g} \cdot H^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

Tullis señala que la mayor parte de las divergencias de resultados entre modelos y prototipos es la proyección de diseños geométricos no simétricos entre sus partes o sus ciclos, aspecto también presentado por Falvey pero sin basamento o conclusiones numéricas al respecto. Esta afirmación en base a estudios de Tullis, Megalhaes, Houston y Taylor, en muchos casos, se basaron en modelos con propósitos de estudios de construcción de prototipos. En sus desarrollos se encontraron con modelos en los cuales se manifestaba una diferencia entre prototipo y estudio previo experimental, en los cuales los resultados reales no se correspondían

con los modelos hidráulicos.

Taylor llevó a cabo montajes experimentales en los cuales la descarga se expresó por un coeficiente de una relación entre el flujo descargado por un vertedero de laberinto y el flujo descargado por un vertedero con el mismo ancho de longitud, es decir el ancho de vertedero sin los ciclos del laberinto. Los coeficientes de descarga fueron generados por una ecuación dada por:

$$\frac{Q_L}{Q_H} = f(h, P, \text{Cresta}) \quad (2)$$

En principio sus estudios de vertederos de laberintos estuvieron orientados a estudiar el tipo de vertedero y minimizar los efectos de la tensión superficial en los desarrollos experimentales, y a partir de estos se desarrolló una ecuación según la configuración utilizada.

En las graficas obtenidas por Taylor para las configuraciones Triangulares y Trapezoidales el autor evaluó las mismas condiciones de aproximación para ambas configuraciones. En general se puede destacar que el tipo trapezoidal muestra una mejora en el coeficiente de descarga. Esta indicación es la razón de la utilización del tipo de vertedero Trapezoidal.

Algunos autores habían señalado que el coeficiente de descarga es resultado de una función que concibe la utilización de algunas variables, pero no unifican sus criterios en una expresión en concreto. Darvas (1971) utilizó variables tales como “W”, así el valor de la carga hidráulica “Ho” en el cálculo del coeficiente de descarga en sus conclusiones gráficas. Por esta razón el gráfico obtenido de sus estudios puede tomarse como una referencia, de hecho las curvas trazadas utilizan el coeficiente L/W.

$$C_w = \frac{Q_L}{W \cdot H_o^2} \quad (3)$$

Megalhaes y Lorena (1989) trabajaron en torno a las conclusiones de Darvas y desarrollaron sus montajes experimentales para estudios de aproximación. En cuanto a los resultados obtenidos utilizaron los mismos términos gráficos que Darvas,

expresando estas conclusiones numéricas en gráficas según coeficientes de descarga en función de la relación L/W. El Coeficiente de descarga fue determinado por la ecuación:

$$C_p = \frac{Q_L}{W \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H_o^2} \quad (4)$$

Lux (1989) trabajó a partir de los resultados experimentales de Taylor, desarrollando una ecuación de coeficiente de descarga basada en los valores de carga hidráulica en el punto de aproximación, aunque sus resultados estaban indicados para un ciclo. También involucraba constantes referidas al tipo de configuración usada en el vertedero. La ecuación precisaba el caudal total circundante por el vertedero con la indicación del caudal por ciclo y el número de ciclos utilizado.

$$Q_L = C_w \left( \frac{W_c / P}{W_c / (P + k)} \right) W_c H_o \sqrt{g H_o} \quad (5)$$

Lo destacable de los desarrollos de Lux es que incorporó la aeración en sus montajes experimentales, al igual que desarrolló montajes obviando este proceso, que señaló en las graficas obtenidas de sus montajes. En dichas graficas especifica curvas para los montajes respectivos del flujo bajo los efectos de la aeración y sin este efecto.

Al igual que los resultados de Darvas y Megalhaes, Lux enunció sus resultados en gráficas trazadas por el coeficiente de descarga en función a la relación Ho/P, desarrollando curvas para valores del coeficiente “L/W”. En sus estudios se puede observar que el flujo en los vertederos, bien sean Triangulares o Trapezoidales, se comporta igual en todos los ciclos. En muchas publicaciones se ha indicado como el flujo ha llegado a ser variante en turbulencia y magnitud de caudal.

## 5 Características del Flujo de descarga

Se ha descrito un tipo de flujo particular para estas estructuras que van en función de las líneas de corrientes que dibujan, característica que es esperada en este tipo de vertedero. No se puede considerar el flujo o las líneas que dibuja este, como

las que se observan en los vertederos convencionales, pues la estructura que los regula no tiene una posición paralela ni perpendicular a la dirección del flujo.

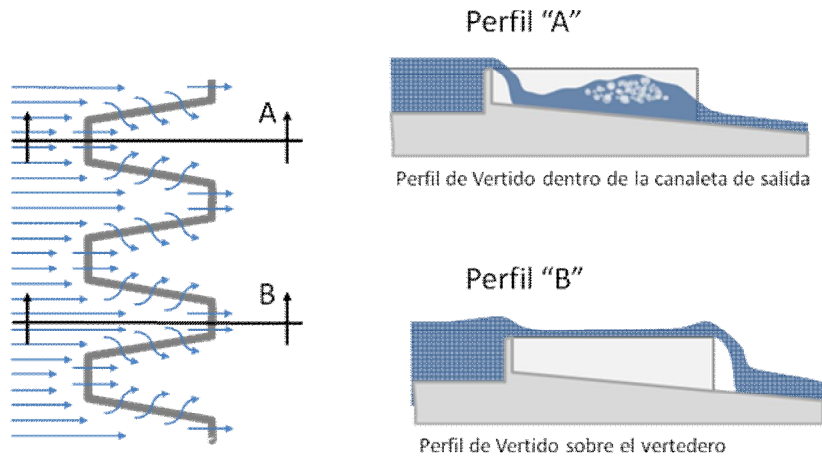


Figura III.16 perfiles de vertido sobre el vertedero

En vertederos de laberintos el flujo es tridimensional y no bidimensional. Por la razón antes expuesta, se deduce que las líneas de corrientes tienen trayectorias alternativas y muy variantes, se describen en tres direcciones, y con velocidades en las mismas direcciones. (Figuras III.16 y Figuras III.17)



Figura III.17 Vista en detalle de la descarga de un Vertedero de Laberinto (River Chees)

Aspecto destacable es la aeración del flujo de descarga en la estructura de alivio, dando una mejora al funcionamiento de la estructura. En algunos casos los

diseños de vertederos de laberintos se enfocan en el flujo, en función de producir aeración en el flujo en el momento de alivio. Para esta acción se han desarrollado perfiles de crestas o sistemas de suministro de aire cuyo desempeño sea la mejora del flujo.

En el momento de la descarga, pueden producirse acciones propias del vertedero como turbulencia, interferencia de descarga, incrementos y disminuciones de la velocidad, entre otros. La turbulencia se produce por interferencia de las láminas vertientes de direcciones diferentes de un ciclo. También la turbulencia se puede producir por causa del efecto del vertido del perfil de cresta. La interferencia de descarga es el choque entre laminas vertientes de direcciones diferentes.

Un vertedero de laberinto puede presentar segmentos de descarga con diferente carga hidráulica y volúmenes de caudal diferentes por la aproximación del flujo. En los vértices de las paredes del aliviadero, se pueden presentar situaciones de descarga en varias direcciones. En la situación de descarga del flujo puede producirse que algunos segmentos tengan que descargar mayores cantidades de caudal que otros. El flujo que se descarga por el ápice del vertedero tiende a producirse como si se tratase vertedero de cresta viva. Pero en el caso de la pared en posición angular con respecto a la dirección del flujo, como ocurre en el tipo trapezoidal, la longitud de descarga se incrementa y el fluido tiene mayor espacio para descargar. Esto trae como consecuencia que los valores de la carga de agua se incrementen en los trayectos perpendiculares al flujo y disminuya en los trayectos angulares.

También pueden ocurrir hechos como la adherencia de la descarga o el flujo de la descarga a la pared del vertedero, que aparte de obstaculizar el proceso de aeración, producen daños estructurales. Este tipo de descarga no se espera que ocurra, pero con un mecanismo de aeración del flujo, este comportamiento se puede evitar o minimizar. Como consecuencia se realizan acciones de construcción e incorporación de mecanismos como los conductos de aeración.

La descarga descrita de los aliviaderos de laberinto muestra una evolución en el vertedero trapezoidal a partir de elementos geométricos del vertedero triangular y rectangular. Esta implementación del tipo Trapezoidal ocurre para minimizar los

inconvenientes producidos por la interferencia de la descarga. Los vertederos triangulares han sido implementados, pero posteriormente los inconvenientes que presenta la interferencia de la descarga, tanto en la esquina de las paredes aguas arriba como la esquina aguas abajo, llevaron a innovar soluciones mediante modelos hidráulicos para evitar este problema, que dio como consecuencia el vertedero tipo Trapezoidal. (Figuras III.18)



Figura III.18 interferencia de la descarga en el ápice aguas arriba

Uno de los inconvenientes derivados de la interferencia de la descarga es el decrecimiento de la longitud efectiva del vertedero, aspecto que influye en la eficiencia de la vertido, disminuyéndolo. Este inconveniente en el caso de los aliviaderos de laberinto tipo Trapezoidal, es producido por la geometría del modelo y por la dirección del flujo. El flujo lleva una dirección, la cual es perpendicular al ápice del vertedero y en la pared del vertedero guarda un ángulo con la dirección del flujo. Por encontrarse el flujo en secciones diferentes de descarga con volúmenes de descarga diferentes, se producen disminuciones de velocidad en los puntos donde se encuentran las paredes y los ápices del vertedero. Por consecuencia de estas disminuciones de velocidad la longitud de la descarga decrece.

Dos investigadores Indlekofer y Rouve (1975) investigaron sobre la incidencia de este fenómeno en los vertederos de tipo rectangulares, y publicaron conclusiones. Estos autores señalaron características bajo las cuales se producen, así como también señalaron la determinación de una alternativa que minimizarían este suceso, lo cual sirvió para la implementación del tipo triangular. Una de las conclusiones es que la longitud de turbulencia causada por la interferencia de la



descarga se aumenta con el incremento de caudal.

El vertedero triangular mostró la incidencia de la interferencia de la descarga mas pronunciada que sus predecesoras, ando una idea más sencilla para la interpretación de este suceso y la respectiva solución por la configuración de una de sus partes. Pero entre los aspectos que se trasladaron del tipo rectangular al tipo triangular estaba el inconveniente de la turbulencia, dado que la longitud de turbulencia causada por la interferencia de la descarga también se incrementa con el incremento de caudal. Esta publicación nos sirve hoy en día para justificar la utilización del tipo trapezoidal aunque también se puede observa la interferencia de la descarga, pero de menor magnitud que en los tipos triangular y rectangular.

A través de este concepto se entiende como la longitud de interferencia aquel segmento de vertedero en el cual ocurre la intersección de dos láminas de descarga. Esta se incrementa en el vertedero tipo trapezoidal si disminuye el ángulo entre las paredes largas del vertedero. Indlekofer y Rouve (1975), desarrollaron una ecuación bajo la cual se da un límite a la interferencia de descarga en el vertedero.

$$\frac{L_D}{H_o} = 0.98 \quad (6)$$

Siendo  $L_D$ , la longitud donde ocurre la interferencia en el borde de muro del aliviadero, y  $H_o$  la carga hidráulica.

## **6 Oscilación de la descarga**

El flujo descargado por el vertedero en un aliviaderos de laberinto puede verse afectado por sucesos inusuales producidos por una vibración en la lámina de flujo descargada. Esto ocurre con bastante regularidad en prototipos y modelos, en los cuales la oscilación puede producir descargas no descritas, así como oleajes variantes e impredecibles. Por otra parte, también se menciona la posibilidad de socavación o erosión de la estructura por causa de la constante variación de la descarga sobre los canales de recolección de las aguas. (Figura II.19)

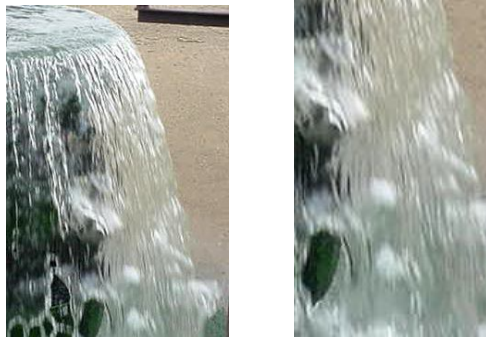


Figura III.19 Vista y detalle de la oscilación de la descarga en un ápice de vertedero Triangular

El flujo bajo los efectos de la vibración, se presenta en magnitudes bajas de caudal descargado, pero al incrementarse el flujo el comportamiento de la lámina de agua en algunos casos se estabiliza hasta mantener una descarga uniforme. Para que ocurra una descarga uniforme, se suministra aire bajo la el flujo para compensar las presiones generadas por la lámina de la descarga.

La descarga puede verse afectada por la oscilación de la lámina de flujo por el hecho de que este no se encuentre aireado. Esta afirmación hecha por Falvey (2003) señala que las estructuras que presenten problemas con los mecanismos de aeración, o sencillamente no los tengan, incrementan estos problemas con el aumento del volumen del caudal. Pero cuando el aire inyectado por los conductos de aeración satisface ese requerimiento físico de compensación de presión, debido a que los efectos de la succión, son pronunciados.

La oscilación puede ser eventual o permanente, encontrándose en las mismas condiciones de inestabilidad. Este tipo de flujo esta acompañado por variaciones como incrementos y decrecimientos de la descarga, así como fluctuaciones pronunciadas en el canal de descarga, bien sea la canaleta de descarga o el canal colector.

Tullis explica que existen un rango bajo el cual se puede determinar las magnitudes de vibración, estos son expresados mediante el coeficiente  $H_o/P$  y van desde 0,01 a 0,06. Falvey y Ervine (1987) consideraron un rango del coeficiente de descarga bajo los cuales puede ocurrir la aparición de este inconveniente, que establece el coeficiente  $L/H_o$ , donde L es la longitud efectiva de descarga que puede

tener un rango según estos autores, de 50 hasta 100. Esta relación guarda una correspondencia con el coeficiente  $H_o/P$  por la utilización de la carga hidráulica en su determinación, pero ninguno de los autores señaló una equivalencia de un coeficiente a otro.

Otros dos autores Naudascher and Rockwell (1994) hicieron levantamientos experimentales para trabajar con esta problemática. Indican otras causas de las vibraciones, una de ellas es la presencia de un flujo inestable en la aproximación, con velocidades en tres direcciones, y que al llegar al vertedero, causa las vibraciones.

Falvey (1980) concluyó que los flujos bajo los efectos de aeración, también presentaban problemas de oscilación. Indica que la vibración de la descarga no atiende netamente al factor de la aeración. Fácilmente pueden observarse los rizos u ondulaciones que se producen en la descarga del caudal, específicos en casos cuando este presenta valores bajos de carga hidráulica.

En general las vibraciones de la lámina de descarga, son un suceso importante por los múltiples inconvenientes y daños que pueda ocasionar, y principalmente para obtener una óptima descarga del flujo. En los casos de la utilización de vertederos trapezoidales con perfiles de cresta de tipo *Quarter-Round* y bajo los efectos de la aeración, este inconveniente se puede presentar.

Una de estas causas en específico es la aeración del flujo, que se realiza por dispositivos de conducción de aire que descarga o capta a la atmósfera. La aeración compensa las presiones que se pueden dar en la lámina de descarga. Otra solución podría ser la incorporación de aereadores, mediante un diseño alternativo a la pared del vertedero, pues la provisión de aire para la compensación de presiones se haría de una manera mecánica y mediante un dispositivo de fácil mantenimiento, pero las obras que involucrarían tal solución manifiestan un costo alto y elevado razón por la cual no se justificaría como la solución adoptada.

En general no se ha cuantificado la efectividad de la aeración sobre la descarga con características de vibración en los aliviaderos de laberinto. Pero en general muchas soluciones a prototipos o aliviaderos de laberintos ya proyectados han visto en el suministro de aire la solución.

Otro de los aspectos en los cuales se puede ubicar la causa de la generación de la oscilación, podría ser la turbulencia que se genera en la aproximación y que produce ondas sobre la superficie del flujo que se descarga, aspecto señalado por algunos autores. No se ha profundizado en la investigación de las causas y de las soluciones a estas oscilaciones mediante un estudio de modelos experimentales.

Se destaca que algunos estudios se manifestaron la presencia de la oscilación de la descarga en un aliviadero de Laberinto mostrando divergencias con el prototipo respectivo donde no se observó oscilaciones. Las diferencias entre modelo y prototipo generaron numerosas hipótesis, pero la conclusión más relevante es la de que la tensión superficial absorbió la generación de la oscilación en los modelos. Esto lleva a considerar posibles resultados erróneos que se pueden dar por la tensión superficial y se indicó que en montajes experimentales esta característica necesita ser corregida.

## **7 Tensión superficial**

La tensión superficial es una característica general de los fluidos en canales en superficie libre. Cabe destacar que la incidencia de la tensión superficial en un prototipo ya construido es realmente nula, considerando el alcance de la tensión superficial y las dimensiones de la obra. Pero en el análisis del flujo que circula en un desarrollo experimental, o en modelos de aliviaderos de laberinto, este efecto es muy notable e incide en los resultados experimentales. En mayor medida viene por el hecho de que las dimensiones para un modelo hidráulico se modifican, en virtud de mantener parámetros de similitud analítica, pero el alcance de la tensión superficial es notable.

Houston (1982) desarrolló estudios en la materia, y destacó observaciones realizadas en un modelo para un aliviadero de represa, en la cual resaltaron presiones negativas bajo la lámina de la descarga. En sus observaciones encontró que este suceso ocurría para valores de baja magnitud del coeficiente  $H_o/P$ . Estas presiones negativas no ocurrían en el prototipo construido, por lo que se originó un punto de discordancia en torno a los resultados del modelo y el desempeño del aliviadero construido.

Este fenómeno en los aliviaderos de Laberinto originó investigaciones que llevan a construir una tabla de correcciones de valores del coeficiente  $H_o/P$  para los modelos experimentales de aliviaderos de laberintos, del tipo trapezoidal. Además, Tullis desarrolló una tabla de correcciones de resultados experimentales más confiable.

## **8 Aeración.**

El efecto de la cavitación ocurre cuando este no presenta aeración en la descarga del flujo. La razón de producir la aeración del fluido es compensar las presiones negativas que produce la succión de la lámina de flujo en el vertido, como en el efecto de despegarse de la pared de la descarga. A medida que aumenta el caudal el aumento del efecto de la presurización se incrementa. Bajo el efecto de la aeración se compensan las presiones y se produce la descarga libre a la atmósfera. Cuando este proceso ocurre, se produce una separación de la lámina de flujo de la pared del vertedero, que al incrementar el caudal, crea una situación de succión, que se espera se compense con presiones contrarias por el efecto de la aeración. La manera mas cómoda y conocida de minimizar el efecto de esta succión es suministrando aire por medio de conductos, proceso conocido como aeración. En caso contrario el flujo comienza a experimentar cavitación y subatmoferización.

En muchos casos la succión causada por la lámina de la descarga es tan perjudicial que en el caso de prototipos construidos puede llegar a succionar el material que forma la matriz del concreto vaciado y así disminuir su resistencia hasta producir su falla. Este efecto ocurre también en las canaletas de salida y el canal lento a tal punto de producir la succión y el arrastre del material suelto que se ubica bajo las losas de concreto, creando un espacio vacío, que disminuye su resistencia e incrementa la ocurrencia de la falla. Razón por la cual se ha tomado como un beneficio que la disipación de energía sea una ventaja lograda por los vertederos de laberinto.

Se considera que la cavitación es un efecto inestable y no deseado, pues no sólo disminuye el coeficiente de descarga, sino que también crea erosión y esta

acción afecta las paredes del aliviadero y las canaletas de descarga. También al producir un flujo inestable incrementa la ocurrencia del oleaje cruzado que puede producir la descarga, y que en el caso de un aliviadero de laberinto este efecto es motivo también, de análisis y estudio.

Por los múltiples inconvenientes de descarga citados que el aliviadero de laberintos, éste debe poseer estructuras de aeración del flujo que usualmente son conductos que se construyen en el interior de las paredes del laberinto, con el fin de suministrar aire y compensar esa succión, bajo la descarga del vertedero. La diferencia que se puede ver entre un fluido aireado y otro que no esté bajo el efecto de la aeración en los trabajos de Indlekofer y Rouve (1974). (Figura III.20).

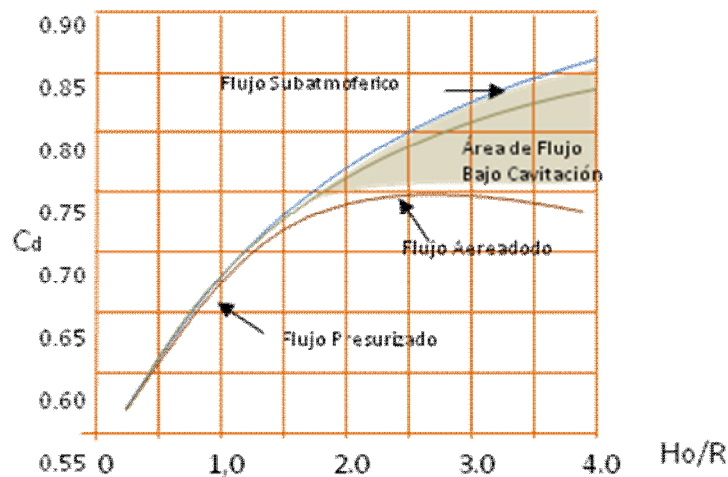


Figura III.20 Graficas de los coeficientes de descarga para los flujos bajo el efecto de aeración y sin tales efectos. Rouvé y Indlerkofer (1974)

Los autores señalan que estas observaciones experimentales obtenidas al perfil de cresta *Half-round*, no podrían ser interpoladas a los que podrían desarrollar el perfil *Quarter-Round*, perfil muy usado en modelos experimentales. Se pueden utilizar los resultados de estos investigadores para la realización de un análisis comparativo, entre una estructura bajo los efectos de la aeración y otra sin aeración que posean perfiles tipo *Quarter-Round*. No se ha desarrollado estudios en cuyas conclusiones numéricas en las que se pueda interpolar, entre el perfil *Half-round* y el

*Quarter -Round.*

Es importante mencionar que se han diseñado modelos hidráulicos experimentales para prototipos, y se obtuvieron resultados muy cercanos a los valores de Indlekofer y Rouve, otros se presentan muy distantes de los obtenidos por estos diseñadores. Se ubica la razón de esta variación en la apertura angular entre las paredes de los ciclos utilizados, así como también una posible inclinación de la pared del aliviadero, la cuales pueden ser causante de la discordancia.

Con estas observaciones se concluyó que las gráficas para los dos perfiles poseen tendencias similares pero no iguales en magnitud. Esto viene a corroborar las indicaciones que Indlekofer y Rouve que publicaron en sus estudios sobre perfiles de cresta (1974), en los cuales realizaron las mismas afirmaciones. Estos autores realizaron comparaciones para los comportamientos entre el perfil *Half-Round* y el *Quarter-Round*. También a partir de la experiencia de Amanian, se ha llegado a una tentativa conclusión del comportamiento del vertedero de laberinto como un vertedero de cresta viva.

Estas conclusiones de Indlekofer y Rouve, así como las de Amanian sirven de soporte para destacar la importancia de la implementación de un mecanismo de aeración en modelos hidráulicos experimentales de aliviaderos de laberintos, utilizando el perfil de cresta del tipo *Quarter-Round*. La razón radica que en que la implementación de este proceso en el vertedero influye beneficiosamente sobre la descarga.

Uno de los puntos en la publicación de Falvey, es que no se especifica para uno de los trabajos de investigación, el valor de la altura del vertedero “P”. Este aspecto en comparación con el coeficiente  $H_o/P$  puede dar lugar a muchas interpretaciones con el caudal sometido a experimentación. Falvey menciona lo importante que podrían ser estos resultados sin los efectos de la tensión superficial sobre los resultados experimentales sin profundizar en esta afirmación.

## **Capítulo IV**

### **Parámetros de diseño, modelísticos y de procedimiento.**



Los aliviaderos de laberinto utilizan varios parámetros para su diseño, los cuales deben seleccionarse de ecuaciones y procedimientos indicados por investigadores. Muchas de las investigaciones citadas provienen de reciente data y por lo tanto se obtienen de otros desarrollos, y sus conclusiones puede ser referencia para otros desarrollos posteriores. Muchos autores expresan sus propios procedimientos constructivos para prototipos y modelos, pero no hay una unificación de criterios al respecto, aunque si hay autores que tienen coincidencias en ciertos puntos.

En el procedimiento de diseño se toma la metodología a desarrollar formulada por otros autores, y las disponibilidades de estructura. Los valores dimensionales están tomados en base a las disponibilidades de material, las equivalencias analíticas y a factores constructivos. Los parámetros de diseños han sido extraídos de reportes finales, según modelos experimentales.

## **1 Ecuaciones de diseño**

Falvey (2003) hace una selección de las ecuaciones de diseño desarrolladas por otros autores a través de las observaciones realizadas a sus respectivos trabajos de investigación. Estas ecuaciones son las desarrolladas para determinar número de ciclos, ancho de ciclo, longitud de cresta del aliviadero, ángulo de apertura entre las paredes del ciclo, longitud de la pared larga de aliviadero y la altura de la pared del vertedero del laberinto. En el desarrollo de un modelo se atiende a estas ecuaciones para obtener las dimensiones del modelo incluyendo las más eficientes según el señalamiento de autor.

Algunos autores han incluido otros dimensionamientos particulares a los cálculos del vertedero están expresadas como sugerencias o indicaciones. Estas ecuaciones son las de espesor de pared del vertedero, acabado de la pared o recubrimiento de cálculo, concreto, Longitud efectiva, acero de refuerzo. Estas características son muy variables, por que están a la orden del criterio del proyectista, y la evaluación que este haga para la construcción de la obra.

Para el diseño del modelo se obtienen las dimensiones según las ecuaciones siguientes:

### **1.1 Numero de ciclos**

Lux y Hinchliff (1985), desarrollaron una ecuación para determinar el número de ciclos a utilizar en el vertedero, en base al caudal a descargar (de hecho utiliza un coeficiente resultado del caudal a descargar por el vertedero de laberinto y el caudal descargado por un vertedero de cresta recta en un mismo ancho de canal).

$$Q_l/Q_c = n \quad (7)$$

El número de ciclos a considerar en el modelo también debe atender la disponibilidad de espacio en el estanque-canal en el cual se va a ubicar el modelo. Tullis, señala que el número de ciclos a utilizar en modelos debe ser impar debido a la simetría de la descarga y junto a Houston siempre consideraron modelos hidráulicos de aliviaderos de laberintos de cinco y siete ciclos. Pero este autor señala que mientras más se implementen ciclos en el modelo, los resultados serían mejores y recientemente ha dado un viraje en sus montajes al utilizar modelos con una cantidad exagerada de ciclos.

### **1.2 Ancho de ciclo**

El ancho de cada ciclo ( $W$ ) se obtiene de la división del ancho del canal de vertedero entre el número de ciclos, y esta dada por la ecuación:

$$W = W_c/n \quad (8)$$

### **1.3 Longitud de cresta**

En el vertedero de laberinto de tipo trapezoidal la longitud de cresta para un ciclo esta dada por la ecuación:

$$L = 2b + 4a. \quad (9)$$

Donde “b” es la longitud de la pared de vertedero y “a” es el valor correspondiente al valor de la mitad del ápice.

Pero para la determinación de L Falvey (2002) señala que la longitud de vertedero esta dado por la ecuación:

$$L = W \cdot m \quad (10)$$

Pero Taylor y Hay (1970), desarrollaron una metodología de calculo para la cual desarrollaron una grafica  $Ql/Qn$  en función de  $Ho/p$ , en donde  $Ql$  es el caudal proyectado a descargar por el vertedero,  $Qn$  es el caudal a descargar por un vertedero de cresta ancha en el mismo ancho de canal. De esta grafica se extra el valor bajo el cual se va a magnificar la longitud de descarga del vertedero con respecto a un la longitud de vertedero de cresta recta. (Figura IV.1)

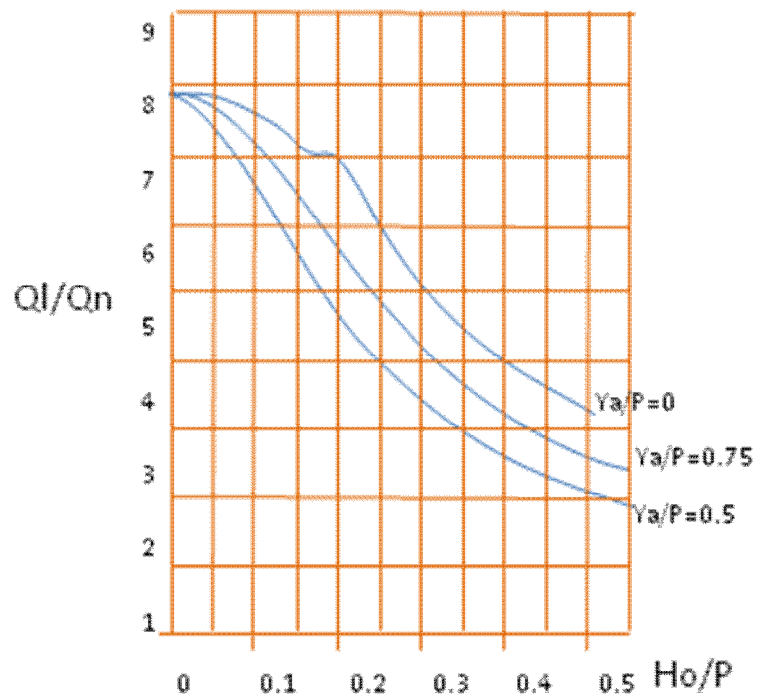


Figura IV.1. Grafica de los coeficientes de descarga para el valor de  $Ya$ . Taylor y Hay (1970)

#### 1.4 Ángulo Entre paredes del Vertedero

Tullis (1994) desarrollo una serie de montajes para determinar el ángulo que se produce entre las paredes del laberinto de un vertedero de tipo trapezoidal, donde arrojo como resultado una grafica para los diferentes valores sometidos a experimentación. Esta grafica expresa valores para el ángulo desde 6° hasta 90° que equivale a un vertedero de cresta viva y una de sus indicaciones es el uso de un valor de 8° siendo este el valor para el cual se obtiene el mejor coeficiente de descarga

Taylor (1968) por su parte también estudio el ángulo ( $\alpha$ ) entre paredes del vertedero, para las modalidades Trapezoidales y Triangulares. Este autor presentó sus conclusiones en graficas trazadas por el coeficiente de tipo adimensional  $Ql/Qn$  en función del coeficiente  $H_o/P$ . Pero la información señalada en sus conclusiones se muestran incompletas, descartando información valiosa por lo que disminuye lo confiable de la utilización de sus señalamientos que solo destaca que un optimo funcionamiento esta dado por la utilización de un rango de 9,5° hasta el valor de 7° para este ángulo.

A raíz de que se observa una deficiencia en las conclusiones de las investigaciones de Taylor, se recurre a las graficas de Tullis para estimar mejores valores de diseño que se pueda implementar para este parámetro. (figura IV.2).

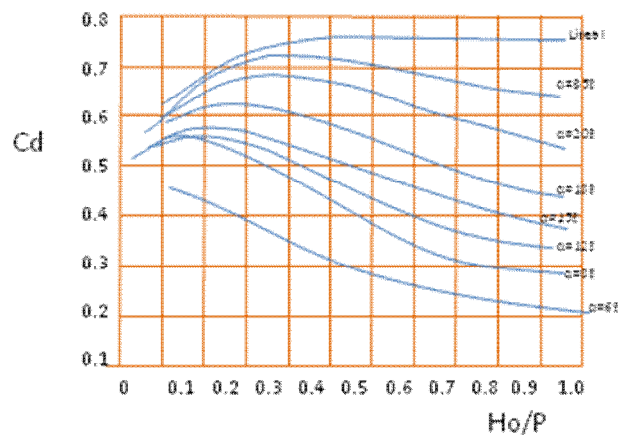


Figura IV.2. Grafica de los coeficientes de descarga para el valor del ángulo  $\alpha$ . Tullis (1995)

También Falvey indica una formula para el calculo del ángulo entre la pared del vertedero la cual esta dada por:

$$\alpha = \tan^{-1}((W-4.a)/2p) \quad (11)$$

### 1.5 **Ápice**

La ecuación mas completa para el calculo del ápice esta deducida por Falvey (2002) quien de sus investigaciones indica que el valor mas bajo el cual ocurre la interferencia de la descarga en un vertedero trapezoidal esta dada por

$$a = \arcsen((w-4 \alpha) / (L-4 \alpha)) \quad (12)$$

Muchos de los autores consultados desarrollaron métodos de cálculo muy complicados o recurrieron a interpolaciones de los resultados de sus investigaciones. Tullis (1995) indica que el calculo de la longitud del ápice viene dado por un coeficiente expresado entre la longitud de su ciclo y su propia longitud. El valor mínimo que puede contemplar esta dado por la ecuación

$$a/Le > 0,08. \quad (13)$$

### 1.6 **Longitud de la pared de Vertedero.**

La longitud de la pared de vertedero resulta de la ecuación desarrollada por Falvey (2002), quien indico lo siguiente

$$B = (L - 2(2a))/2. \quad (14)$$

Se puede señalar que la longitud del ciclo esta dada por la suma de las longitudes de los ápices y las paredes del vertedero, por que al obtener cualquiera de estas por los métodos indicados, se puede obtener la longitud del elemento complementario por el despeje de la formula.

### 1.7 **Perfil de cresta**

Como se ha mostrado el perfil de cresta de la pared del vertedero solo se requiere que se adapte a las líneas de corriente del fluido descargado. Se ha citado

previamente los tipos de perfiles posibles de implementar en el modelo sometido a experimentación. La utilización de este acabado se ha determinado por ensayos de perfiles, y no a un cálculo determinado.

También que hay que tomar en cuenta que el perfil implementado tiene por objetivo facilitar la descarga del fluido, pero este podrían tener efectos en la lamina de la descarga, como por ejemplo la cavitación y la oscilación del flujo. Se destacan dos perfiles comúnmente usados en el diseño tanto en prototipos como modelos experimentales.

Estos tipos son los denominados por sus términos en ingles Quarter-Round (cuarto-de-circulo) y Half-Round (medio-circulo), El perfil Quarter-Round es un perfil que facilita una descarga libre con propósitos de evitar el efecto de la cavitación y la oscilación de la lámina de la descarga, facilitando la acción de la aeración del flujo. El segundo, casi cumple las mismas funciones de descarga, pero es totalmente contrario en los efectos de la descarga antes citados, sin embargo es un prototipo muy usado. Es de destacarse que la intención del diseño es evitar la cavitación y la oscilación de la lámina del flujo, así como facilitar el mecanismo de aeración.

Tullis (1996) recomienda que no deba usarse el perfil desarrollado por Magalhaes y Lorena (1989), dado que puede generar coeficientes de descarga muy irregulares y altos valores de profundidad sobre la cresta de la pared del vertedero. Este autor también indica que los requerimientos constructivos de implementar un perfil de cresta con un diseño complejo. La mayor parte de sus desarrollos experimentales se realizaron implementando el Quarter-Round como perfil de cresta, lo que hace indicar que este es el óptimo para el modelo.

## **1.8 Paredes del vertedero.**

Para el calculo de la altura “P” de la pared de Vertedero, se toma el calculo de recomendaciones de Falvey (2002) y Tullis (2001), donde establece como criterio constructivo un valor mínimo de altura de pared de vertedero de 8 centímetros (Falvey cita 10 centímetros), sin relación o especificación de escala

alguna utilizada. Se debe tomar la consideración de Tullis debido a que esta ha sido mayormente sometida a experimentaciones, y por ser la que utilizando una escoda adecuada arroja dimensiones mas cercanas a los desarrollos actuales. En prototipos esta altura atiende el valor de cota que por calculo se le da a la cresta del vertedero

### **1.9 Condiciones de Aproximación y posición del vertedero**

La aproximación en el modelo experimental es uno de los dos propósitos de de estudios, en los cuales se realizara variaciones de la ubicación de la estructura de conducción con respecto al vertedero. Se toma una nota del trabajo de Tullis (1996) que destaca que es necesario en modelos experimentales desarrollar una aproximación simétrica. Se basó en estudios de Houston (1983) para el diseño de la estructura del canal de aproximación. Este autor realizo importantes estudios con respecto a las variantes de la aproximación del flujo, rompiendo los esquemas al ubicar la estructura del vertedero completamente dentro del reservorio. Introducir la extensión de todos los ciclos del laberinto dentro del reservorio para realizar observaciones en la descarga fue su iniciativa, pero Houston no expresa resultados gráficos al respecto.

La posición del vertedero guarda una relación en el canal de alivio la cual desarrolla los ciclos aguas arriba o hacia aguas abajo. Falvey indica que la ubicación del vertedero dentro un canal de alivio puede ser en posición normal o en posición invertida. El vertido en la posición normal se da hacia la pared y en la posición inversa se da desde la pared, y para cuando el vertido es desde la pared existe una fricción producida por esta estructura y el flujo. Entre estas dos la mayor diferencia que se puede dar es la del vertido lateral desde la pared de canal o hacia la pared de canal. Ambas ocurren de una manera simétrica con respecto a los ejes de los ciclos. A estos efectos Falvey cita el porcentaje que puede establecerse entre el vertido normal y el vertido invertido. (Figura IV.3)

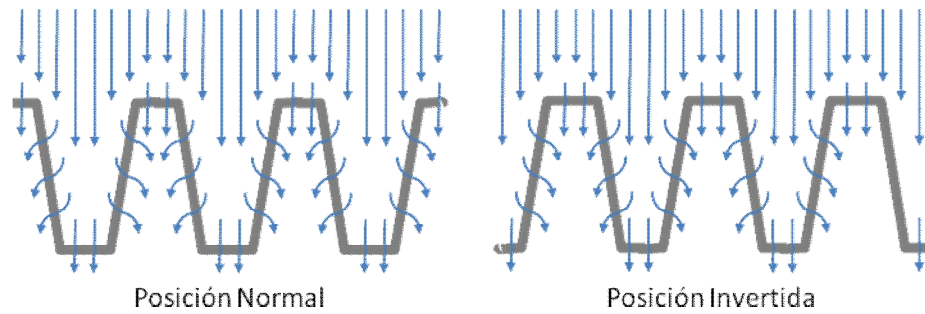


Figura IV.3. Posición normal e invertida del laberinto.

Falvey considera que utilizando una posición del vertedero hacia la pared de canal de alivio, la descarga es un 9 % mayor que la observada en una posición invertida. Este incremento ocurre directamente proporcional al área de la superficie de contacto entre fluido y pared en el caso de que la descarga ocurra desde la pared.

Solo las consideraciones de Falvey se limitan en afirmar que la descarga producida por el laberinto dentro del embalse es 20 % mayor que la producida por la misma estructura dentro de un canal de alivio, para este mecanismo estructural en posición normal. El vertedero debió estar diseñado en posición invertida para poder proyectarlo dentro del reservorio, lo que impide colocar el vertedero en posición normal.

Se indica que se debe implementar un acabado curvo de las paredes del canal de aproximación para la conducción del fluido sin turbulencia al vertedero, la cual debe poseer un radio de curvatura de magnitud tal que no ocurra la separación de la capa límite. Este sería determinado por métodos computacionales, para lograr un correcto ajuste de las líneas de corriente a la pared de la aproximación cuando entre en el tramo del canal. (Figura IV.4),



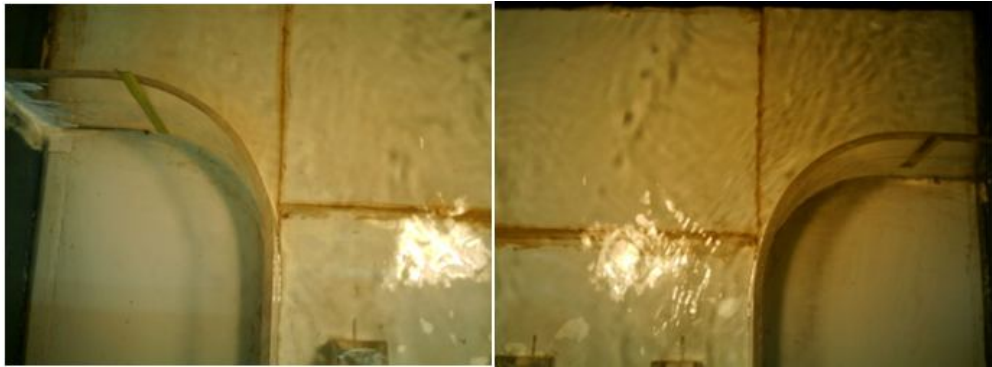


Figura IV.4. Estructura de Aproximación.

### **1.9.1 La Variación de la aproximación con respecto a la investigación.**

Se puede decir que todas estas indicaciones para la aproximación son condiciones que se consideran para el diseño, y que pueden generar variaciones sobre el coeficiente de descarga. Pueden construirse graficas para mostrar las tendencias y comportamiento de esta con respecto al coeficiente de descarga, ubicando en este punto este punto la justificación de este trabajo de grado.

Los efectos de las aproximaciones al incrementarse el coeficiente de descarga cuando este se adentra en el reservorio no han sido catalogadas numéricamente, y lo que se conoce es la referencia analítica de la experiencia de Houston.

La implementación en el montaje de varios valores de longitud de canal de aproximación, debe realizarse manteniendo condiciones de conducción del flujo similares. Para la elección de las longitudes a implementar en el vertedero se toma valores arbitrarios, dado que no hay indicaciones para el desarrollo de estas dimensiones. Houston en su material sobre el tema no indica el procedimiento experimental ni realiza descripción del modelo, en el cual se baso su conclusión.

La colocación del vertedero totalmente dentro del reservorio, debe realizarse para comparar sus resultados con las demás configuraciones con aproximación.

La aproximación muchas veces se ve requerida por diseños que atienden a criterios de posición y variantes topográficas. No existen especificaciones para elaborar las formas de aproximación, y he aquí donde surge el criterio de la utilización modelos hidráulicos experimentales para diseños de prototipos.

### **1.10 La canaleta de salida y canal rápido**

Las dimensiones de la canaleta de salida se obtiene de las dimensiones dadas a el ciclo de vertedero. Las paredes y el ápice, son los elementos que se encuentran alrededor de la canaleta de salida. Todas las canaletas descargan en conjunto a un canal, cuyo ancho debe abarcar el ancho del vertedero.

La canaleta de descarga debe poseer un pendiente, para desalojar del vertedero el caudal descargado y la cual es igual para todas las canaletas de vertedero. Para la determinación de esta pendiente Taylor desarrollo conclusiones numéricas que presentan indicaciones para pocas configuraciones de pendiente. Las experiencias de este autor fueron realizadas para investigar otra suceso en los aliviaderos de laberinto y no para optimizar el funcionamiento de la pendiente de canaleta de salida.

Esta investigación esta concebida para realizar variaciones en el modelo de la pendiente de la canaleta de salida, alterando el inicio de esta estructura. En muchas investigaciones citadas la pendiente de la canaleta es indicada por el punto de inicio de la canaleta. Es de destacar que el punto de término de este elemento tiene una ubicación fija y limita con el borde aguas arriba del canal.

Taylor expresó para los gráficos obtenidos el coeficiente  $Y_a/P$ , donde  $Y_a$  es la longitud medida entre el lecho de la aproximación y el punto de inicio de la canaleta. Es por eso que la designación para esta característica es la de punto de inicio de la canaleta de salida en sustitución de la designación de pendiente, para conclusiones numéricas e indicaciones.

Se plantea completar los valores utilizados por Taylor, pues en los trabajos de este autor se utilizó pocos valores para el inicio del punto de inicio de la canaleta de salida, sin especificar las razones. Es de destacar que se utilice un valor de Ya utilizado por Taylor para manera una referencia de resultados obtenidos. La idea de este punto es la de realizar comparaciones entre los resultados experimentales de este autor y el generado por este desarrollo. Hay que tener en cuenta que los términos en los cuales están expresadas las graficas de Taylor difieren de las de los términos utilizados por Tullis, términos en los cuales se va a expresar los resultados de estas graficas.

### **1.11 Interferencia de la descarga**

La interferencia de la descarga es un inconveniente que tiende a afectar negativamente el comportamiento de la descarga, ocurre en las esquinas que crean ápices y paredes del vertedero. Y por lo tanto influye en el cálculo de estos elementos. Entonces el dimensionamiento de las paredes y el ápice del vertedero se realizan para limitar los efectos de la interferencia. Falvey cita un trabajo de Indlekofer y Rouve (1975) donde se plantea una ecuación para la determinación de este efecto.

$$\frac{L_D}{H_o} = 0.98 \quad (15)$$

## **2 Acerca de los Resultados Experimentales.**

Los resultados experimentales obtenidos en el modelo de aliviadero de laberintos va descrito por coeficientes de descarga. Además de estos, existen unos coeficientes descriptivos como  $L/W$ , donde el valor de  $L$  es la longitud del vertedero, medido por la cresta y  $W$  es el ancho de vertedero. Otro de estas relaciones es la dada por  $W/P$ , donde “ $P$ ” es la altura total del vertedero. El coeficiente que describe la descarga es el dado por  $H_o/P$ , donde “ $H_o$ ” es la carga de agua sobre el borde del vertedero. Este último coeficiente destaca en importancia, por que es muy usado en conclusiones graficas en las que se extrajo

parámetros de diseño usados en el modelo. Tullis un investigador en cuyos estudios de basó muchos parámetros de este presente trabajo, uso el coeficiente  $H_o/P$ . Otros investigadores han trabajado con otros coeficientes. La altura sobre el vertedero ( $H_o$ ) es el valor más utilizado en la construcción de graficas para expresar resultados experimentales independientemente del coeficiente de descarga.

## 2.1 Coeficiente de descarga.

Es un coeficiente adimensional que implica, características del vertedero y la magnitud del caudal. Muchos autores han considerado el desarrollo de su propia ecuación de coeficiente de descarga, pero de la misma manera han señalado inconvenientes en las resultados obtenidos, al realizar comparaciones entre obtenidos en montajes experimentales y los medidos en el prototipo.

Tullis (1995) utiliza una ecuación de coeficiente de descarga muy citada por algunos investigadores, como por ejemplo Falvey (2003). La ecuación se basa en elementos del vertedero y del flujo descargado, la carga hidráulica (altura  $H$ ).

$$Q_L = C_d \cdot L \cdot \frac{2}{3} \sqrt{2 \cdot g} \cdot H^{\frac{3}{2}} \quad (16)$$

### 2.1.1 Errores de cálculo

El coeficiente de descarga puede ser determinado por diversas formulas, pero la mas relevante, por indicaciones de estudios previos es la desarrollada por Tullis. Con esta ecuación se establece que el coeficiente de descarga es una función del vertedero y de los valores de  $H_o$  medida en la descarga.

La divergencia que puede surgir entre los datos obtenidos y reales usualmente indica que se podría encontrar en un orden del 2% para los valores de descarga. La longitud efectiva o total del vertedero podría estar subestimada por un porcentaje del orden +/- 0,2 %. La descarga  $H_o$  podría estar en un rango de medición errónea del orden general +/- 0,3 mm, a lo que se le agregaría un

porcentaje por el instrumento de medición utilizado, la posible alteración originada por alguna vibración y otras características que posibilitarían la presencia de errores.

Se puede destacar que aunque los errores en las dimensiones del vertedero podrían ser constantes a lo largo de todo el estudio, los errores en la descarga son variables, y se pueden incrementar al aumentarse el nivel del flujo. A esta serie de posibles errores se desarrolló una tabla de factores de corrección para el coeficiente de descarga.

## **2.2 Rango de Carga Hidráulica**

Tullis (1996) señala para esta ecuación, hay un rango donde la ecuación es válida, indicando que para los valores de  $H_o/P \leq 0,9$  la ecuación describe un vertedero de laberinto. Para los valores de  $H_o/P$  mayores 0,9, estaría comprendido el proceso de magnificación de la descarga descrito por Tullis y que el comportamiento del vertedero sería vertedero de cresta recta que a una del tipo de laberinto.

Tullis desarrolló modelos experimentales con coeficientes de descarga con magnitudes por encima de 0,9. El autor señala que para valores de coeficiente de descarga mayores a 0,75 las condiciones de comportamiento del modelo o del aliviadero, pasan a una transición como si se tratase de un vertedero de cresta recta. A valores de carga hidráulica superiores a  $H_o/P$  mayores a 1, este autor llega a señalar que la estructura deja de comportarse como un vertedero de laberinto y comenzaría a comportarse como un aliviadero de cresta viva.

También señala que la descarga de flujo sería de una gran caudal para la capacidad del aliviadero y el laberinto se convertiría en tan solo un dispositivo causante de turbulencia en el canal rápido. Muchos autores señalan que los coeficientes de descarga están más orientados a desarrollar una función particular para cada montaje experimental.

Se debe tomar el uso de un valor máximo de  $H_o/P$  de 0,7; Ubicando en este valor el punto de carga hidráulica bajo el cual el vertedero deja de trabajar como un vertedero de laberinto y comienza a trabajar como un vertedero de cresta viva. Falvey ubica este valor máximo en  $H_o/P=0,8$ .

Otro autor, Taylor (1968) expone que un termino de descarga eficiente es aquel obtenido de un coeficiente entre el caudal producido por la descarga de un vertedero de laberinto y un de cresta viva, ambos con el mismo ancho de canal de alivio. Es decir el autor trabaja con el principio de obtener este parámetro partiendo de los caudales y no de la geometría de la estructura de laberinto.

### **2.3 Efectos producidos por la tensión superficial.**

En la construcción de un modelo hidráulico son importantes las similitudes dinámicas y estáticas. En un prototipo la acción de la tensión superficial es descartable (de hecho en muchos modelos se observa) debido a las dimensiones que este tiene pero en el caso de un modelo este inconveniente altera los resultados experimentales. Es un problema descrito a través del numero de Weber, este valor genera un coeficiente entre la inercia del flujo y las fuerzas generadas por la tensión superficial.

El efecto de la tensión superficial sobre el coeficiente de descarga de un vertedero de aliviadero laberinto puede ser determinado mediante una serie de tablas desarrolladas por Tullis (1995). Estos instrumentos implican la utilización de las características del vertedero, tales como la altura de pared del vertedero  $P$  y la profundidad de flujo medida en la descarga. En esta ecuación se puede ubicar el término de corrección por los efectos de la tensión superficial.

## **3 Descripción del modelo**

El modelo construido tiene dos elementos: el modelo experimental y el canal que ubica el modelo. También se incluye un arreglo de adaptación del

modelo al canal, mediante un tablero de soporte y aproximación de aguas, cuya finalidad es fijar ambos elementos.

Se contempló la construcción del modelo hidráulico en material acrílico, por su resistencia y requerimientos experimentales. Este material, de acuerdo con los objetivos y la naturaleza de este desarrollo, cumple con los propósitos de modificación y variación de su configuración física.

### 3.1 Ubicación del modelo

Todo el conjunto se colocó dentro de un estanque de paredes de vidrio unido a un canal, (figura IV.5) que descarga a un segundo estanque, el cual, a su vez, descarga a través de un vertedero en V. El vertedero en V, fue aprovechado en la parte experimental para medir el caudal circundante. Entre el estanque y el canal existe una transición, sobre la que se construyó un sistema de paredes, con el fin de aislar el estanque. Este sistema de aislamiento crea una especie de mesa, en la que se soporta el modelo. Un canal inclinado permite descargar el líquido proveniente del vertedero hasta el canal del estanque. El sistema de alimentación llena el espacio sobrante del estanque para proveer de flujo el modelo experimental.



Figura IV.5. Vista en Perfil del Canal y el estanque que contiene el modelo.

Entre el estanque y el canal, existe una transición, sobre la cual se va a construir un sistema de paredes, con el fin de aislar el estanque. Este sistema de aislamiento va a crear una especie de mesa, sobre la cual se soporta el modelo. Un canal inclinado va a descargar el líquido proveniente del vertedero hasta el canal del estanque. El sistema de alimentación del estanque llenara el espacio sobrante del canal y este a su vez alimentara el modelo experimental.

### 3.2 El Modelo de aliviadero de Laberinto

El modelo construido está formado por una serie de elementos diseñados para la realización de la experimentación: el vertedero, la aproximación y el canal de descarga. (Figura IV.6)

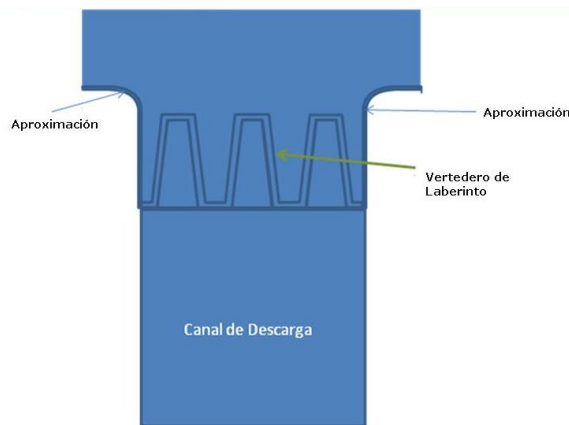


Figura IV.6. Vista en planta de los elementos del modelo.

El modelo hidráulico, como elemento principal, tiene un vertedero, que consta de una sucesión de ciclos o componentes iguales, y entre cada uno de estos ciclos están las canaletas de salida (Figura IV.7). Es de destacar que un ciclo es una secuencia simétrica de paredes dispuestas en planta, con cierto ángulo entre ellas, asemejando una onda trapezoidal.



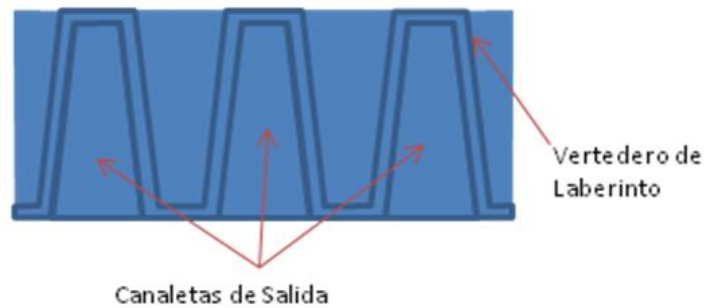


Figura IV.7. Vista en planta del vertedero de laberinto y las canaletas de salida.

El aliviadero es de tipo trapezoidal, con una altura de vertedero constante en toda su longitud de descarga. Las canaletas de salida varían de altura por el punto inicial, y se desmontaron y montaron de acuerdo con los requerimientos experimentales. Esta variación fue en función de uno de los objetivos planteados, por lo que la necesidad constructiva de variar su inclinación y configuración de la altura de su punto de inicio atiende a esta demanda.

La cantidad de ciclos utilizados fueron tres, cada uno con iguales características de dimensión y relaciones de simetría. La aproximación de vertedero consta de dos piezas de dimensiones iguales, que mantienen una relación simétrica entre sus partes y ubicaciones. Esta simetría en la aproximación se da con respecto al eje del vertedero de laberinto. Finalmente, el canal de descarga es un elemento cuyo ancho corresponde con el ancho del vertedero. Las dimensiones dadas al modelo son las siguientes (Figura IV.8).

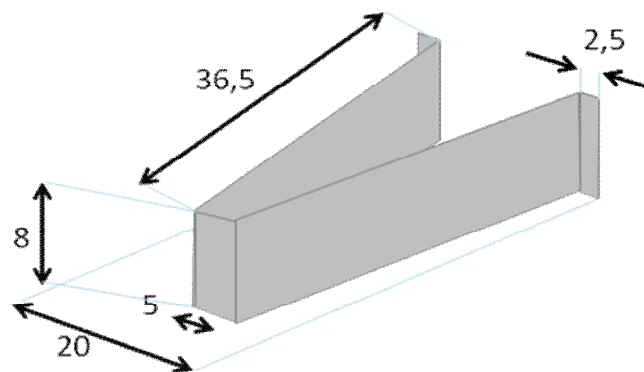


Figura IV.8. Vista de las dimensiones dadas a un ciclo de vertedero.

W=60 cm	b=36,5 cm
Wc= 20 cm	a=2,5 cm
n=3	$\alpha=8^\circ$
Lc=83 cm	P=8_cm

La longitud efectiva total es:  $LT= 249$  cm

La aproximación, construida con el mismo material acrílico, consta de dos paredes simétricas entre sí. Muestran un radio de curvatura que está determinado por métodos computacionales. Su extensión va desde el límite con la estructura de alivio hasta la pared del estanque. Como parte de los objetivos planteados relacionados con las observaciones sobre la influencia de diversas formas de aproximación, se consideró también variar la longitud del canal, conservando la parte curva. Las dimensiones dadas a la aproximación son las siguientes:

R=16,5 cm                  Altura de la aproximación:20 cm

Se estima que el vertedero estará fijo, sin modificaciones en su ubicación o en alguna de sus partes excepto por los componentes ya mencionados (aproximación y canaletas de descarga).

En el modelo experimental se recurrió a los desarrollos de Tullis (2002) (figura IV.2), quien expone que el ángulo de mejor comportamiento y desempeño entre los valores sometidos a experimentación es de  $8^\circ$ .

Para la determinación de las magnitudes de diseño del modelo, se consideraron las limitaciones de escala y dimensiones del canal a utilizar. Fueron importantes las limitantes de espacio, las recomendaciones constructivas experimentales, así como el material acrílico disponible y las dimensiones más críticas del modelo desarrollado. También se destaca la importancia del buen acabado de la superficie del material.

El ancho de canal, donde se instaló el modelo y sus componentes complementarios, posee medidas adaptadas a las dimensiones del estanque. Las dimensiones físicas del modelo deben adaptarse a las del canal.

La elección del material acrílico se realizó a partir de valores disponibles de espesores de fabricantes comerciales, que desarrollan sus productos bajo medidas estándares. El área de superficie del material utilizado no fue una limitante, por lo que la selección del material se realizó de acuerdo con el espesor. Se eligió el espesor de un (1) centímetro, para que el diseño estuviera acorde con las dimensiones dadas al modelo y con las sugerencias constructivas. Desarrollos experimentales previos disponibles señalan la utilización de este material con este espesor, con el fin de cumplir con la escala.

El ancho del estanque fue determinante en la selección del número de ciclos y el ancho del vertedero. Se implementaron dos ciclos adyacentes a la aproximación que poseen el efecto del vertido por el muro, para uno de sus costados. En consecuencia, se generó un ciclo que tiene a sus costados los otros dos ciclos, y su vertido es desde estos elementos.

La disposición de los ciclos es totalmente simétrica, y el eje principal del vertedero es el eje del ciclo central. Cada uno de estos ciclos posee un eje de simetría.

Las pendientes de salidas van a presentar cuatro variaciones (Figura IV.9), estos valores de  $Y_a$  son los siguientes:

$Y_a/P = 0,675$  para  $Y_a = 5$  cm

$Y_a/P = 0,5$  para  $Y_a = 4$  cm

$Y_a/P = 0,375$  para  $Y_a = 3$  cm

$Y_a/P = 0,25$  para  $Y_a = 2$  cm

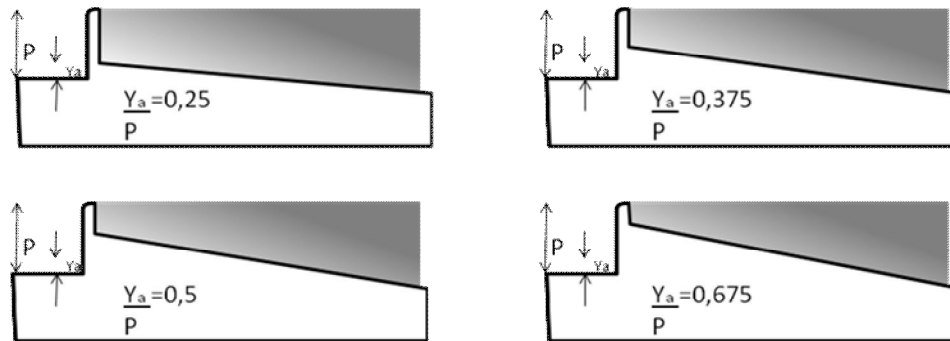


Figura IV.9 Vista de perfil las diferentes modalidades de canaleta de salida.

Las variaciones de la aproximación crearon diversas formas de vertido de agua a los dos ciclos laterales. Inicialmente, el vertido fue por el muro de la aproximación, pero conforme se modificó la aproximación, el vertido ocurrió en otro de los montajes, en una fase de aproximación-embalse. En otras dos configuraciones se vertió directamente del reservorio. El ciclo central, sin importar las modificaciones de la aproximación, siempre recibió vertido de los dos ciclos adyacentes. (Figura IV.10).

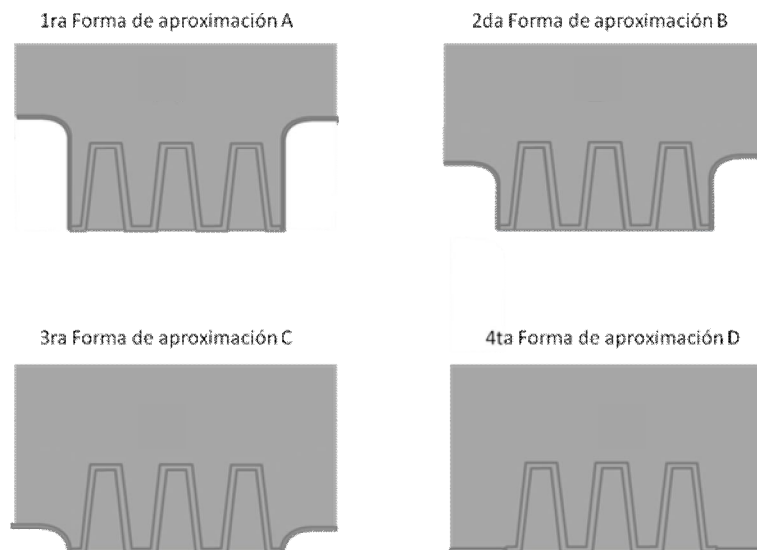


Figura IV.10. Vista en planta de las diferentes configuraciones de aproximación a ser ensayadas.

El borde superior de las paredes y ápices del vertedero, tienen un acabado particular, previamente definido como perfil de cresta y el diseño seleccionado es el tipo bajo la designación en inglés de Quarter-Round. La razón de selección, es debido a que Tullis llevo muchos desarrollos experimentales usando este perfil. (Figura IV.11)

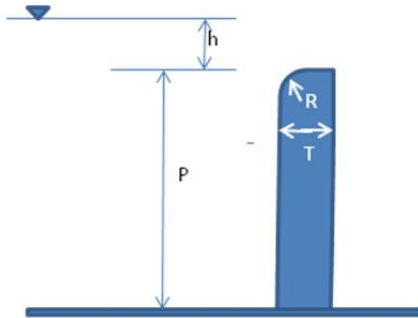


Figura IV.11. Vista en perfil del acabado Quarter-Round

Realmente la publicación de Tullis señala que el perfil de Quarter-Round, no precisamente es el de mejor desempeño, pero se inclina por el uso de este en modelos hidráulicos de aliviaderos de laberinto.

### 3.3 La aeración del flujo

La necesidad de suministrar aire al flujo en el momento de la descarga, deriva en la necesidad constructiva de implementar estructuras en el modelo para el suministro de aire a la lámina de la descarga, sin alterar la geometría del modelo. Este efecto contribuye a optimizar el coeficiente de descarga. Tullis (2004) plantea sugerencias bajo las cuales se puede producir el mecanismo de aeración de los modelos experimentales, y destaca no alterar la geometría del modelo por la aeración.

En el modelo desarrollado se creó una serie de conductos (figura IV.12) dentro de las paredes del vertedero, cuyas salidas se encuentran bajo la lámina de

la descarga. La ubicación de los conductos de salida se determinó bajo las premisas de sugerencias citadas: en el centro geométrico de la pared. Dado que la configuración de la canaleta de salida varía, el área geométrica de la pared adyacente a la descarga también cambia. Se consideró entonces la utilización del área más crítica, en referencia a la de menor área. La menor área de pared de vertedero de descarga se produce con la mayor pendiente de canaleta de salida.

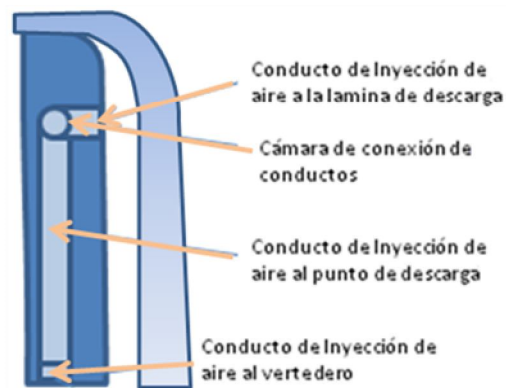


Figura IV.12. Vista del esquema del mecanismo de aeración.

Se establecieron tres orificios de salida por cada pared, y se alinearon en una formación paralela a la línea de pendiente promedio de las pendientes utilizadas para cada configuración de canaleta de salida. Estos se adentran hasta la mitad de la pared del vertedero, para conectar con un conducto ubicado en la parte inferior de las paredes. El conducto se conecta con una tubería flexible a la atmósfera, por debajo del canal lento que colecta el flujo de las canaletas. Este procedimiento se realizó en cada pared, siguiendo la misma formación y construcción física. (Figura IV.13),



Figura IV.13. Vista del esquema del mecanismo de aeración en una cara de la pared de vertedero.

El conducto en las paredes del vertedero es circular y tiene un espesor promedio de cuatro milímetros. El conducto colector ubicado en la parte inferior recorre casi toda la pared y el perfil transversal de este colector rectangular, que tiene cinco milímetros de ancho por seis de alto. Este, a su vez, se conecta con una tubería plástica flexible, que da a la atmósfera.

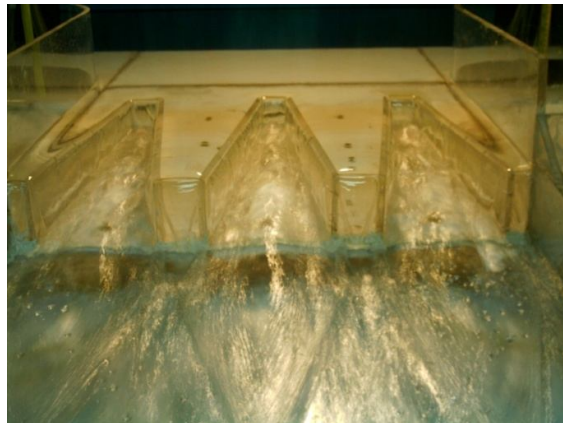


Figura IV.14. Vista general del modelo, con la aproximación, el vertedero y el canal rápido

Finalmente, aguas abajo del vertedero se encuentra el canal lento, que recoge las aguas provenientes de las tres canaletas de salida y las conduce hasta el canal propio del estanque. (Figura IV.14)

El canal está hecho del mismo material acrílico que el vertedero, y sus dimensiones son de sesenta centímetros de ancho y ciento doce centímetros de largo. Sus paredes laterales alcanzan once centímetros. Este canal tiene su sistema de soporte sobre el cual descansa.

#### **4 Método de Operación.**

En un modelo hidráulico, Falvey considera que este debe desarrollarse mediante tres fases de trabajo, la primera que es la colocación del flujo en el modelo, la segunda la estabilización del flujo y la tercera llevar el flujo a la descarga. Para el modelo la condición del reservorio se refiere al estanque de alimentación. En el modelo se va a utilizar un estanque de nivel constante para alimentar el estanque del canal que sostiene el modelo. La utilización de un estanque de nivel constante es mantener una carga hidráulica en el reservorio o estanque. Este señalamiento es importante dado que múltiples autores señalan la presencia de un nivel sin vaivenes en la superficie del reservorio para obtener unos resultados óptimos.

Tullis (2006) señala que de existir discordancia en resultados experimentales, estos pueden estar producidos por mediciones instantáneas de las profundidades de flujo en la descarga, que estarían variando a través del tiempo de una manera tan rápida que sería imperceptible para la medición. Este autor, al igual que Falvey señala la utilización de técnicas modernas de aplicación del suministro de caudal. También destacan la realización de múltiples mediciones para una misma variación del montaje experimental, con el fin de crear una serie de valores de los cuales se pueda obtener un promedio para la variable a determinar.



## **Capitulo V**

### **Ensayos y Resultados**

## 1 Validación de los resultados obtenidos

El modelo debe cumplir con unos términos descriptivos del flujo para validar los resultados experimentales, estos deben atender las posibles desviaciones causadas por la tensión superficial y la fricción. La tensión superficial es descrita por un parámetro adimensional llamado número de Weber y el alcance de este efecto incide sobre las mediciones de la carga hidráulica. Esta dado por la formula

$$w = \frac{V}{\sqrt{\frac{\sigma}{\rho h}}} = \frac{2}{3} \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot C_d}{\frac{\sigma}{\rho}} \quad (17)$$

En donde “V” es la velocidad del fluido, “σ” la tensión superficial interfacial (0,0727 N/m), “ρ” la densidad del agua, “g” la aceleración de la gravedad, “h” la carga hidráulica y Cd el coeficiente de descarga. Ver resultados del número de Weber en el modelo en apéndice 4.

La fricción entre las partes del vertedero y el flujo, también afecta las mediciones realizadas al vertedero. El cálculo del coeficiente de fricción también implica revisar el número de Reynolds. El cálculo del coeficiente de fricción y el número de Reynolds deben indicar que el régimen del flujo se encuentre en laminar. Debido a las características del material usado cuya rugosidad esta acorde con la usada para modelos de prototipo, se descarta este calculo, para la simplificación de la operación.

### 1.1 Mediciones

#### • Caudales

Los caudales fueron determinados haciendo uso de un Vertedero en forma de V, comúnmente llamado triangular simétrico. Dicho vertedero esta construido con material metálico y tendrá una ubicación aguas abajo del lugar del modelo. Esta colocado en un estanque particular según la configuración del canal de paredes de vidrio, para que no se comporte como un punto de control. Su apertura angular es de 90°.

En dicho estanque también se colocará, un filtro hecho de piedra triturada, con el fin de que el flujo de acercamiento al vertedero esté libre de perturbaciones.

La máxima cota permisible sobre la cresta es de 0.30 mts. La fórmula para vertederos en v a través de un vertedero triangular simétrico de contracción es la siguiente:

$$Q = (8/15) * C_g \sqrt{2g} * \operatorname{tg}(a/2) * h^{5/2} * L \quad (18)$$

En esta fórmula, "Cg" es llamado coeficiente de gasto o descarga; "L" es el ancho del vertedero en mts.; "g" es la aceleración de la gravedad en mts/seg ; "h" es la cota sobre la cresta del vertedero en mts. "a" es el ángulo de la apertura del triángulo.

El vertedero en V, fue calibrado mediante el trazado de una curva de correspondencia de las velocidades medidas en el estanque del vertedero en V y las velocidades teóricas derivadas de la formula (Figura V.1). La medición de velocidades reales se realizara por medios electrónicos. (ver apéndice 3)



Figura V.1 calibración del vertedero en V.

## 1.2 Mediciones en el modelo

### 1.2.1 Niveles

Para el registro de niveles fueron utilizados medidores de punta, que registran la altura de la superficie del flujo. La precisión del medidor de nivel es de 0,1 mm. El valor utilizado como cota inicial es el lecho de la aproximación, el cual se le asigna el valor de 0.

### 1.2.2 Presiones

Las presiones fueron determinadas usando piezómetros, ubicados en el lecho

de las canaletas de aproximación y en las canaletas de salida. Estos piezómetros están constituidos por orificios abiertos en el material de acrílico conectados a los tubos de medición mediante tuberías de plástico transparente. Los piezómetros fueron construidos utilizando diversos materiales desde cable de sonda plástica hasta pitillos. El radio interno de los elementos utilizados para la construcción de los piezómetros están en un rango de radio de 0,6 hasta 1,2 cm. Los piezómetros se conectaran a un escala graduada, para la lectura de valores. La grafica ilustra la ubicación de cada piezómetro. (Figura V.2).

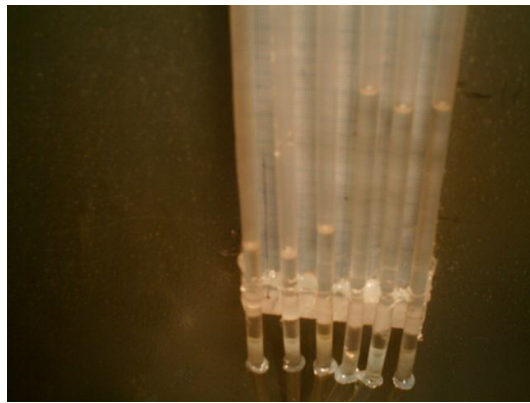


Figura V.2 Piezómetros.

## 2 Ubicación

Para llevar a cabo esta investigación, se hizo uso de las instalaciones del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Central de Venezuela, específicamente el canal de paredes de vidrio. Este canal se alimenta del tanque de nivel constante disponible en la nave de ensayos generales de la referida institución. Para la realización de esta investigación no fue necesaria modificación alguna en su estructura, pero si la colocación de elementos auxiliares. De hecho tiene incorporado el vertedero en "V" para la medición de caudales, sin la necesidad de incorporar elementos adicionales para esta actividad.

El proyecto señalado requirió el empleo de las siguientes instalaciones:

- Canal de paredes de vidrio.
- Estanque de nivel constante, para obtener el flujo libre de oscilaciones.

- Sistema de alimentación del estanque elevado, el cual posee tuberías y válvulas desde la bomba actualmente disponible.

Para la realización de las mediciones en el modelo se realizó:

- Construcción del modelo y su instalación en sitio.
- Instalación del sistema auxiliar para conducir las aguas a la aproximación del modelo,

- Instalación del canal recolector de las canaletas de descarga, el cual va a disponer estas aguas en el canal de paredes de vidrio.

- Calibración del Vertedero en V, aguas abajo. (ver apéndice 3)

El modelo, la estructura de aproximación y el canal de disposición fueron contruidos en material de acrílico.

### **3 Actividades en el modelo**

- Ensayo de las diferentes modalidades físicas, según las configuraciones planteadas en cuanto a las pendientes de las canaletas de descarga y aproximaciones.

- Lectura y mediciones de los valores de la carga hidráulica medidos en el punto donde se presenta régimen uniforme. En algunas mediciones se toma el valor de la carga hidráulica en el borde del vertedero mas adyacente a la aproximación. En algunas mediciones se toma el valor de la altura de agua con el medidor de punta. Para cada lectura se realiza la correspondiente lectura del caudal circundante.

- Lectura y mediciones de los valores de las alturas piezométricas de todos los piezómetros. Para cada lectura se realiza la correspondiente lectura del caudal circundante.

- Descripción de las condiciones del régimen aguas abajo del vertedero, en las canaletas de salida

- Descripción de efectos producidos la longitud de muros de la aproximación en el vertido y en las canaletas de descarga.

- Descripción de los diferentes comportamientos hidráulicos de la descarga,

por lectura de las profundidades, para las diferentes modalidades a ensayar.

#### **4 Resultados experimentales**

De las experiencias realizadas se obtiene una serie de datos numéricos que se expresa en una curva graficada de coeficiente de descarga en función de  $H_o/P$ . Los datos obtenidos de carga hidráulica y sus correspondientes caudales serán procesados mediante una ecuación en función del caudal, desarrollada por Tullis. Los valores a utilizar de caudales serán los obtenidos de la calibración mediante el Flow Tracker, para lo cual se desarrollo una ecuación corregida de la ecuación 18. (Apéndice 3). Se obtiene una grafica de coeficiente para cada modalidad ensayada, por lo que se obtiene quince graficas, en lugar de dieciséis debido a errores en la medición de una configuración. Las curvas se agrupan en graficas según su valor de pendiente de canaleta de descarga, con las diversas modificaciones al mecanismo de la aproximación.

##### **4.1 Grafica de coeficientes de descarga en función a las formas de aproximación**

Se citan las graficas en función a las formas de la aproximación para el coeficiente  $Y_a/P$ .

#### 4.1.1 Grafica de coeficientes de descarga en función a las formas de aproximación para la relación $Y_a/P = 0,625$ . (Figura V.3).

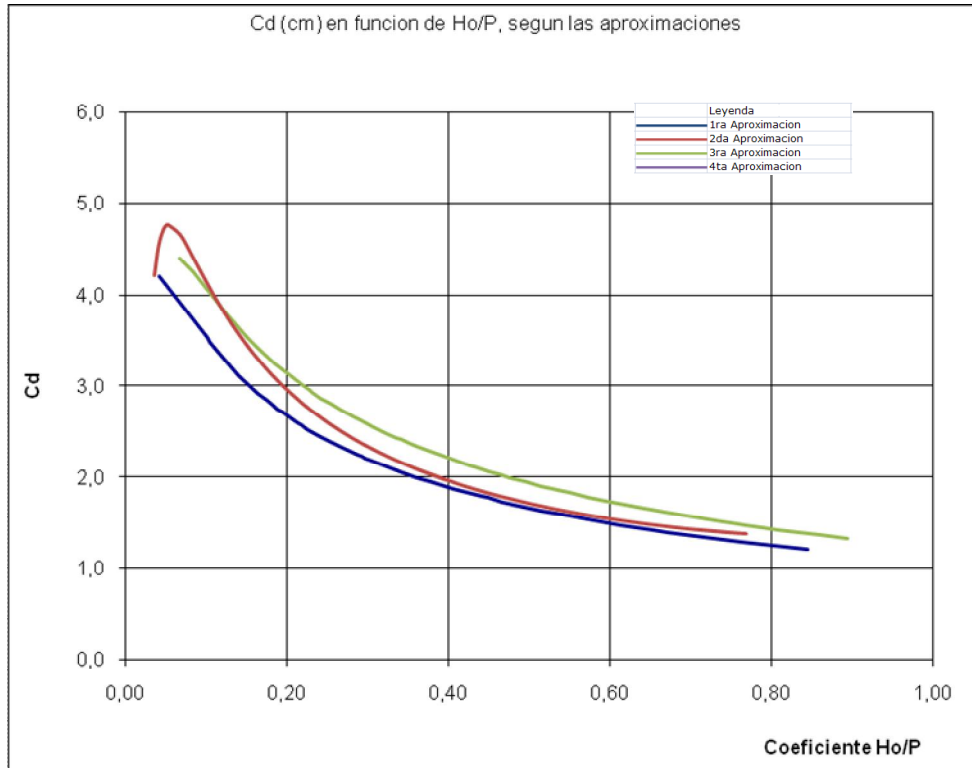


Figura V.3 Grafica de coeficientes de descarga en función a las formas de aproximación para la relación  $Y_a/P = 0.625$ .

En esta grafica los coeficientes de descarga de la cuarta aproximación fueron eliminados debido a errores en la medición.

Por lo tanto los valores en la presente grafica incluyen curvas para la primera forma de aproximación, la segunda forma de aproximación y la tercera forma de aproximación.

**4.1.2 Grafica de coeficientes de descarga en función a las formas de aproximación para la relación  $Y_a/P = 0,5$ . (Figura V.4).**

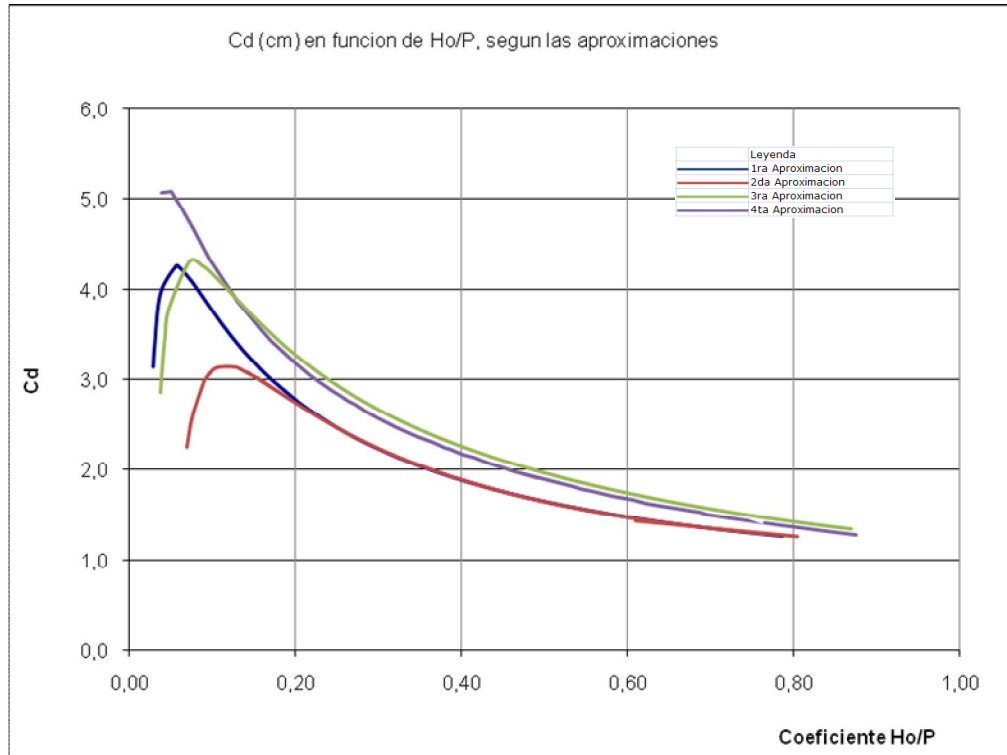


Figura V.4 Grafica de coeficientes de descarga en función a las formas de aproximación para la relación  $Y_a/P = 0.50$ .



### 4.1.3 Grafica de coeficientes de descarga en función a las formas de aproximación para la relación $Y_a/P = 0,375$ . (Figura V.5).

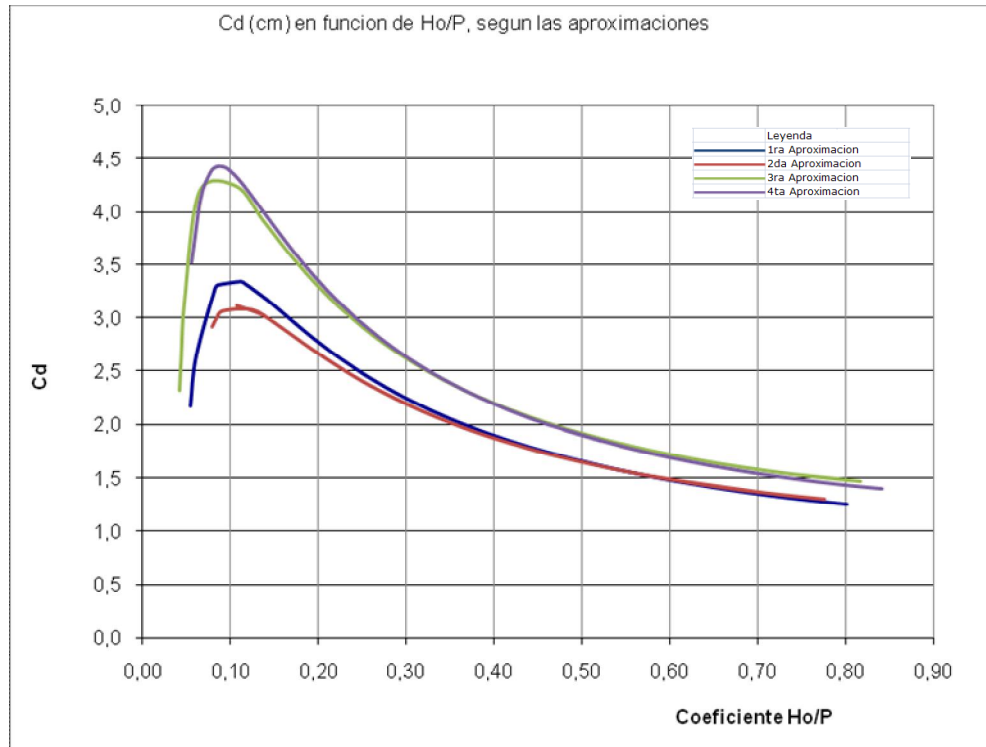


Figura V.5 Grafica de coeficientes de descarga en función a las formas de aproximación para la relación  $Y_a/P = 0,375$ .

**4.1.4 Grafica de coeficientes de descarga en función a las formas de aproximación para la relación  $Y_a/P = 0,25$ . (Figura V.6).**

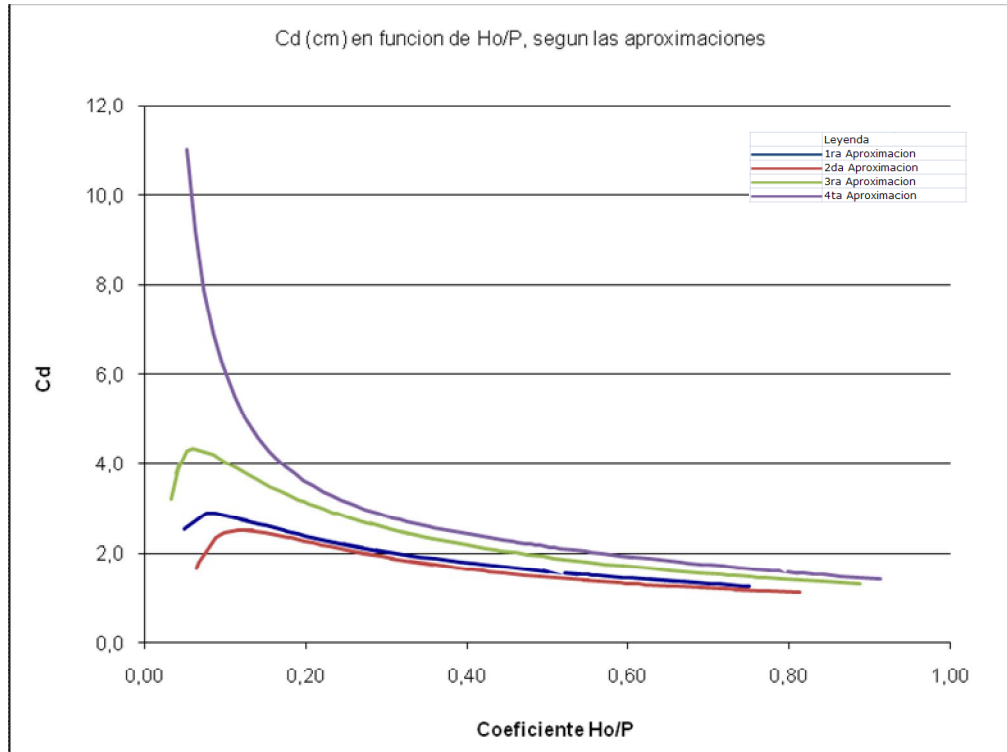


Figura V.6 Grafica de coeficientes de descarga en función a las formas de aproximación para la relación  $Y_a/P = 0.25$ .

## 4.2 Grafica de coeficientes de descarga en función a las relaciones $Y_a/P$ .

Se citan las graficas en función a  $Y_a/P$  para las diferentes formas de la aproximación.

### 4.2.1 Grafica de coeficientes de descarga en función a las relaciones $Y_a/P$ para la primera aproximación. (Figura V.7).

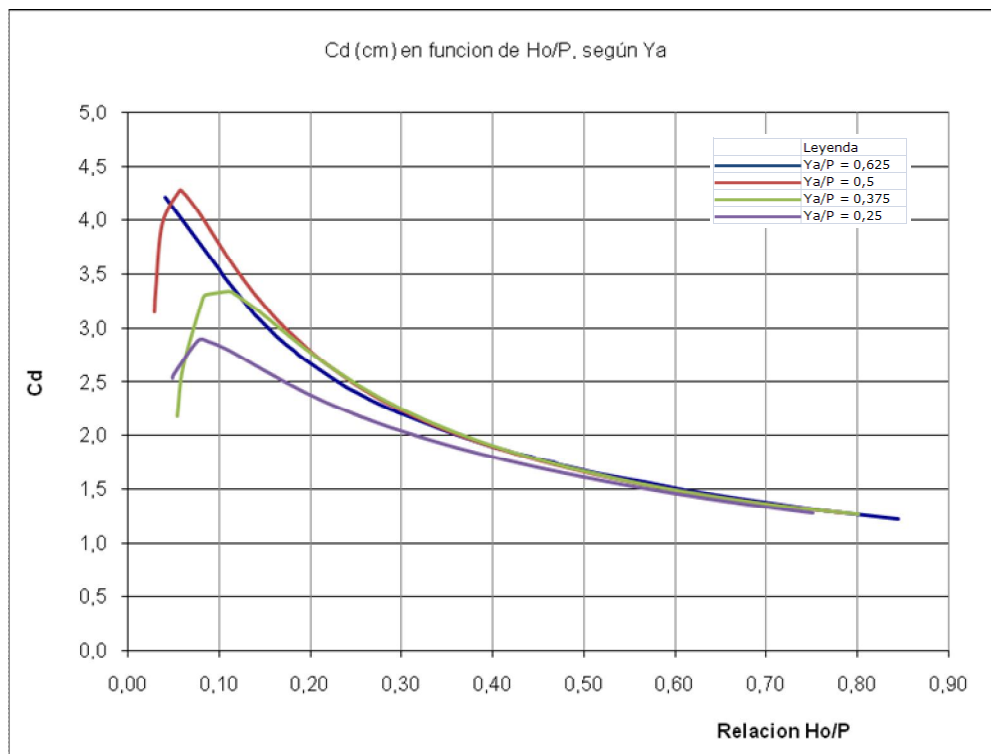


Figura V.7 Grafica de coeficientes de descarga en función a las relaciones  $Y_a/P$  para la primera aproximación.

**4.2.2 Grafica de coeficientes de descarga en función a las relaciones  $Y_a/P$  para la segunda aproximación. (Figura V.8).**

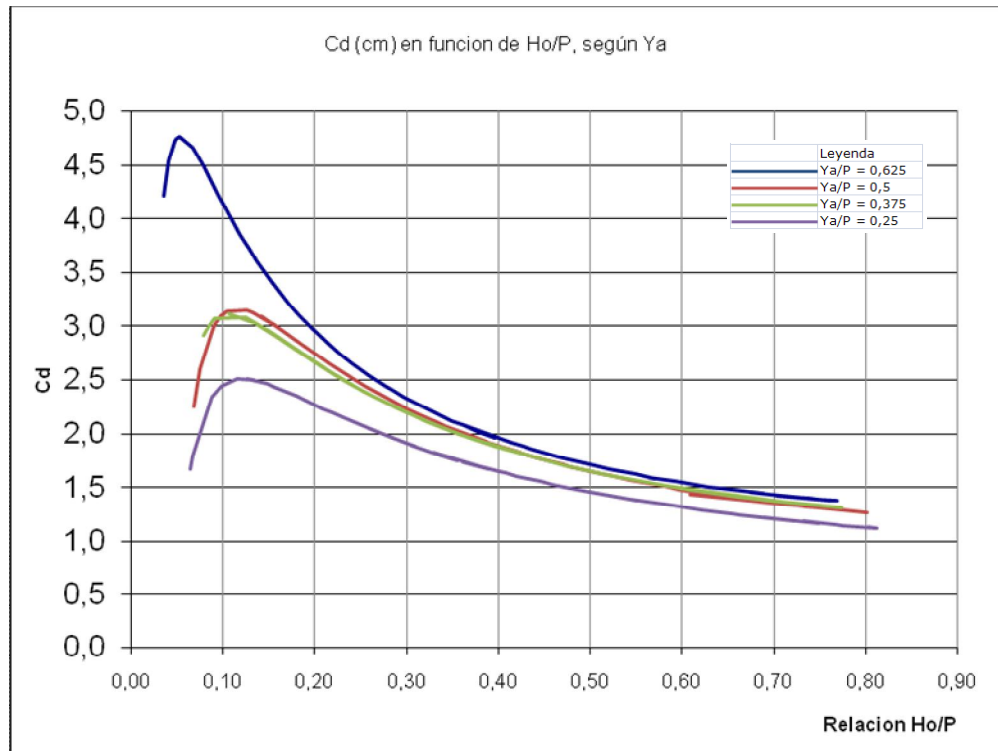


Figura V.8 Grafica de coeficientes de descarga en función a las relaciones  $Y_a/P$  para la segunda aproximación.

**4.2.3 Grafica de coeficientes de descarga en función a las relaciones  $Y_a/P$  para la tercera aproximación. (Figura V.9).**

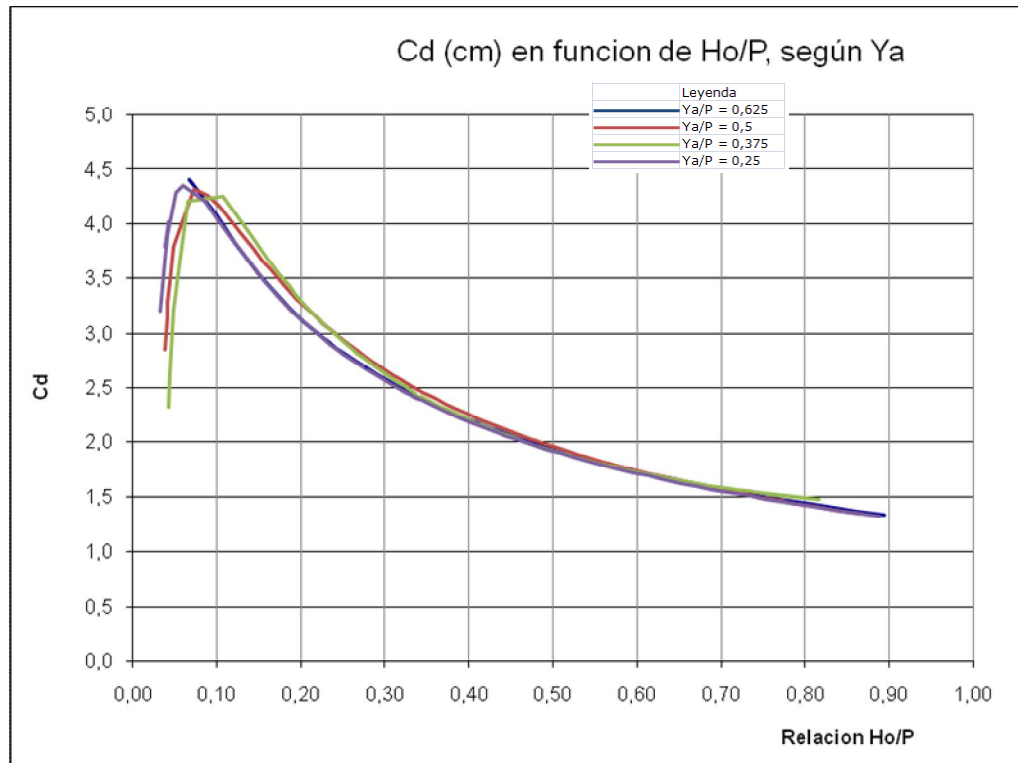


Figura V.9 Grafica de coeficientes de descarga en función a las relaciones  $Y_a/P$  para la tercera aproximación.

**4.2.4 Grafica de coeficientes de descarga en función a las relaciones  $Y_a/P$  para la cuarta aproximación. (Figura V.10).**

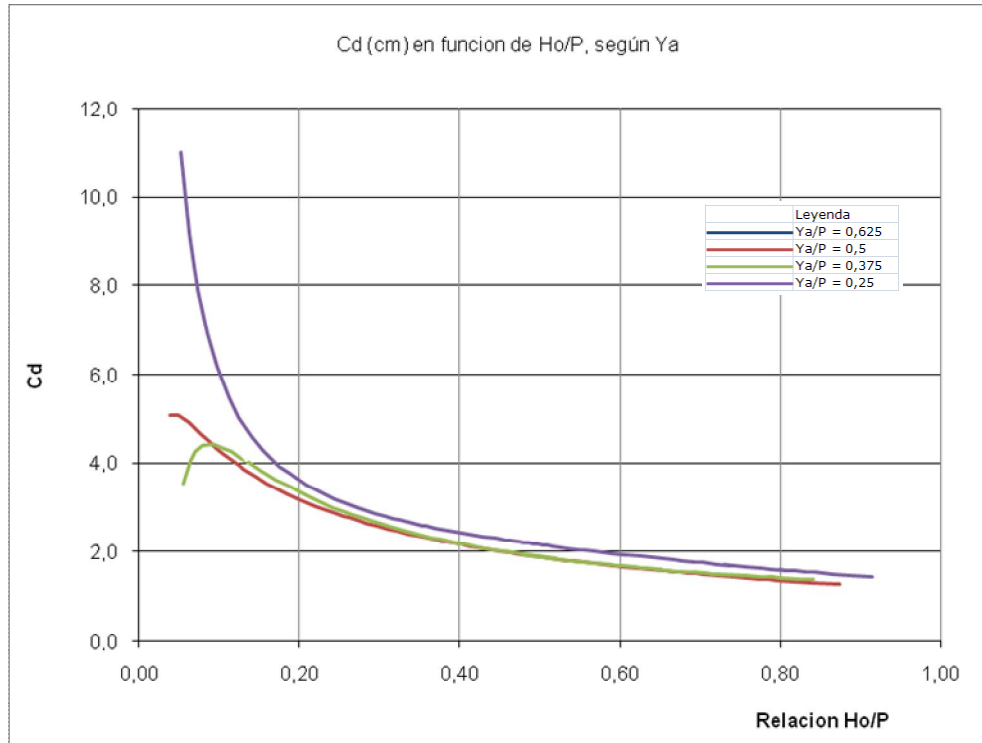


Figura V.10 Grafica de coeficientes de descarga en función a las relaciones  $Y_a/P$  para la cuarta aproximación.

En esta grafica los coeficientes de descarga de  $Y_a/P=0,625$  fueron eliminados

**5 Observaciones fotográficas a las modalidades sometidas a experimentación.**



Figura V.11. Descarga de los ápices aguas abajo



Figura V.12. Detalle de la aproximación y punto de medición



Figura V.13. Detalle de descarga a altos caudales



Figura V.14. Detalle de los bolsones de aire aguas arriba y en los ápices



Figura V.15. Descarga a altas cargas hidráulicas

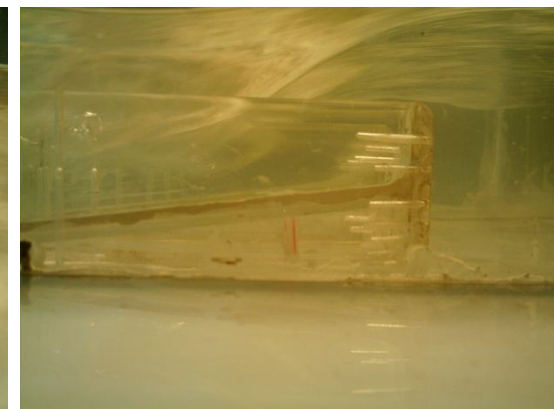


Figura V.16. Perfil de la descarga





Figura V.17. Perfil del vertido en la pared del canal

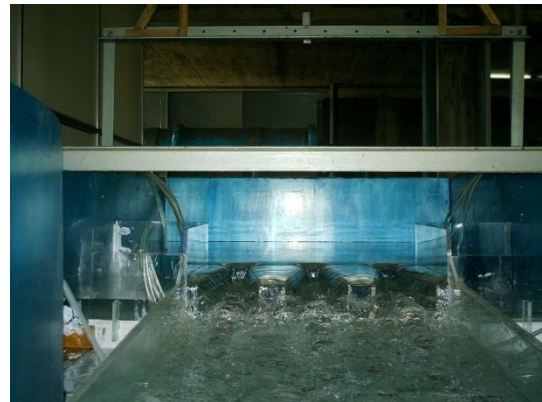


Figura V.18. Vista del modelo

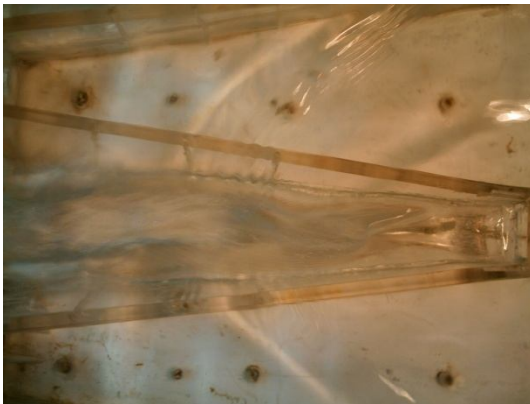


Figura V.19. Detalle del remanso diagonal.



Figura V.20. Vista del remanso diagonal y sugerencia del segmento aguas arriba de la canaleta de descarga



Figura V.21. Detalle del vertido del ápice.



Figura V.22. Detalle del vertido del ápice en varias direcciones





Figura V.23. Vista del flujo en el canal rápido de flujo con oleaje cruzado a flujo turbulento



Figura V.24. Detalle del remanso diagonal de flujo



Figura V.25. Vista del vertido asimétrico sobre un ciclo.



Figura V.26. Desbalance del vertido.



Figura V.27. Vertido de bajos caudales



Figura V.28. Detalle del remanso diagonal



Figura V.29. Detalle del vertido Turbulento del ápice    Figura V.30. Simetría del vertido y remanzos



Figura V.31. Asimetría del vertido en el ciclo derecho    Figura V.32. Remanso sobre el ciclo.



Figura V.33. Carga Hidráulica mayor sobre el ápice    Figura V.34. Bolsones de aire bajo la lamina.



Figura V.35. Carga Hidráulica mayor sobre el ápice

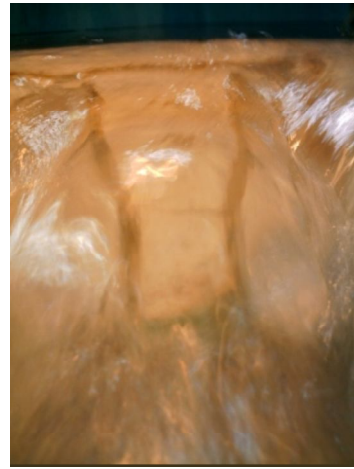


Figura V.36. Vertido asimétrico y turbulento

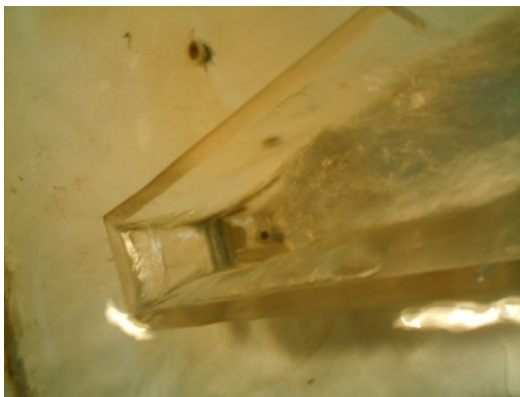


Figura V.37. Interferencia de la descarga



Figura V.38. Descarga del vertedero en el canal



Figura V.39. detalle de los bolsones de aire bajo

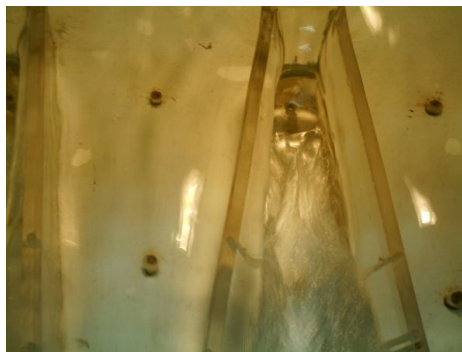


Figura V.40. A bajos caudales no ocurre interferencia de la descarga

## **Capítulo VI**

### **Análisis de resultados.**



## 1 Tablas comparativas

A partir de los resultados obtenidos se construyen tablas comparativas de resultados numéricos para observar la variación del coeficiente de descarga, de una modalidad a otra.

### 1.1 Tablas comparativa de los resultados en función a las altura de la canaleta de descarga

Se construyen cuatro tablas comparativas para observar el incremento del coeficiente de descarga por las diferentes formas de aproximación manteniendo la misma altura de canaleta de descarga. El incremento se va a señalar en porcentaje.

#### 1.1.1 Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a las formas de aproximación para $Y_a/P=0,625$ .

Ho/P	Ya/P=0,625				Variaciones en %		
	1ra Aprox	2da Aprox	3ra Aprox	4ta Aprox	Entre 1ra y 2da apro	Entre 2da y 3ra apro	Entre 3ra y 4ta apro
0,10	3,54	4,23	4,07	N/A	-16,32	3,89	N/A
0,20	2,67	2,98	3,10	N/A	-10,50	-4,09	N/A
0,30	2,19	2,34	2,56	N/A	-6,59	-8,25	N/A
0,40	1,87	1,97	2,17	N/A	-4,74	-9,48	N/A
0,50	1,64	1,71	1,94	N/A	-4,13	-12,02	N/A
0,60	1,48	1,55	1,74	N/A	-4,74	-10,49	N/A
0,70	1,29	1,43	1,23	N/A	-9,47	16,38	N/A
0,80	1,21	1,35	1,42	N/A	-10,41	-4,90	N/A

Tabla VI.1

#### 1.1.2 Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a las formas de aproximación para $Y_a/P=0,5$ .

Ho/P	Ya/P=0,5				Variaciones en %		
	1ra Aprox	2da Aprox	3ra Aprox	4ta Aprox	Entre 1ra y 2da apro	Entre 2da y 3ra apro	Entre 3ra y 4ta apro
0,10	3,68	3,14	4,16	4,2084	17,15	-24,45	-1,27
0,20	2,77	2,65	3,31	3,1637	4,18	-19,86	4,71
0,30	2,26	2,23	0,30	2,5839	1,18	652,07	-88,51
0,40	1,88	1,94	2,25	2,1723	-3,24	-13,82	3,79
0,50	1,65	1,62	1,96	1,8833	1,82	-17,03	3,90
0,60	1,49	1,48	1,74	1,6716	0,34	-14,67	4,08
0,70	1,35	1,35	1,56	1,5072	0,63	-13,64	3,42
0,80	1,22	1,27	1,42	1,3820	-3,75	-10,81	2,83

Tabla VI.2

1.1.3 Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a las formas de aproximación para  $Y_a/P=0,375$ .

Ho/P	Ya7P=0,375				Variaciones en %		
	1ra Aprox	2da Aprox	3ra Aprox	4ta Aprox	Entre 1ra y 2da apro	Entre 2da y 3ra apro	Entre 3ra y 4ta apro
0,10	3,30	4,11	4,25	4,3599	8,89	-17,48	-2,59
0,20	2,73	2,67	3,27	3,3121	2,24	-18,48	-1,25
0,30	2,25	2,23	2,64	2,6044	0,90	-15,63	1,39
0,40	1,92	1,88	2,19	2,1702	1,99	-14,12	0,99
0,50	1,61	1,77	1,94	1,8479	-9,04	-9,04	5,03
0,60	1,48	1,50	1,72	1,6829	-5,90	-10,01	1,99
0,70	1,34	1,36	1,57	1,5290	-1,69	-13,28	2,80
0,80	1,26	1,30	1,49	1,4320	-3,43	-12,44	3,75

Tabla VI.3

1.1.4 Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a las formas de aproximación para  $Y_a/P=0,25$ .

Ho/P	Ya7P=0,25				Variaciones en %		
	1ra Aprox	2da Aprox	3ra Aprox	4ta Aprox	Entre 1ra y 2da apro	Entre 2da y 3ra apro	Entre 3ra y 4ta apro
0,10	2,81	2,45	4,05	6,1930	14,50	-39,52	-34,57
0,20	2,37	2,24	3,10	3,5028	6,09	-27,76	-11,59
0,30	2,25	1,90	2,55	2,7954	18,24	-25,57	-8,64
0,40	1,77	1,65	2,18	2,4245	7,41	-24,25	-10,26
0,50	1,61	1,47	1,89	2,1529	9,30	-22,10	-12,09
0,60	1,45	1,32	1,71	1,9361	9,99	-23,15	-11,56
0,70	1,32	1,23	1,52	1,7577	7,52	-19,31	-13,48
0,80	1,21	1,18	1,42	1,5872	5,93	-15,38	-10,55

Tabla VI.4

**1.2 Tabla comparativa de los resultados en función a las aproximaciones.**

Se construyen cuatro tablas comparativas para observar el incremento del coeficiente de descarga por las diferentes formas de altura de canaleta de descarga manteniendo la aproximación. El incremento se va a señalar en porcentaje.

1.2.1 Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a Ya/P para la primera forma de aproximación.

Ho/P	1ra Aproximación				Variaciones en %		
	Ya/P=0,625	Ya/P=0,5	Ya/P=0,375	Ya/P=0,25	Entre 1ra y 2da Valor	Entre 2da y 3ra valor	Entre 3ra y 4ta valor
0,10	3,54	3,68	3,30	2,8058	-3,79	11,42	17,64
0,20	2,67	2,77	2,73	2,3733	-3,63	1,46	14,86
0,30	2,19	2,26	2,25	2,2477	-3,07	0,53	0,00
0,40	1,87	1,88	1,92	1,7702	-0,37	-2,06	8,45
0,50	1,64	1,65	1,61	1,6116	-0,77	2,93	-0,35
0,60	1,48	1,49	1,48	1,4474	-0,59	0,87	2,03
0,70	1,29	1,35	1,34	1,3193	-4,56	1,09	1,57
0,80	1,21	1,22	1,26	1,2132	-0,71	-2,90	3,56

Tabla VI.5

1.2.2 Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a Ya/P para la segunda forma de aproximación.

Ho/P	2da Aproximación				Variaciones en %		
	Ya/P=0,625	Ya/P=0,5	Ya/P=0,375	Ya/P=0,25	Entre 1ra y 2da Valor	Entre 2da y 3ra valor	Entre 3ra y 4ta valor
0,10	4,23	3,14	3,11	2,4505	34,69	-2,46	15,63
0,20	2,98	2,65	2,67	2,2371	12,17	-0,43	19,18
0,30	2,34	2,23	2,23	1,9010	4,98	0,26	17,19
0,40	1,97	1,94	1,88	1,6481	1,20	3,23	14,21
0,50	1,71	1,62	1,77	1,4744	5,39	-8,05	19,74
0,60	1,55	1,48	1,60	1,3159	4,72	-7,21	21,59
0,70	1,43	1,35	1,36	1,2271	6,09	-1,24	11,08
0,80	1,35	1,27	1,30	0,8038	6,67	-2,58	61,85

Tabla VI.6

1.2.3 Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a Ya/P para la segunda forma de aproximación.

Ho/P	3da Aproximación				Variaciones en %		
	Ya/P=0,625	Ya/P=0,5	Ya/P=0,375	Ya/P=0,25	Entre 1ra y 2da Valor	Entre 2da y 3ra valor	Entre 3ra y 4ta valor
0,10	4,07	4,16	4,25	4,0519	-2,05	-2,16	4,81
0,20	3,10	3,31	3,27	3,0968	-6,27	1,28	5,61
0,30	2,56	2,68	2,64	2,5540	-4,47	1,31	3,39
0,40	2,17	2,25	2,19	2,1758	-3,65	2,87	0,73
0,50	1,94	1,96	1,94	1,8926	-0,61	0,82	2,55
0,60	1,74	1,74	1,72	1,7124	-0,17	1,37	0,23
0,70	1,23	1,56	1,57	1,5208	-21,28	-0,83	3,35
0,80	1,42	1,42	1,49	1,4197	0,04	-4,36	4,65

Tabla VI.7

1.2.4 Tabla comparativa de incremento de coeficiente de descarga en función a Ya/P para la segunda forma de aproximación.

Ho/P	4ta Aproximación				Variaciones en %		
	Ya/P=0,625	Ya/P=0,5	Ya/P=0,375	Ya/P=0,25	Entre 1ra y 2da Valor	Entre 2da y 3ra valor	Entre 3ra y 4ta valor
0,10	N/A	4,21	4,36	6,1930	N/A	-3,47	-29,60
0,20	N/A	3,16	3,31	3,5028	N/A	-4,48	-5,44
0,30	N/A	2,58	2,60	2,7954	N/A	-0,78	-6,83
0,40	N/A	2,17	2,17	2,4245	N/A	0,10	-10,49
0,50	N/A	1,88	1,85	2,1529	N/A	1,92	-14,17
0,60	N/A	1,67	1,68	1,9361	N/A	-0,67	-13,08
0,70	N/A	1,51	1,53	1,7577	N/A	-1,42	-13,01
0,80	N/A	1,38	1,43	1,5872	N/A	-3,49	-9,78

Tabla VI.8

Mediante estas tablas se puede observar como ocurre el incremento de una configuración a otra. Están dados para varios segmentos de carga hidráulica, por lo cual se puede comparar el incremento o decrecimiento que ocurre para el Coeficiente de descarga en puntos específicos.

**2 Observaciones por a las aproximaciones en función a la pared de canal de Aproximación.**



2.1 Graficas comparativas para dos formas de aproximación según la altura de inicio de la canaleta de descarga.

2.1.1 Grafica comparativas para dos formas de aproximación según la altura de inicio de la canaleta  $Y_a=0,625$  (Figura IV.1)

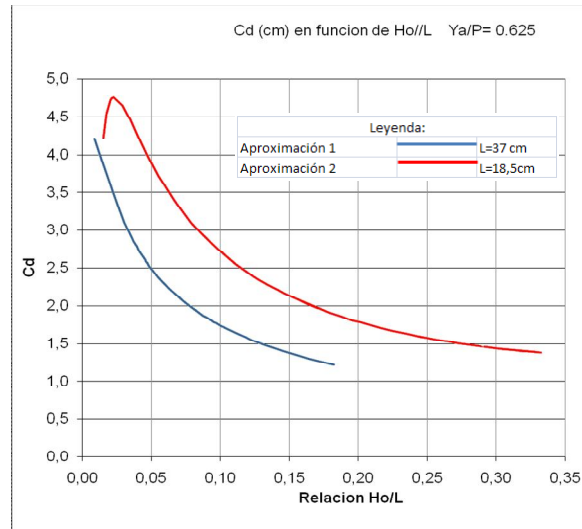


Figura IV.1

2.1.2 Grafica comparativas para dos formas de aproximación según la altura de inicio de la canaleta  $Y_a=0,5$  (Figura IV.2)

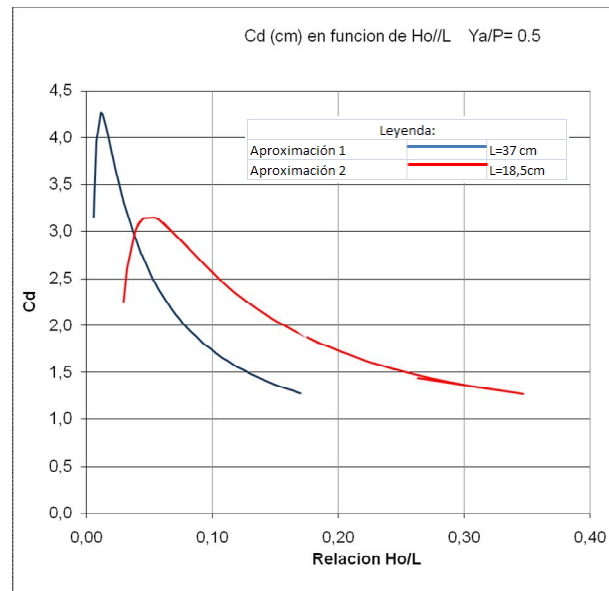


Figura IV.2

2.1.3 Grafica comparativas para dos formas de aproximación según la altura de inicio de la canaleta  $Y_a=0,375$  (Figura IV.3)

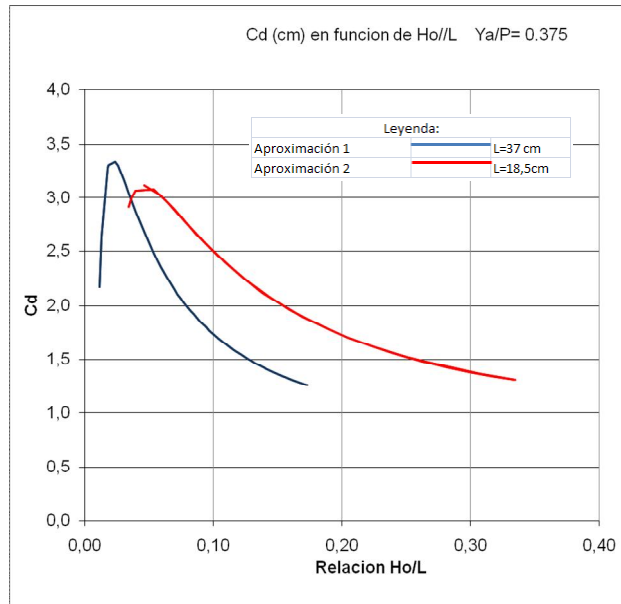


Figura IV.3

2.1.4 Grafica comparativas para dos formas de aproximación según la altura de inicio de la canaleta  $Y_a=0,25$  (Figura IV.4)

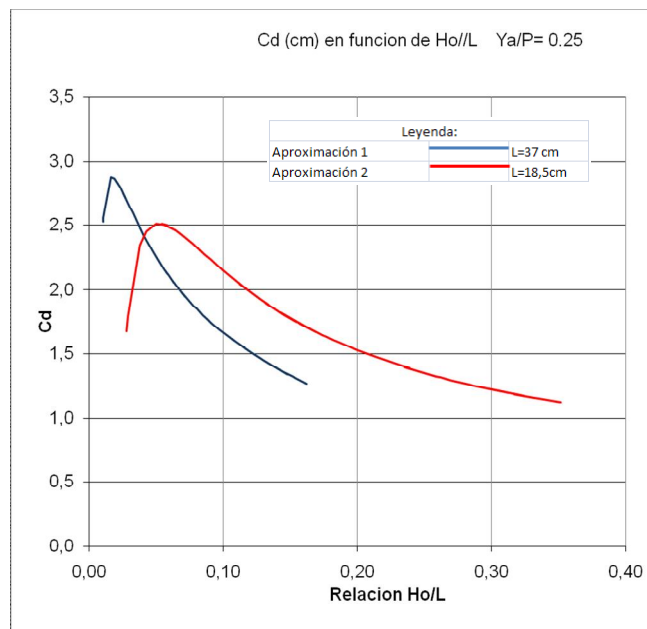


Figura IV.4

## **Conclusiones Y Recomendaciones**

## Conclusiones

A partir de los ensayos realizados para las distintas modalidades de aproximación y pendiente de la canaleta de salida, se observaron diferentes y específicos comportamientos en referencia a cada descarga. Esta característica, expresada mediante gráficas en función del coeficiente de descarga, muestra curvas de diferente trazado para todas las modalidades ensayadas.

En los ensayos de las cuatro modalidades de aproximación se observó un incremento en el coeficiente de descarga en la medida en que el vertedero se emplazaba dentro del reservorio, y se disminuye en la misma proporcionalidad el canal de alivio.

Con respecto al otro componente sometido a experimentación, la pendiente de la canaleta de salida, el coeficiente de descarga aumenta a medida que esta aumenta, pero a partir de un valor de altura el incremento se vuelve insignificante, de la misma manera que se producen comportamientos no esperados en la descarga. Las alturas de inicio de canaleta de descarga  $Y_a/p=0,5$  y  $Y_a/P=0,375$  mostraron los mejores resultados de coeficiente de descarga. Se puede ubicar allí un rango de óptimo funcionamiento de la pendiente de la canaleta. Entre  $Y_a/P=0,375$  y  $Y_a/P=0,25$  los incrementos en todas las variantes fueron muy pocas.

Como una observación secundaria en el caso de la aproximación, se observa también que las paredes laterales con proyección curva según vista en planta, incrementan el coeficiente de descarga, en comparación con el desarrollo del vertedero dentro del embalse sin la presencia de éstas.

Estas deducciones en el caso de la aproximación se basan en las observaciones para las gráficas del coeficiente de descarga según las diversas configuraciones de este componente, a los mismos valores de carga hidráulica como condición de evaluación. Se percibe la misma situación de incremento de

coeficiente de descarga entre las curvas trazadas según la ubicación del vertedero en el canal de alivio independientemente del valor de altura de inicio de la canaleta de descarga utilizado. Como expresión secundaria, que en los casos donde se transitó un caudal considerablemente bajo, el incremento se produjo en un porcentaje casi constante entre las relaciones.

Se deduce en el caso de la aproximación cuando se transitaron valores altos de carga hidráulica, se encuentra un comportamiento casi similar en magnitud para todas las configuraciones y se observa en las curvas que describen la relación con el coeficiente de descarga. Para esta afirmación se observa un incremento en el coeficiente en función del emplazamiento del vertedero dentro del reservorio, independientemente del valor de la altura de inicio de la canaleta de descarga. En general en el caso de cargas hidráulicas altas las aproximaciones se mostraron con igual magnitud de descarga.

Como posible causa directa de la variación del coeficiente de descarga en las aproximaciones, se puede ubicar en la influencia del muro en el canal de alivio en el vertido. Directamente se puede observar el aumento del coeficiente de descarga en la medida que esta característica disminuye su área. Los resultados y las observaciones deducidas a partir de éstos, son específicas, y no es posible una extrapolación de datos a otras configuraciones y geometrías equivalentes. Se destaca que las dos configuraciones sin canal de aproximación, incrementan la interferencia de la descarga en las canaletas de descarga.

Entre las dos pendientes sin canal se aproximación se observo un mejor desempeño en la configuración con aproximación, en comparación a aquella carente de la estructura de aproximación e introducida totalmente en el embalse

El coeficiente de descarga presentó una variación de incremento a diferentes configuraciones de la pendiente de salida; específicamente a medida que la pendiente aumentaba, el coeficiente se incrementaba. Pero el porcentaje de incremento, tiene tendencia a ser casi insignificante a una mayor inclinación de la

canaleta. Esto ubica su causa, en que a medida que existe una alta inclinación de la canaleta de descarga, la descarga tiende a aumentarse en los ápices aguas abajo, y disminuye en los ápices aguas arriba. También se observa que al aumentar la pendiente de la canaleta de descarga, la interferencia de la descarga se traslada aguas abajo.

## RECOMENDACIONES

En general, la elaboración y experimentación de modelos hidráulicos, bien sea para el diseño de prototipos o para la investigación de características de partes de éstos son elementos que requieren una gran gama de conocimientos de varias áreas. Para obtener mejores resultados se debe aumentar el conocimiento de estas áreas relacionadas con el modelaje hidráulico.

Se indica:

La utilización de valores de pendiente de canaleta de descarga con términos  $Y_a/P$  comprendidos en el rango de 0,5 a 0,37. Esto se expresa en función de que con valores de esta condición  $Y_a/P$  fuera de este rango, las diferencias en la descarga son mínimas.

Implementar en modelos o experimentar con ellos, condiciones de aproximación mediante la utilización de paredes curvas para la disposición del flujo en el vertedero. En el modelo sometido a experimentación se determino que existe un mejor desempeño de la capacidad del vertedero con la presencia de éste.

Realizar ensayos aumentando el número de ciclos posibles, para evitar el efecto de la fricción de la pared, e implementar una mayor longitud efectiva de descarga.

## BIBLIOGRAFÍA

- BOLINAGA, JUAN JOSÉ: "MECÁNICA ELEMENTAL DE LOS FLUIDOS". EDITORIAL UCAB. CARACAS 2005.
- BOLINAGA, JUAN JOSÉ. PROYECTOS DE INGENIERIA HIDRAULICA. EDICIONES FUNDACIÓN POLAR. CARCAS 2002
- CHOW TE, VEN "FLUJO EN CANALES" EDITORIAL MCGRAU-HILL MEXICO 2003
- FALVEY, HENRY T.: "HYDRAULIC DESIGN OF LABERINTH WEIRS". AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. EE.UU 2003
- FUENTES, RAMON: "CURSO DE AFORADORES EN CANALES". LABORATORIO NACIONAL DE HIDRÁULICA. CARACAS 1977
- FUENTES, RAMON: "MODELOS HIDRAULICOS, TEORIA Y DISEÑO". LILIAN SALINAS AYALA EDICIONES. CHILE 1985
- STREETER, VICTOR; E. WYLIE, BENJAMIN; BEDFORD, KEITH : "MECÁNICA DE FLUIDOS". EDITORIAL MC GRAW HILL. COLOMBIA 2000
- SUAREZ VILLAR, LUIS MIGUEL. INCIDENTES EN LAS PRESAS DE VENEZUELA. EDITORIAL ARTE. CARACAS 2002
- TULLIS J. PAUL; AND STEVEN L. BARFUSS MODEL STUDY OF WIRTZ DAM. CONDUCTED FOR FREESE AND NICHOLS. JUNIO 1995
- TULLIS J. PAUL; STANDLEY K. LAKE DAM MODEL STUDY. CONDUCTED FOR THE CITY OF OF WESTMINSTER, SEPTIEMBRE 1993
- TULLIS J. PAUL; RAHMEYER WILLIAM J. STACY DAM SERVICE SPILLWAY MODEL STUDY. CONDUCTED FOR THE COLORADO RIVER MUNICIPAL WATER DISTRICT, MAYO 1981.
- TULLIS J. PAUL; BARFUSS STEVEN L. MODEL STUDY OF THE HUBBARD CREEK SPILLWAY. CONDUCTED FOR FREESE AND NICHOLS, INC., MAYO 1993.
- TULLIS J. PAUL; BARFUSS STEVEN L. MODEL STUDY OF THE BUCHANAN DAM 7-GATE SPILLWAY. CONDUCTED FOR FREESE AND NICHOLS, INC. AND LOWER COLORADO RIVER AUTHORITY (LCRA), MAYO 1993.
- TULLIS J. PAUL; BARFUSS STEVEN L MODEL STUDY OF APPLEWHITE DAM SERVICE SPILLWAY. CONDUCTED FOR FREESE AN NICHOLS, INC., MARZO 1989.



TULLIS J. PAUL; SWATARA T. DAM SPILLWAY MODEL STUDY. CONDUCTED FOR INCORPORATED, ABRIL 1985.

TULLIS J. PAUL. APPLEWHITE DAM SERVICE SPILLWAY MODEL STUDY. CONDUCTED FOR THE SAN ANTONIO CITY WATER BOARD AND FREESE AND NICHOLS, INC., FEBRERO 1984.

TULLIS J. PAUL; RAHMEYER, W. R; SOUTH W. D. LABYRINTH WEIR SERVICE SPILLWAY MODEL STUDY. CONDUCTED FOR TARRANT COUNTY WATER CONTROL AND IMPROVEMENT DISTRICT NUMBER 1, AND FREESE AND NICHOLS, INC., DICIEMBRE 1980.

TULLIS J. PAUL. EAGLE MOUNTAIN DAM SPILLWAY MODEL STUDY - REVISED DESIGN. COLORADO STATE UNIVERSITY, DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, CER69-70JPT20. PREPARED FOR FREESE, NICHOLS AND ENDRESS, NOVIEMBRE 1989.

TULLIS J. PAUL; ALBERTSON M. L; PROPOSED MODIFICATIONS TO THE LABYRINTH WEIRS OUTLET WORKS. PREPARED FOR DENVER BOARD OF WATER COMMISSIONERS, DENVER, COLORADO, NOVIEMBRE 1986.

TULLIS J. PAUL AND S. KARAKI EAGLE MOUNTAIN DAM SPILLWAY MODEL STUDY. COLORADO STATE UNIVERSITY, DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, CER68JPT-SK11. PREPARED FOR FREESE, NICHOLS AND ENDRESS, SEPTIEMBRE 1988.

## **Apéndice I**

### **Vertedero en V.**

La medición del caudal en el modelo fue realizada por un vertedero triangular. La razón de la utilización de este mecanismo de medición del flujo, es por el eficiente registro de caudales, el cual no llega a ser exacta. Se espera que este debe estar dentro de un rango aproximado de exactitud para la validación de los datos. La utilización de este es porque existe un conjunto tan amplio de dispositivos de medición de caudales, donde es preferible evitar los métodos de medición de caudales complicados, apuntándose a utilizar estructuras previamente estudiadas y tabuladas su comportamiento.

El vertedero triangular o aforador está construido e instalado en el canal utilizado para la instalación del modelo. El vertedero triangular está diseñado bajo especificaciones teóricas y el caudal puede obtenerse directamente de la medición de la corriente mediante el empleo de la tabla de aforo. Para la realización de la lectura a esta tabla el vertedero ha sido previamente calibrado, mediante un dispositivo electrónico denominado Flow Tracker. La calibración del vertedero por medio de este dispositivo electrónico, se realizó con el fin de establecer una equivalencia entre los datos medidos y los calculados previamente para este tipo de dispositivos. Allí surge la necesidad de crear una tabla de aforo o una ecuación corregida para una lectura directa y una simplificación de datos. Al realizarse las comparaciones esta esta velocidad y la dada analíticamente, existe una leve diferencia, característica que se explica en el apéndice 2.

El canal donde se ubico el modelo tenía el vertedero en V o vertedero triangular con una ubicación aguas abajo, idóneo para la determinación de los caudales transitados por el modelo. El modelo posee un arreglo con la finalidad de aislar las pérdidas.

### **Tipos de Vertedero de pared Delgada**

Los dos tipos más comunes son el vertedero triangular (en forma de V) y el vertedero rectangular. En el canal este tiene un estanque de amortiguación en el cual se deposita todo el caudal proveniente del transito por el modelo y un

estabilizador de flujo para disipar cualquier turbulencia y lograr que el agua se acerque al vertedero suavemente y estable.

Para determinar la profundidad de la corriente a través del vertedero, se instala un medidor en el estanque de amortiguación en un lugar en el que se pueda leer fácilmente. El cero del medidor fija el nivel en el punto más bajo del corte en V. El medidor debe instalarse bastante detrás del corte en V para que no se vea afectado por la curva de descenso del agua a medida que el agua se acerca a la misma. Es fundamental evitar que ocurra la sumergencia, del vertedero.

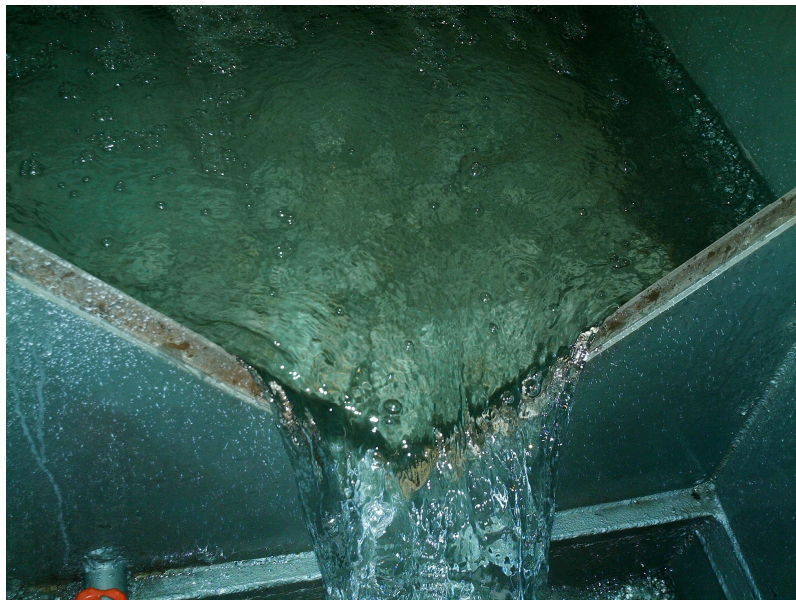


Figura AII.1. Vista del vertedero en V utilizado.

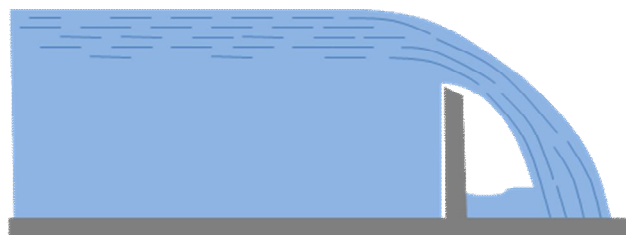


Figura AII.2. Líneas de corriente en vertederos en V.

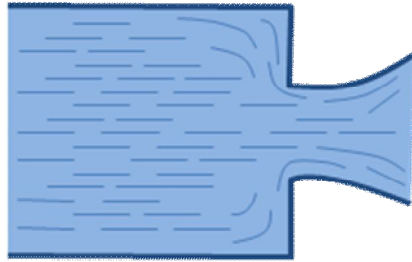


Figura AII.3 Perfil de Vertedero en V (triangular).

Los vertederos en V son el tipo más usado. La forma en V significa que son más sensibles a un caudal reducido, pero su ancho aumenta para ajustarse a caudales mayores. El ángulo de la abertura en V es casi siempre de  $90^\circ$  como en el caso del vertedero utilizado, pero se dispone de diagramas de calibración para otros ángulos,  $60^\circ$ ,  $30^\circ$  y  $15^\circ$ .

## **Apéndice II**

## Apéndice 2 Técnicas constructivas

El uso del material de acrílico requirió de una técnica constructiva para el buen acabado del modelo y asegurarse que las piezas concuerden con exactitud. Una serie de medidas e instrucciones utilizadas en la construcción del modelo son citadas.

### 1 Precauciones con productos químicos

Se cuidó de algunos productos químicos que pueden cambiar las propiedades del acrílico, produciendo cristalización o cuarteamiento. Estos son: Tetracloruro de carbono, Cloruro de Metileno, Benceno, trementina, Tolueno, Alcohol Etilico, Alcohol Metílico, Fenoles, Thiner, Acetileno y Acetonas, entre otros.

### 2 Pegado

Para el pegado las piezas estuvieron concordando con una tolerancia de +/- 0,5 mm. Para el pegado de las piezas, las superficies deben estar ligeramente lijadas y limpias, la sustancia para realizar el pegado se denomina Cloroformo. También se utilizó adhesivos especiales para el acrílico. En aristas o uniones a tope se aplicó con una jeringa hipodérmica. (Figura AII.1).

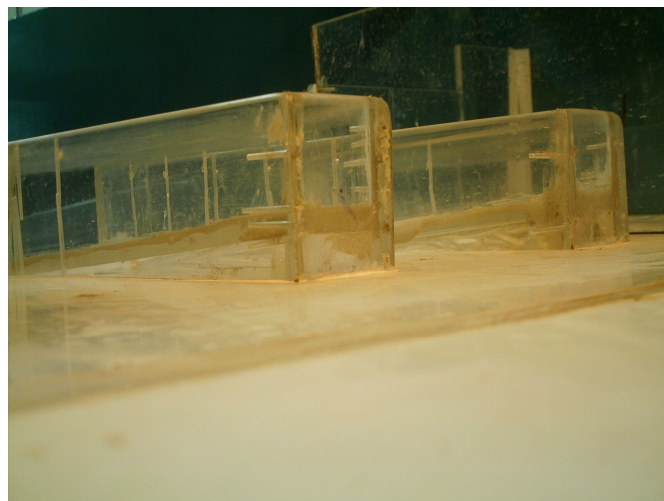


Figura AII.1. Lugares claves en el pegado

### **3 Corte del material**

#### **3.1 Corte manual**

El acrílico del modelo requiere de cortes con precisión en las piezas, para esto se usan aparatos cuyo radio de acción es muy pequeño. Las láminas de espesor de 1 centímetro, fueron cortadas en forma muy similar al vidrio con cuchillas de segueta afiladas especiales para cortar plásticos o madera. Al realizar esta operación se deberá colocar el material sobre una superficie plana tanto para soporte como para precisión del cortado. Para cortes mas delicados como en el caso del corte del dentado base del vertedero o los conductos de aeración se utiliza un Trompo o un cortador fino. El uso de este aparato requiere repasar varias veces con el filo de la mecha del trompo y atravesar aproximadamente 1/3 del espesor del material. Se pule con una lima los bordes para evitar los filos. Para esta operación se recomienda usar guantes y no hacer cortes muy largos.

#### **3.2 Corte con sierra**

Se realizó con la misma herramienta con que se cortan los metales blandos, aunque algunas herramientas para madera también se utilizaron. El tipo de sierra utilizada está en función del espesor del acrílico. Lo habitual para espesores del tipo de lamina usada en el modelo, son sierras circulares es de 3 a 4 dientes por centímetro, aunque en el corte de las piezas del modelo se utilizó caladoras de dientes finos, de tipo “sin traba”, al igual que una caladora industrial. Con esta última herramienta el trabajo es mas propenso al daño del material o del aparato. Se cuidó el avance de la sierra en el acrílico para evitar la generación de temperatura que perjudique la pieza.

#### **3.3 Perforación**

Se realizó con mechas comunes asegurando firmemente el material para evitar vibraciones y en consecuencia cuarteamiento en los bordes de la perforación. Las consideraciones sobre temperatura son similares a las indicadas en el corte. (Figura AII.2)



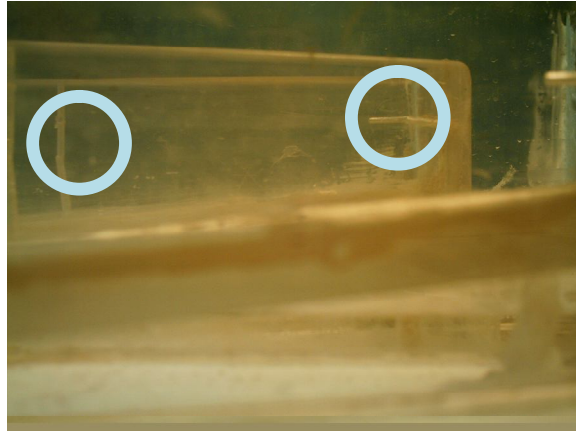


Figura AII.1. Detalles de las perforaciones a precisión.

### **3.4 Moldeo**

El acrílico puede ser moldeado fácilmente en diseños simples, calentándolo a 130°C - 140°C, según el espesor, en un horno común sin llama directa, suspendido o sobre una plancha de metal. Cuando la consistencia de las láminas se encuentran en estado gomoso; se manipuló con guante y se colocó en un molde de curvatura simple, para obtener la forma por copiado de la Aproximación. Se movió del molde hasta que su temperatura bajó a menos de 50°C en forma natural, que es lo que indica la norma, sin acelerar el enfriamiento para evitar la generación de tensiones internas en el acrílico.

## **Apéndice III**

## 1 Funcionamiento del Flow Tracker

El *flow tracker* es un aparato medidor de velocidades de flujo, cuyo funcionamiento está basado en la utilización del efecto *Doppler* y está diseñado específicamente para determinar magnitudes bajas de velocidad en canales con superficie libre. Provee numerosas ventajas, entre estas la lectura de la velocidad de un flujo en 2D y 3D, un sencillo sistema de utilización, mediciones en bajas magnitudes de caudal y un eficiente sistema de lectura.

Básicamente consiste en un bastón, con el mecanismo de medición en un extremo, y el sistema de reporte electrónico en el otro extremo. El sistema de medición es un dispositivo que consiste en dos antenas fijas, unidas a una sonda, con una disposición donde tienen unas distancias y relaciones angulares entre sí. (Figura A3.1)



Figura A3.1. Vista de las partes del instrumento

## 2 Principio de operación

Como principio de funcionamiento el aparato mide la velocidad del flujo usando un principio físico llamado el efecto *Doppler*. Si alguna partícula contenida en el agua experimenta un movimiento, esta produce cierto sonido que puede ser percibido por el lector del instrumento, y donde la frecuencia del sonido

en el receptor es la que determina la velocidad de la particular. Por lo tanto, la velocidad del flujo donde la partícula esta contenida, está por la formula:

$$F_{\text{doppler}} = -2F_{\text{Particula}} (V / C) \quad (18)$$

En esta ecuación, V es la velocidad relativa entre particular y el lector del instrumento, C es la velocidad del sonido,  $F_{\text{doppler}}$  es el cambio en la frecuencia en el receptor y  $F_{\text{particula}}$  es la la frecuencia de la onda transmitida por la partícula.

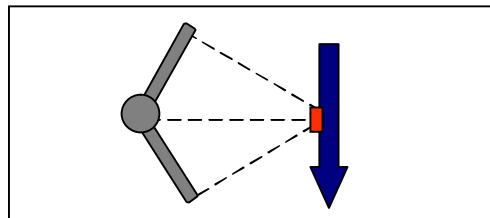


Figura A3.2 Condiciones Ideales de flujo



Figura A3.3. Vista de otras condiciones de dirección de flujo

La ilustración A3.2 muestra el principio de operación, en el cual el sistema de medición usa transductores acústicos separados en cada mecanismo transmisor y receptor, ubicados en las antenas. Ambos transmisor y receptor generan y captan emisiones de señales muy cortas, suficientes para la longitud de estos al punto de medición. El transmisor genera un sonido con la mayor energía concentrada, entre la partícula y el aparato, y el receptor a través de su mecanismo de sensibilidad percibe el sonido de rebote, considerando la distancia y un rango angular de la dirección de la partícula. Los transductores son colocados y calibrados, para que las señales emitidas e interceptadas detectan la velocidad de la partícula

contenidas en un volumen de agua localizado entre ellos. La intercepción de la señal determina la ubicación de la particular, aun considerando el volumen de agua en el cual las medidas fueron realizadas.

Los Transmisores generan un pulso corto de sonido, conocido como frecuencia, la cual se propaga a través del agua con un ángulo en la señal, este ángulo se produce por la configuración del mecanismo. Como el sonido pasa a través del volumen que contiene la muestra, la energía acústica es reflejada en todas las direcciones por las partículas sólidas contenidas en el flujo. Algunas ondas de la energía reflejada por la partícula viajan en dirección al aparato con un ángulo de reflexión con respecto a la dirección de la señal de origen. Esta onda es captada por el instrumento, donde toma la medición y lo procesa según la frecuencia. El efecto *Doppler* es medido por el receptor y la magnitud de la señal recibida es proporcional a la velocidad de las partículas según considerando el ángulo que se proyecta entre el receptor y transmisor. El punto de medición de la velocidad de la partícula se ubica en el punto medio entre el receptor y el emisor, y donde se proyecta la señal de ambos componentes.

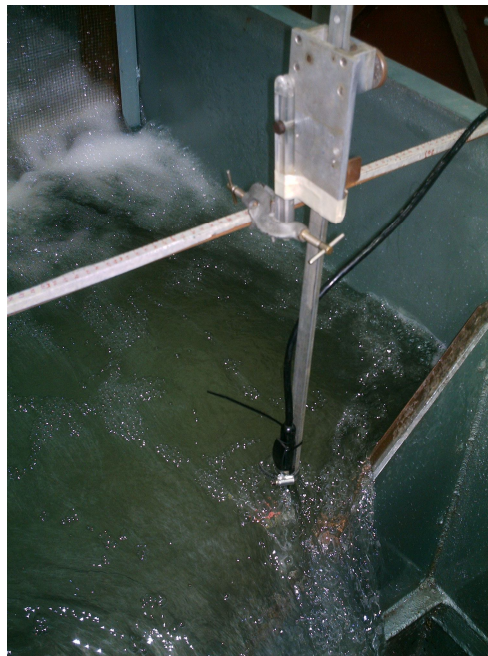


Figura A3.4. Realización de las mediciones.

### **3 Las mediciones en 3D**

Estas mediciones se realizan para cuando el flujo tiene componentes de velocidad en tres direcciones. El registro de estas direcciones se hace utilizando los transmisores y receptores, donde se mide la velocidad y dirección de las partículas contenidas en el agua.

Esta toma de mediciones se realiza en el punto medio entre los sensores, como en la medición en 2D, pero aquí se usa un tercer medidor para que la lectura sea en tres dimensiones.

El receptor está alineado para interceptar la señal transmitida por el patrón a cualquier partícula contenida en el flujo. La velocidad es medida por cada receptor es referida como un componente de la velocidad, y la proyección en tres dimensiones de la velocidad, es definida según los vectores o componentes de esta, extraídos de los receptores acústicos de la señal de la velocidad.

Estas se convierten por el componente electrónico del instrumento en vectores de coordenadas cartesianas XYZ, usando los principios geométricos. Al considerar las componentes de la velocidad, se puede calcular la dirección del flujo.

### **4 El sensor de medición**

La ubicación del sensor de medición se determina por la constitución física del instrumento, la cual ubica el punto de medición 10 centímetros al frente de la sonda. El volumen de muestreo según el aparato puede llegar a ser de 0,25 centímetros cúbicos, a través del cual ocurren las mediciones promedio, y también se puede trabajar con volúmenes más reducidos.

### **5 Resultados**

Las velocidades obtenidas están dadas en medidas m/s. (figura A3.5). las denominaciones, son generadas por el aparato automáticamente y un grupo de

estas mediciones fueron descartadas por haber sido realizadas a nivel de la descarga del vertedero en V.

		V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	V	VELOCIDADES EN CM/S
Ubicación 1	DAT1	54,50	10,60	55,52	
	DAT2	52,30	7,70	52,86	
	DAT3	69,10	17,50	71,28	
	DAT4	65,50	10,70	66,37	
	DAT5	72,50	3,80	72,60	
	DAT6	73,50	4,00	73,61	
	DAT7	70,50	1,60	70,52	
Ubicación 2	MED1	4,60	0,90	4,69	
	MED2	4,40	0,70	4,46	
	MED3	1,40	0,60	1,52	
	MED4	1,50	0,30	1,53	
	MED5	2,60	0,40	2,63	
	MED6	2,40	0,60	2,47	

Tabla A3.1. Resultados obtenidos por el Flow Tracker.

A partir de estos resultados se realiza una comparación grafica entre los valores de caudal obtenidos por la ecuación y las mediciones de Flow Tracker. (Figura A3.6)

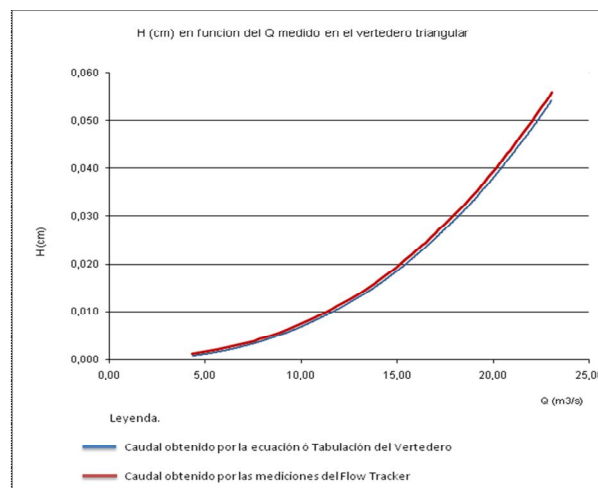


Figura A3.6. Graficas para los caudales de medición, obtenidos por el Flow Tracker y la ecuación para vertedero en V.

## **Apéndice IV**



## 1 Cálculo de número de weber

El cálculo del número de Weber se realizó por medio una hoja de cálculo y los resultados obtenidos son los siguientes:

P =	0,08		Cd	
Cd	H/P	W	REHBOCK	FC
0,55	0,1	1,71	0,613	0,786
0,54	0,2	3,47	0,621	0,886
0,5	0,3	5,27	0,629	0,986
0,44	0,4	7,11	0,637	1,086
0,38	0,5	9,00	0,645	1,186
0,34	0,6	10,94	0,653	1,286
0,34	0,7	12,92	0,661	1,386
0,34	0,8	14,94	0,669	1,486

Tabla AIV.1 Números de weber Obtenidos

## **Apéndice V**

## 1 Resultados Obtenidos

Los resultados obtenidos fueron computados en una hoja de cálculo, en la cual se obtuvo el coeficiente de descarga y las correcciones. A continuación se citan las tablas utilizadas.

Tabla AV.1  
Aproximación 1  
Ya/P = 0,625

h vertedero en V" (cm)	Lectura		Lectura H (carga)		H (carga) (cm)	Qvertedero Triangular		Q (m <sup>3</sup> /s)	H (cm)	H corr (cm)	Cd Ecuacion Tullis	Ho/P corr
	I (cm)	D (cm)	I (cm)	D (cm)	Promedio	H (cm)	C					
48,600	13,200	37,800	2,800	2,700	2,750	4,850	0,610	0,0021	0,4000	0,3285	4,2095	0,0411
44,500	12,100	36,800	1,700	1,700	1,700	5,250	0,604	0,0068	0,8000	0,8010	3,5381	0,1001
44,600	11,800	36,500	1,400	1,400	1,400	6,050	0,595	0,0072	0,7500	0,8356	3,4861	0,1044
42,100	11,400	36,100	1,000	1,000	1,000	8,150	0,579	0,0098	1,0000	1,1081	3,1296	0,1385
36,700	10,800	35,500	0,400	0,400	0,400	11,150	0,567	0,0100	1,1000	1,1297	3,1050	0,1412
40,500	11,200	35,900	0,800	0,800	0,800	12,550	0,564	0,0118	1,2000	1,3135	2,9141	0,1642
43,900	11,950	36,700	1,550	1,600	1,575	13,450	0,562	0,0125	1,4000	1,3876	2,8453	0,1735
46,500	12,550	37,200	2,150	2,100	2,125	14,350	0,561	0,0125	1,3250	1,3876	2,8453	0,1735
49,600	13,650	38,400	3,250	3,300	3,275	14,550	0,560	0,0132	1,4500	1,4646	2,7781	0,1831
46,300	13,750	38,400	3,350	3,300	3,325	14,850	0,560	0,0136	1,6000	1,5042	2,7451	0,1880
44,600	12,150	36,900	1,750	1,800	1,775	15,250	0,559	0,0140	1,5750	1,5446	2,7124	0,1931
45,500	12,900	37,600	2,500	2,500	2,500	15,550	0,559	0,0153	1,6250	1,6846	2,6065	0,2106
43,750	12,000	36,700	1,600	1,600	1,600	16,150	0,558	0,0156	1,7000	1,7137	2,5859	0,2142
45,500	12,850	37,600	2,450	2,500	2,475	16,450	0,558	0,0156	1,6500	1,7137	2,5859	0,2142
46,400	12,700	37,400	2,300	2,300	2,300	16,650	0,558	0,0159	1,4000	1,7431	2,5654	0,2179
48,800	13,400	38,100	3,000	3,000	3,000	17,150	0,557	0,0159	1,7750	1,7431	2,5654	0,2179
45,200	12,350	37,000	1,950	1,900	1,925	17,750	0,557	0,0164	1,7500	1,8030	2,5249	0,2254
44,500	12,050	36,750	1,650	1,650	1,650	17,950	0,557	0,0176	1,9250	1,9272	2,4460	0,2409
46,500	12,700	37,400	2,300	2,300	2,300	18,250	0,557	0,0185	2,5000	2,0242	2,3886	0,2530
48,900	13,800	38,500	3,400	3,400	3,400	18,750	0,556	0,0185	2,4750	2,0242	2,3886	0,2530
47,400	13,050	37,700	2,650	2,600	2,625	19,350	0,556	0,0194	2,0500	2,1248	2,3326	0,2656
45,800	12,450	37,150	2,050	2,050	2,050	19,950	0,556	0,0210	3,3250	2,3002	2,2425	0,2875
49,700	14,300	39,000	3,900	3,900	3,900	20,050	0,556	0,0214	2,3000	2,3365	2,2249	0,2921
50,800	14,950	39,650	4,550	4,550	4,550	20,350	0,556	0,0214	2,3000	2,3365	2,2249	0,2921
52,100	15,550	40,300	5,150	5,200	5,175	20,550	0,556	0,0217	2,1250	2,3732	2,2075	0,2967
53,300	16,450	41,100	6,050	6,000	6,025	20,950	0,556	0,0217	2,3000	2,3732	2,2075	0,2967
54,100	17,100	41,900	6,700	6,800	6,750	21,150	0,556	0,0220	2,4000	2,4104	2,1902	0,3013
43,000	11,600	36,300	1,200	1,200	1,200	21,650	0,556	0,0249	2,6250	2,7231	2,0571	0,3404
44,800	12,200	36,800	1,800	1,700	1,750	21,850	0,556	0,0263	2,8000	2,8902	1,9938	0,3613
46,600	12,800	37,500	2,400	2,400	2,400	22,150	0,556	0,0275	3,0000	3,0205	1,9476	0,3776
48,100	13,400	38,100	3,000	3,000	3,000	22,450	0,556	0,0295	2,7500	3,2473	1,8731	0,4059
49,300	13,900	38,600	3,500	3,500	3,500	22,750	0,556	0,0303	3,0000	3,3416	1,8441	0,4177
50,300	14,650	39,350	4,250	4,250	4,250	22,950	0,556	0,0307	3,4000	3,3895	1,8298	0,4237
51,600	15,800	40,500	5,400	5,400	5,400	23,250	0,556	0,0320	3,4000	3,5365	1,7875	0,4421
51,000	15,050	39,700	4,650	4,600	4,625	23,550	0,556	0,0324	3,5000	3,5865	1,7736	0,4483
52,300	15,600	40,300	5,200	5,200	5,200	23,850	0,556	0,0337	3,2750	3,7400	1,7325	0,4675
50,800	14,800	39,500	4,400	4,400	4,400	23,950	0,556	0,0341	3,9000	3,7922	1,7191	0,4740
49,800	14,550	39,250	4,150	4,150	4,150	24,150	0,556	0,0346	4,1500	3,8451	1,7057	0,4806
49,200	13,800	38,500	3,400	3,400	3,400	24,250	0,556	0,0369	4,2500	4,1180	1,6403	0,5148
47,800	13,200	37,900	2,800	2,800	2,800	24,350	0,556	0,0392	4,5500	4,4062	1,5773	0,5508
46,400	12,700	37,400	2,300	2,300	2,300	24,450	0,556	0,0392	4,4000	4,4062	1,5773	0,5508
44,400	12,050	36,700	1,650	1,600	1,625	24,750	0,556	0,0402	4,6250	4,5259	1,5527	0,5657
43,300	11,800	36,500	1,400	1,400	1,400	24,450	0,556	0,0432	5,4000	4,9009	1,4809	0,6126

Obtención de los coeficientes de descarga de aliviaderos de laberinto, según su posición en el canal de alivio y según la altura de inicio de la canaleta de descarga

43,600	11,850	36,550	1,450	1,450	1,450	24,950	0,556	0,0458	5,1750	5,2327	1,4234	0,6541
43,300	11,700	36,450	1,300	1,350	1,325	23,650	0,556	0,0469	5,2000	5,3706	1,4009	0,6713
42,200	11,500	36,200	1,100	1,100	1,100	23,050	0,556	0,0525	6,0250	6,1070	1,2928	0,7634
40,700	11,150	35,850	0,750	0,750	0,750	22,650	0,556	0,0572	6,7500	6,7576	1,2113	0,8447

**Ya/P = 0,50**      **Aproximacion 1**      Tabla AV.2

h vertedero en V" (cm)	Lectura		Lectura H (carga)		H (carga) (cm)	Overtedero Triangular		Q (m3/s)	H (cm)	H corr (cm)	Cd Ecuacion Tullis	Ho/P corr
	l (cm)	D (cm)	l (cm)	D (cm)	Promedio	H (cm)	C					
38,400	10,85	35,550	0,450	0,45	0,450	7,850	0,581	0,0009	0,1000	0,2302	3,1476	0,0288
39,400	11,00	35,700	0,600	0,60	0,600	8,850	0,5756	0,0011	0,3500	0,2437	3,3833	0,0305
41,100	11,30	36,000	0,900	0,90	0,900	10,550	0,569	0,0017	0,2000	0,2987	3,9621	0,0373
42,200	11,60	36,300	1,200	1,20	1,200	11,650	0,5659	0,0035	0,4500	0,4521	4,2714	0,0565
43,500	11,80	36,500	1,400	1,40	1,400	12,950	0,563	0,0038	0,4500	0,4829	4,2510	0,0604
44,500	12,10	36,800	1,700	1,70	1,700	13,950	0,5612	0,0041	0,5500	0,5046	4,2300	0,0631
45,500	12,35	37,050	1,950	1,95	1,950	14,950	0,5597	0,0051	0,6000	0,6005	4,0998	0,0751
46,400	12,60	37,300	2,200	2,20	2,200	15,850	0,5586	0,0057	0,6500	0,6543	4,0135	0,0818
47,000	12,90	37,650	2,500	2,55	2,525	16,450	0,558	0,0079	0,9000	0,8586	3,6777	0,1073
48,000	13,25	37,900	2,850	2,80	2,825	17,450	0,5572	0,0081	0,9250	0,8763	3,6498	0,1095
48,600	13,60	38,300	3,200	3,20	3,200	18,050	0,5568	0,0090	1,0000	0,9694	3,5087	0,1212
49,200	13,90	38,600	3,500	3,50	3,500	18,650	0,5564	0,0100	1,2000	1,0705	3,3663	0,1338
49,700	14,25	38,950	3,850	3,85	3,850	19,150	0,5562	0,0105	1,1000	1,1132	3,3095	0,1392
50,300	14,50	39,250	4,100	4,15	4,125	19,750	0,556	0,0120	1,3000	1,2736	3,1129	0,1592
50,800	14,95	39,600	4,550	4,50	4,525	20,250	0,5558	0,0130	1,4000	1,3731	3,0031	0,1716
51,200	15,30	40,000	4,900	4,90	4,900	20,650	0,5558	0,0130	1,3500	1,3731	3,0031	0,1716
52,000	15,60	40,300	5,200	5,20	5,200	21,450	0,5557	0,0153	1,6000	1,6194	2,7656	0,2024
52,600	15,90	40,600	5,500	5,50	5,500	22,050	0,5557	0,0156	1,7000	1,6487	2,7402	0,2061
53,100	16,25	40,950	5,850	5,85	5,850	22,550	0,5557	0,0164	1,7500	1,7393	2,6650	0,2174
53,500	16,60	41,350	6,200	6,25	6,225	22,950	0,5558	0,0185	1,9500	1,9653	2,4969	0,2457
53,600	16,80	41,550	6,400	6,45	6,425	23,050	0,5558	0,0188	1,9750	1,9993	2,4737	0,2499
53,300	16,40	41,100	6,000	6,00	6,000	22,750	0,5557	0,0201	2,1000	2,1399	2,3833	0,2675
52,700	16,00	40,700	5,600	5,60	5,600	22,150	0,5557	0,0210	2,3000	2,2502	2,3177	0,2813
52,100	15,65	40,350	5,250	5,25	5,250	21,550	0,5557	0,0214	2,2000	2,2878	2,2963	0,2860
51,400	15,30	40,000	4,900	4,90	4,900	20,850	0,5557	0,0231	2,4500	2,4833	2,1926	0,3104
51,300	15,10	39,800	4,700	4,70	4,700	20,750	0,5557	0,0234	2,5250	2,5238	2,1725	0,3155
50,700	14,80	39,500	4,400	4,40	4,400	20,150	0,5559	0,0245	2,6000	2,6482	2,1135	0,3310
50,100	14,50	39,200	4,100	4,10	4,100	19,550	0,5561	0,0256	2,8000	2,7771	2,0565	0,3471
49,400	14,00	38,700	3,600	3,60	3,600	18,850	0,5563	0,0260	2,8500	2,8211	2,0379	0,3526
49,000	13,75	38,450	3,350	3,35	3,350	18,450	0,5565	0,0271	2,8250	2,9559	1,9834	0,3695
48,300	13,50	38,200	3,100	3,10	3,100	17,750	0,557	0,0283	3,1000	3,0953	1,9308	0,3869
47,700	13,25	37,950	2,850	2,85	2,850	17,150	0,5574	0,0295	3,2000	3,2393	1,8801	0,4049
47,300	13,00	37,700	2,600	2,60	2,600	16,750	0,5577	0,0311	3,3500	3,4384	1,8153	0,4298
46,300	12,70	37,400	2,300	2,30	2,300	15,750	0,5587	0,0320	3,5000	3,5410	1,7840	0,4426
45,600	12,35	37,100	1,950	2,00	1,975	15,050	0,5596	0,0328	3,6000	3,6457	1,7536	0,4557
44,400	12,00	36,700	1,600	1,60	1,600	13,850	0,5613	0,0341	3,8500	3,8066	1,7094	0,4758
43,500	11,75	36,450	1,350	1,35	1,350	12,950	0,563	0,0359	4,1000	4,0283	1,6530	0,5035
42,400	11,50	36,200	1,100	1,10	1,100	11,850	0,5654	0,0369	4,1250	4,1423	1,6259	0,5178
41,200	11,30	36,050	0,900	0,95	0,925	10,650	0,5687	0,0387	4,4000	4,3762	1,5739	0,5470
39,800	11,05	35,750	0,650	0,65	0,650	9,250	0,5739	0,0392	4,5250	4,4360	1,5614	0,5545
38,100	10,85	35,550	0,450	0,45	0,450	7,550	0,5828	0,0412	4,9000	4,6799	1,5129	0,5850
36,200	10,60	35,300	0,200	0,20	0,200	5,650	0,5994	0,0417	4,7000	4,7421	1,5012	0,5928
34,900	10,50	35,200	0,100	0,10	0,100	4,350	0,6192	0,0422	4,9000	4,8048	1,4897	0,6006
35,200	10,75	35,450	0,350	0,35	0,350	4,650	0,6137	0,0453	5,2000	5,1908	1,4240	0,6489
38,600	10,95	35,650	0,550	0,55	0,550	8,050	0,5798	0,0458	5,2500	5,2568	1,4136	0,6571

Obtención de los coeficientes de descarga de aliviaderos de laberinto, según su posición en el canal de alivio y según la altura de inicio de la canaleta de descarga

41,700	11,40	36,100	1,000	1,00	1,000	11,150	0,5672	0,0485	5,5000	5,5930	1,3641	0,6991
43,100	11,70	36,400	1,300	1,30	1,300	12,550	0,5638	0,0491	5,6000	5,6616	1,3546	0,7077
44,800	12,15	36,850	1,750	1,75	1,750	14,250	0,5607	0,0513	5,8500	5,9396	1,3184	0,7424
46,000	12,50	37,200	2,100	2,10	2,100	15,450	0,5591	0,0525	6,0000	6,0808	1,3012	0,7601
46,900	12,85	37,550	2,450	2,45	2,450	16,350	0,5581	0,0536	6,2250	6,2235	1,2846	0,7779
47,600	13,20	37,900	2,800	2,80	2,800	17,050	0,5575	0,0542	6,4250	6,2953	1,2765	0,7869

Ya/P = 0,375 Aproximación 1 Tabla AV.3

h vertedero en V'' (cm)	Lectura		Lectura H (carga)		H (carga) (cm)	Overtedero Triangular		Q (m3/s)	H (cm)	H corr (cm)	Cd Ecuacion Tullis	Ho/P corr
	l (cm)	D (cm)	l (cm)	D (cm)	Promedio	H (cm)	C					
37,000	10,80	35,500	0,400	0,40	0,400	6,450	0,5912	0,0009	0,1000	0,2302	3,1476	0,0288
39,100	11,00	35,700	0,600	0,60	0,600	8,550	0,5771	0,0011	0,3500	0,2437	3,3833	0,0305
40,900	11,30	36,000	0,900	0,90	0,900	10,350	0,5697	0,0017	0,2000	0,2987	3,9621	0,0373
42,300	11,55	36,250	1,150	1,15	1,150	11,750	0,5656	0,0035	0,4500	0,4521	4,2714	0,0565
43,500	11,80	36,500	1,400	1,40	1,400	12,950	0,563	0,0038	0,4500	0,4829	4,2510	0,0604
44,500	12,10	36,800	1,700	1,70	1,700	13,950	0,5612	0,0041	0,5500	0,5046	4,2300	0,0631
45,600	12,40	37,100	2,000	2,00	2,000	15,050	0,5596	0,0051	0,6000	0,6005	4,0998	0,0751
46,300	12,70	37,400	2,300	2,30	2,300	15,750	0,5587	0,0057	0,6500	0,6543	4,0135	0,0818
47,200	12,95	37,650	2,550	2,55	2,550	16,650	0,5578	0,0079	0,9000	0,8586	3,6777	0,1073
47,800	13,30	38,000	2,900	2,90	2,900	17,250	0,5573	0,0081	0,9250	0,8763	3,6498	0,1095
48,400	13,60	38,300	3,200	3,20	3,200	17,850	0,5569	0,0090	1,0000	0,9694	3,5087	0,1212
50,900	14,90	39,600	4,500	4,50	4,500	20,350	0,5558	0,0100	1,2000	1,0705	3,3663	0,1338
49,100	13,90	38,600	3,500	3,50	3,500	18,550	0,5565	0,0105	1,1000	1,1132	3,3095	0,1392
49,800	14,20	38,900	3,800	3,80	3,800	19,250	0,5562	0,0120	1,3000	1,2736	3,1129	0,1592
50,600	14,55	39,250	4,150	4,15	4,150	20,050	0,5559	0,0130	1,4000	1,3731	3,0031	0,1716
51,100	14,85	39,550	4,450	4,45	4,450	20,550	0,5558	0,0130	1,3500	1,3731	3,0031	0,1716
51,500	15,40	40,100	5,000	5,00	5,000	20,950	0,5557	0,0153	1,6000	1,6194	2,7656	0,2024
52,000	15,80	40,500	5,400	5,40	5,400	21,450	0,5557	0,0156	1,7000	1,6487	2,7402	0,2061
52,800	16,25	40,950	5,850	5,85	5,850	22,250	0,5557	0,0164	1,7500	1,7393	2,6650	0,2174
53,300	16,50	41,200	6,100	6,10	6,100	22,750	0,5557	0,0185	1,9500	1,9653	2,4969	0,2457
53,700	16,80	41,500	6,400	6,40	6,400	23,150	0,5558	0,0188	1,9750	1,9993	2,4737	0,2499
53,200	16,40	41,100	6,000	6,00	6,000	22,650	0,5557	0,0201	2,1000	2,1399	2,3833	0,2675
52,300	16,05	40,750	5,650	5,65	5,650	21,750	0,5557	0,0210	2,3000	2,2502	2,3177	0,2813
51,300	15,25	39,950	4,850	4,85	4,850	20,750	0,5557	0,0214	2,2000	2,2878	2,2963	0,2860
36,100	10,70	35,400	0,300	0,30	0,300	5,550	0,6006	0,0231	2,4500	2,4833	2,1926	0,3104
39,300	11,20	35,900	0,800	0,80	0,800	8,750	0,5761	0,0234	2,5250	2,5238	2,1725	0,3155
41,200	11,40	36,100	1,000	1,00	1,000	10,650	0,5687	0,0245	2,6000	2,6482	2,1135	0,3310
42,800	11,70	36,400	1,300	1,30	1,300	12,250	0,5644	0,0256	2,8000	2,7771	2,0565	0,3471
43,900	11,90	36,600	1,500	1,50	1,500	13,350	0,5622	0,0260	2,8500	2,8211	2,0379	0,3526
44,900	12,25	36,950	1,850	1,85	1,850	14,350	0,5605	0,0271	2,8250	2,9559	1,9834	0,3695
45,900	12,55	37,250	2,150	2,15	2,150	15,350	0,5592	0,0283	3,1000	3,0953	1,9308	0,3869
46,600	12,80	37,500	2,400	2,40	2,400	16,050	0,5584	0,0295	3,2000	3,2393	1,8801	0,4049
47,400	13,10	37,800	2,700	2,70	2,700	16,850	0,5577	0,0311	3,3500	3,4384	1,8153	0,4298
48,200	13,40	38,100	3,000	3,00	3,000	17,650	0,557	0,0320	3,5000	3,5410	1,7840	0,4426
48,800	13,75	38,450	3,350	3,35	3,350	18,250	0,5567	0,0328	3,6000	3,6457	1,7536	0,4557
49,300	14,00	38,700	3,600	3,60	3,600	18,750	0,5564	0,0341	3,8500	3,8066	1,7094	0,4758
49,800	14,30	39,000	3,900	3,90	3,900	19,250	0,5562	0,0359	4,1000	4,0283	1,6530	0,5035
50,500	14,75	39,450	4,350	4,35	4,350	19,950	0,5559	0,0369	4,1250	4,1423	1,6259	0,5178
51,200	15,05	39,750	4,650	4,65	4,650	20,650	0,5558	0,0387	4,4000	4,3762	1,5739	0,5470
51,400	15,30	40,000	4,900	4,90	4,900	20,850	0,5557	0,0392	4,5250	4,4360	1,5614	0,5545
51,900	15,70	40,400	5,300	5,30	5,300	21,350	0,5557	0,0412	4,9000	4,6799	1,5129	0,5850
52,700	16,00	40,700	5,600	5,60	5,600	22,150	0,5557	0,0417	4,7000	4,7421	1,5012	0,5928
53,000	16,15	40,850	5,750	5,75	5,750	22,450	0,5557	0,0422	4,9000	4,8048	1,4897	0,6006

Obtención de los coeficientes de descarga de aliviaderos de laberinto, según su posición en el canal de alivio y según la altura de inicio de la canaleta de descarga

53,600	16,70	41,400	6,300	6,30	6,300	23,050	0,5558	0,0453	5,2000	5,1908	1,4240	0,6489
41,300	11,45	36,150	1,050	1,05	1,050	10,750	0,5684	0,0458	5,2500	5,2568	1,4136	0,6571
42,600	11,65	36,350	1,250	1,25	1,250	12,050	0,5649	0,0485	5,5000	5,5930	1,3641	0,6991
44,300	12,00	36,700	1,600	1,60	1,600	13,750	0,5615	0,0491	5,6000	5,6616	1,3546	0,7077
45,900	12,35	37,050	1,950	1,95	1,950	15,350	0,5592	0,0513	5,8500	5,9396	1,3184	0,7424
46,200	12,50	37,200	2,100	2,10	2,100	15,650	0,5588	0,0525	6,0000	6,0808	1,3012	0,7601
46,700	12,70	37,400	2,300	2,30	2,300	16,150	0,5583	0,0536	6,2250	6,2235	1,2846	0,7779
47,600	12,90	37,600	2,500	2,50	2,500	17,050	0,5575	0,0542	6,4250	6,2953	1,2765	0,7869

Tabla AV.4  
Aproximación 1  
Ya/P = 0,25

h vertedero en V'' (cm)	Lectura		Lectura H (carga)		H (carga) (cm)	Overtedero Triangular		Q (m <sup>3</sup> /s)	H (cm)	H corr (cm)	Cd Ecuacion Tullis	Ho/P corr
	I (cm)	D (cm)	I (cm)	D (cm)	Promedio	H (cm)	C					
36,200	10,70	35,500	0,300	0,40	0,350	5,650	0,5994	0,0017	0,3000	0,3915	2,5305	0,0489
38,300	11,00	35,700	0,600	0,60	0,600	7,750	0,5816	0,0017	0,3500	0,3994	2,5632	0,0499
40,000	11,30	36,000	0,900	0,90	0,900	9,450	0,573	0,0037	0,6000	0,6131	2,8810	0,0766
41,500	11,55	36,250	1,150	1,15	1,150	10,950	0,5678	0,0046	0,8000	0,7063	2,8728	0,0883
42,700	11,80	36,500	1,400	1,40	1,400	12,150	0,5647	0,0060	0,9000	0,8599	2,8058	0,1075
43,700	12,10	36,800	1,700	1,70	1,700	13,150	0,5626	0,0075	1,0000	1,0198	2,7115	0,1275
44,800	12,40	37,100	2,000	2,00	2,000	14,250	0,5607	0,0068	1,0500	0,9461	2,7563	0,1183
45,500	12,70	37,400	2,300	2,30	2,300	14,950	0,5597	0,0086	1,1500	1,1383	2,6385	0,1423
46,400	12,95	37,650	2,550	2,55	2,550	15,850	0,5586	0,0092	1,2500	1,2012	2,6002	0,1501
47,000	13,30	38,000	2,900	2,90	2,900	16,450	0,558	0,0109	1,3000	1,3813	2,4945	0,1727
47,600	13,60	38,300	3,200	3,20	3,200	17,050	0,5575	0,0111	1,4000	1,4051	2,4811	0,1756
50,100	14,90	39,600	4,500	4,50	4,500	19,550	0,5561	0,0123	1,5000	1,5287	2,4137	0,1911
48,300	13,90	38,600	3,500	3,50	3,500	17,750	0,557	0,0130	1,6000	1,6064	2,3733	0,2008
49,000	14,20	38,900	3,800	3,80	3,800	18,450	0,5565	0,0135	1,7000	1,6597	2,3464	0,2075
49,800	14,55	39,250	4,150	4,15	4,150	19,250	0,5562	0,0145	1,8500	1,7702	2,2929	0,2213
50,300	14,85	39,550	4,450	4,45	4,450	19,750	0,556	0,0173	1,9500	2,0694	2,1615	0,2587
50,700	15,40	40,100	5,000	5,00	5,000	20,150	0,5559	0,0164	2,0000	1,9761	2,2005	0,2470
51,200	15,80	40,500	5,400	5,40	5,400	20,650	0,5558	0,0182	2,1000	2,1658	2,1228	0,2707
52,000	16,25	40,950	5,850	5,85	5,850	21,450	0,5557	0,0173	2,1500	2,0694	2,1615	0,2587
52,500	16,50	41,200	6,100	6,10	6,100	21,950	0,5557	0,0185	2,2000	2,1987	2,1100	0,2748
52,900	16,80	41,500	6,400	6,40	6,400	22,350	0,5557	0,0197	2,3000	2,3338	2,0593	0,2917
52,400	16,40	41,100	6,000	6,00	6,000	21,850	0,5557	0,0194	2,3500	2,2995	2,0719	0,2874
51,500	16,05	40,750	5,650	5,65	5,650	20,950	0,5557	0,0227	2,6000	2,6600	1,9480	0,3325
50,500	15,25	39,950	4,850	4,85	4,850	19,950	0,5559	0,0214	2,5000	2,5111	1,9970	0,3139
36,100	10,70	35,400	0,300	0,30	0,300	5,550	0,6006	0,0220	2,5500	2,5847	1,9724	0,3231
39,000	11,20	35,900	0,800	0,80	0,800	8,450	0,5776	0,0234	2,7000	2,7369	1,9237	0,3421
40,900	11,40	36,100	1,000	1,00	1,000	10,350	0,5697	0,0249	2,9000	2,8959	1,8757	0,3620
42,600	11,70	36,400	1,300	1,30	1,300	12,050	0,5649	0,0256	3,0000	2,9780	1,8520	0,3722
43,200	11,90	36,600	1,500	1,50	1,500	12,650	0,5636	0,0271	3,1500	3,1477	1,8050	0,3935
44,100	12,25	36,950	1,850	1,85	1,850	13,550	0,5618	0,0283	3,3000	3,2799	1,7702	0,4100
45,100	12,55	37,250	2,150	2,15	2,150	14,550	0,5603	0,0291	3,3500	3,3705	1,7471	0,4213
45,800	12,80	37,500	2,400	2,40	2,400	15,250	0,5593	0,0311	3,5500	3,6061	1,6901	0,4508
46,600	13,10	37,800	2,700	2,70	2,700	16,050	0,5584	0,0311	3,6000	3,6061	1,6901	0,4508
47,400	13,40	38,100	3,000	3,00	3,000	16,850	0,5577	0,0346	4,0000	4,0118	1,6005	0,5015
48,000	13,75	38,450	3,350	3,35	3,350	17,450	0,5572	0,0341	4,0500	3,9591	1,6116	0,4949
48,500	14,00	38,700	3,600	3,60	3,600	17,950	0,5568	0,0369	4,3000	4,2851	1,5453	0,5356
49,000	14,30	39,000	3,900	3,90	3,900	18,450	0,5565	0,0359	4,2000	4,1739	1,5673	0,5217
49,700	14,75	39,450	4,350	4,35	4,350	19,150	0,5562	0,0373	4,4000	4,3418	1,5343	0,5427
50,400	15,05	39,750	4,650	4,65	4,650	19,850	0,556	0,0378	4,3500	4,3990	1,5234	0,5499
50,600	15,30	40,000	4,900	4,90	4,900	20,050	0,5559	0,0383	4,5000	4,4570	1,5125	0,5571
51,100	15,70	40,400	5,300	5,30	5,300	20,550	0,5558	0,0387	4,5000	4,5157	1,5016	0,5645

Obtención de los coeficientes de descarga de aliviaderos de laberinto, según su posición en el canal de alivio y según la altura de inicio de la canaleta de descarga

51,900	16,00	40,700	5,600	5,60	5,600	21,350	0,5557	0,0407	4,7000	4,7576	1,4582	0,5947
52,200	16,15	40,850	5,750	5,75	5,750	21,650	0,5557	0,0412	4,8000	4,8200	1,4474	0,6025
52,800	16,70	41,400	6,300	6,30	6,300	22,250	0,5557	0,0448	5,3000	5,2789	1,3724	0,6599
40,500	11,45	36,150	1,050	1,05	1,050	9,950	0,5711	0,0427	5,0500	5,0118	1,4152	0,6265
41,800	11,65	36,350	1,250	1,25	1,250	11,250	0,567	0,0463	5,5500	5,4884	1,3405	0,6860
43,500	12,00	36,700	1,600	1,60	1,600	12,950	0,563	0,0453	5,3500	5,3478	1,3618	0,6685
45,100	12,35	37,050	1,950	1,95	1,950	14,550	0,5603	0,0474	5,6000	5,6326	1,3193	0,7041
45,400	12,50	37,200	2,100	2,10	2,100	14,850	0,5598	0,0480	5,7000	5,7061	1,3088	0,7133
45,900	12,70	37,400	2,300	2,30	2,300	15,350	0,5592	0,0496	5,9000	5,9326	1,2772	0,7416
46,800	12,90	37,600	2,500	2,50	2,500	16,250	0,5582	0,0502	6,0000	6,0102	1,2667	0,7513

Ya/P = 0,625      Aproximación 2      Tabla AV.5

h vertedero en V' (cm)	Lectura		Lectura H (carga)		H (carga) (cm) Promedio	Overtedero Triangular		Q (m3/s)	H (cm)	H corr (cm)	Cd Ecuación Tullis	Ho/P corr
	I (cm)	D (cm)	I (cm)	D (cm)		H (cm)	C					
36,200	10,50	35,200	0,100	0,10	0,100	5,650	0,599	0,0017	0,1000	0,2868	4,2115	0,0359
37,600	10,75	35,450	0,350	0,35	0,350	7,050	0,586	0,0023	0,2000	0,3287	4,5402	0,0411
38,100	10,90	35,600	0,500	0,50	0,500	7,550	0,583	0,0030	0,3500	0,3790	4,7165	0,0474
40,000	11,05	35,750	0,650	0,65	0,650	9,450	0,573	0,0032	0,4000	0,3950	4,7417	0,0494
41,600	11,30	36,000	0,900	0,90	0,900	11,050	0,568	0,0035	0,5000	0,4205	4,7609	0,0526
42,700	11,60	36,300	1,200	1,20	1,200	12,150	0,565	0,0050	0,6000	0,5417	4,6547	0,0677
43,900	11,85	36,550	1,450	1,45	1,450	13,350	0,562	0,0060	0,6500	0,6280	4,4952	0,0785
45,100	12,10	36,800	1,700	1,70	1,700	14,550	0,560	0,0062	0,7000	0,6414	4,4684	0,0802
45,700	12,35	37,050	1,950	1,95	1,950	15,150	0,559	0,0075	0,8000	0,7584	4,2283	0,0948
46,500	12,55	37,250	2,150	2,15	2,150	15,950	0,559	0,0088	0,9000	0,8763	3,9940	0,1095
47,500	12,90	37,600	2,500	2,50	2,500	16,950	0,558	0,0096	1,0000	0,9507	3,8552	0,1188
48,100	13,30	38,000	2,900	2,90	2,900	17,550	0,557	0,0105	1,1000	1,0306	3,7152	0,1288
48,700	13,50	38,200	3,100	3,10	3,100	18,150	0,557	0,0111	1,2000	1,0942	3,6104	0,1368
49,200	13,80	38,500	3,400	3,40	3,400	18,650	0,556	0,0125	1,3000	1,2315	3,4031	0,1539
49,800	14,20	38,900	3,800	3,80	3,800	19,250	0,556	0,0140	1,4500	1,3829	3,2019	0,1729
50,600	14,50	39,200	4,100	4,10	4,100	20,050	0,556	0,0148	1,5000	1,4640	3,1043	0,1830
51,000	14,80	39,500	4,400	4,40	4,400	20,450	0,556	0,0159	1,6000	1,5782	2,9779	0,1973
51,600	15,15	39,850	4,750	4,75	4,750	21,050	0,556	0,0173	1,7000	1,7307	2,8262	0,2163
52,100	15,50	40,200	5,100	5,10	5,100	21,550	0,556	0,0182	1,8000	1,8275	2,7388	0,2284
52,900	15,80	40,500	5,400	5,40	5,400	22,350	0,556	0,0191	1,9500	1,9285	2,6542	0,2411
53,100	16,10	40,800	5,700	5,70	5,700	22,550	0,556	0,0204	2,0000	2,0696	2,5459	0,2587
53,600	16,40	41,100	6,000	6,00	6,000	23,050	0,556	0,0217	2,1500	2,2183	2,4427	0,2773
54,000	16,70	41,400	6,300	6,30	6,300	23,450	0,556	0,0224	2,2000	2,2955	2,3931	0,2869
52,700	15,90	40,600	5,500	5,50	5,500	22,150	0,556	0,0231	2,3000	2,3747	2,3447	0,2968
51,200	15,10	39,800	4,700	4,70	4,700	20,650	0,556	0,0241	2,4000	2,4969	2,2746	0,3121
50,600	14,40	39,100	4,000	4,00	4,000	20,050	0,556	0,0252	2,5000	2,6235	2,2073	0,3279
50,300	14,30	39,000	3,900	3,90	3,900	19,750	0,556	0,0256	2,6000	2,6667	2,1856	0,3333
49,600	14,00	38,700	3,600	3,60	3,600	19,050	0,556	0,0260	2,7000	2,7103	2,1641	0,3388
49,300	13,90	38,600	3,500	3,50	3,500	18,750	0,556	0,0267	2,8000	2,7990	2,1221	0,3499
49,000	13,70	38,400	3,300	3,30	3,300	18,450	0,557	0,0275	2,9000	2,8896	2,0813	0,3612
47,900	13,20	37,900	2,800	2,80	2,800	17,350	0,557	0,0287	3,0000	3,0291	2,0225	0,3786
47,600	13,00	37,700	2,600	2,60	2,600	17,050	0,557	0,0299	3,1000	3,1727	1,9664	0,3966
46,900	12,70	37,400	2,300	2,30	2,300	16,350	0,558	0,0275	3,2000	2,8896	2,0813	0,3612
46,100	12,40	37,100	2,000	2,00	2,000	15,550	0,559	0,0311	3,3000	3,3203	1,9129	0,4150
45,400	12,20	36,900	1,800	1,80	1,800	14,850	0,560	0,0320	3,4000	3,4210	1,8787	0,4276
44,600	12,00	36,700	1,600	1,60	1,600	14,050	0,561	0,0324	3,5000	3,4719	1,8621	0,4340
44,200	11,90	36,600	1,500	1,50	1,500	13,650	0,562	0,0337	3,6000	3,6274	1,8138	0,4534
43,300	11,70	36,400	1,300	1,30	1,300	12,750	0,563	0,0346	3,8000	3,7330	1,7831	0,4666
42,400	11,50	36,200	1,100	1,10	1,100	11,850	0,565	0,0369	3,9000	4,0038	1,7110	0,5005
42,000	11,40	36,100	1,000	1,00	1,000	11,450	0,566	0,0383	4,0000	4,1705	1,6710	0,5213
40,900	11,20	35,900	0,800	0,80	0,800	10,350	0,570	0,0383	4,1000	4,1705	1,6710	0,5213
39,300	11,00	35,700	0,600	0,60	0,600	8,750	0,576	0,0392	4,3000	4,2832	1,6456	0,5354
37,800	10,80	35,500	0,400	0,40	0,400	7,250	0,585	0,0402	4,4000	4,3971	1,6214	0,5496
36,900	10,60	35,300	0,200	0,20	0,200	6,350	0,592	0,0417	4,6000	4,5699	1,5869	0,5712
40,100	11,10	35,800	0,700	0,70	0,700	9,550	0,573	0,0412	4,7000	4,5121	1,5981	0,5640
46,700	12,60	37,300	2,200	2,20	2,200	16,150	0,558	0,0432	4,7500	4,7446	1,5547	0,5931
47,200	12,80	37,500	2,400	2,40	2,400	16,650	0,558	0,0448	5,0000	4,9210	1,5248	0,6151

Obtención de los coeficientes de descarga de aliviaderos de laberinto, según su posición en el canal de alivio y según la altura de inicio de la canaleta de descarga

47,700	13,10	37,800	2,700	2,70	2,700	17,150	0,557	0,0458	5,1000	5,0391	1,5062	0,6299
48,400	13,40	38,100	3,000	3,00	3,000	17,850	0,557	0,0469	5,2000	5,1577	1,4885	0,6447
48,100	13,60	38,300	3,200	3,20	3,200	17,550	0,557	0,0485	5,3000	5,3357	1,4640	0,6670
50,800	14,70	39,400	4,300	4,30	4,300	20,250	0,556	0,0502	5,4000	5,5134	1,4417	0,6892
51,300	15,00	39,700	4,600	4,60	4,600	20,750	0,556	0,0491	5,5000	5,3950	1,4563	0,6744
51,900	15,40	40,100	5,000	5,00	5,000	21,350	0,556	0,0507	5,6000	5,5725	1,4348	0,6966
52,300	15,60	40,300	5,200	5,20	5,200	21,750	0,556	0,0560	5,6000	6,0949	1,3842	0,7619
52,600	15,70	40,400	5,300	5,30	5,300	22,050	0,556	0,0513	5,7000	5,6314	1,4281	0,7039
53,000	16,00	40,700	5,600	5,60	5,600	22,450	0,556	0,0525	5,8000	5,7488	1,4155	0,7186
53,300	16,20	40,900	5,800	5,80	5,800	22,750	0,556	0,0542	6,0000	5,9233	1,3987	0,7404
53,700	16,50	41,200	6,100	6,10	6,100	23,150	0,556	0,0548	6,1000	5,9808	1,3936	0,7476
53,900	16,00	40,700	5,600	5,60	5,600	23,350	0,556	0,0566	6,3000	6,1514	1,3799	0,7689

**Ya/P = 0,50**      **Aproximación 2**      Tabla AV.6

h vertedero en V" (cm)	Lectura		Lectura H (carga)		H (carga) (cm) Promedio	O vertedero Triangular		Q (m <sup>3</sup> /s)	H (cm)	H corr (cm)	Cd Ecuacion Tullis	Ho/P corr
	l (cm)	D (cm)	l (cm)	D (cm)		H (cm)	C					
37,100	10,70	35,400	0,300	0,30	0,300	6,550	0,590347	0,0025	0,3000	0,5511	2,2532	0,0689
37,900	10,90	35,600	0,500	0,50	0,500	7,350	0,584163	0,0033	0,5000	0,6039	2,5930	0,0755
39,200	11,00	35,700	0,600	0,60	0,600	8,650	0,576606	0,0049	0,6000	0,7153	2,9830	0,0894
39,600	11,25	35,950	0,850	0,85	0,850	9,050	0,574733	0,0051	0,7000	0,7357	3,0232	0,0920
41,500	11,50	36,200	1,100	1,10	1,100	10,950	0,567817	0,0059	0,8000	0,7907	3,1006	0,0988
42,700	11,75	36,450	1,350	1,35	1,350	12,150	0,564676	0,0054	0,8500	0,7570	3,0581	0,0946
43,800	11,90	36,600	1,500	1,50	1,500	13,250	0,562389	0,0065	0,9500	0,8394	3,1394	0,1049
44,700	12,20	36,900	1,800	1,80	1,800	14,150	0,560854	0,0086	1,1000	1,0123	3,1459	0,1265
45,700	12,40	37,100	2,000	2,00	2,000	15,150	0,559448	0,0092	1,1000	1,0626	3,1252	0,1328
46,700	12,70	37,400	2,300	2,30	2,300	16,150	0,55831	0,0118	1,3000	1,2951	2,9766	0,1619
47,400	13,10	37,800	2,700	2,70	2,700	16,850	0,557656	0,0111	1,3500	1,2320	3,0221	0,1540
48,300	13,35	38,050	2,950	2,95	2,950	17,750	0,556968	0,0137	1,5000	1,4812	2,8355	0,1852
48,600	13,70	38,400	3,300	3,30	3,300	18,050	0,556774	0,0100	1,5500	1,1343	3,0864	0,1418
49,200	14,00	38,700	3,600	3,60	3,600	18,650	0,556438	0,0162	1,8000	1,7237	2,6547	0,2155
49,700	14,25	38,950	3,850	3,85	3,850	19,150	0,556207	0,0173	1,8000	1,8436	2,5706	0,2304
50,300	14,50	39,200	4,100	4,10	4,100	19,750	0,555987	0,0191	2,0000	2,0381	2,4430	0,2548
50,800	14,85	39,550	4,450	4,45	4,450	20,250	0,555849	0,0204	2,1000	2,1780	2,3582	0,2723
51,000	15,05	39,750	4,650	4,65	4,650	20,450	0,555804	0,0224	2,3000	2,4037	2,2334	0,3005
51,300	15,30	40,000	4,900	4,90	4,900	20,750	0,55575	0,0234	2,3000	2,5238	2,1725	0,3155
51,800	15,65	40,350	5,250	5,25	5,250	21,250	0,555689	0,0249	2,7000	2,6915	2,0933	0,3364
52,700	16,05	40,750	5,650	5,65	5,650	22,150	0,555673	0,0252	2,7500	2,7349	2,0739	0,3419
53,200	16,40	41,100	6,000	6,00	6,000	22,650	0,555714	0,0283	2,9500	3,1015	1,9251	0,3877
53,800	16,75	41,450	6,350	6,35	6,350	23,250	0,555809	0,0279	3,0000	3,0537	1,9430	0,3817
51,300	17,00	41,700	6,600	6,60	6,600	20,750	0,55575	0,0307	3,2500	3,3997	1,8216	0,4250
39,400	11,10	35,800	0,700	0,70	0,700	8,850	0,575647	0,0295	3,3000	3,2481	1,8724	0,4060
39,900	11,20	35,900	0,800	0,80	0,800	9,350	0,573438	0,0311	3,5000	3,4513	1,8050	0,4314
40,300	11,35	36,050	0,950	0,95	0,950	9,750	0,571845	0,0320	3,6000	3,5562	1,7726	0,4445
41,800	11,50	36,200	1,100	1,10	1,100	11,250	0,566959	0,0337	3,7500	3,7723	1,7103	0,4715
43,000	11,70	36,400	1,300	1,30	1,300	12,450	0,564002	0,0341	3,8500	3,8276	1,6953	0,4784
42,200	11,95	36,650	1,550	1,55	1,550	11,650	0,565893	0,0364	4,0500	4,1118	1,6234	0,5140
45,100	12,20	36,900	1,800	1,80	1,800	14,550	0,560257	0,0369	4,1000	4,1701	1,6097	0,5213
46,100	12,50	37,200	2,100	2,10	2,100	15,550	0,558963	0,0383	4,3000	4,3478	1,5699	0,5435
47,000	12,70	37,400	2,300	2,30	2,300	16,450	0,558016	0,0397	4,3500	4,5295	1,5320	0,5662
47,500	13,15	37,850	2,750	2,75	2,750	16,950	0,557571	0,0392	4,4500	4,4685	1,5444	0,5586
48,200	13,40	38,100	3,000	3,00	3,000	17,650	0,557036	0,0402	4,6500	4,5909	1,5198	0,5739
48,900	13,65	38,350	3,250	3,25	3,250	18,350	0,556598	0,0407	4,7000	4,6527	1,5078	0,5816
49,000	13,90	38,600	3,500	3,50	3,500	18,450	0,556543	0,0407	4,8000	4,6527	1,5078	0,5816
49,600	14,15	38,850	3,750	3,75	3,750	19,050	0,55625	0,0417	4,9000	4,7775	1,4846	0,5972
50,200	14,45	39,150	4,050	4,05	4,050	19,650	0,55602	0,0432	5,0500	4,9674	1,4513	0,6209
50,900	14,75	39,450	4,350	4,35	4,350	20,350	0,555826	0,0442	5,2500	5,0957	1,4302	0,6370
51,100	15,10	39,800	4,700	4,70	4,700	20,550	0,555785	0,0469	5,3500	5,4213	1,3813	0,6777
51,600	15,45	40,150	5,050	5,05	5,050	21,050	0,555709	0,0453	5,4000	5,2252	1,4100	0,6531
52,300	15,75	40,450	5,350	5,35	5,350	21,750	0,555666	0,0474	5,6000	5,4871	1,3722	0,6859
52,900	16,20	40,900	5,800	5,80	5,800	22,350	0,555685	0,0491	5,6500	5,6855	1,3461	0,7107
53,500	16,50	41,200	6,100	6,10	6,100	22,950	0,555755	0,0502	5,8000	5,8184	1,3298	0,7273
53,000	16,30	41,000	5,900	5,90	5,900	22,450	0,555693	0,0507	5,9000	5,8850	1,3220	0,7356
52,400	16,00	40,700	5,600	5,60	5,600	21,850	0,555665	0,0519	6,0000	6,0184	1,3070	0,7523
52,000	15,80	40,500	5,400	5,40	5,400	21,450	0,555675	0,0536	6,1000	6,2183	1,2862	0,7773
51,100	15,20	39,900	4,800	4,80	4,800	20,550	0,555785	0,0554	6,3500	6,4174	1,2674	0,8022
50,600	14,70	39,400	4,300	4,30	4,300	20,050	0,555899	0,0554	6,3500	6,4174	1,2674	0,8022



Obtención de los coeficientes de descarga de aliviaderos de laberinto, según su posición en el canal de alivio y según la altura de inicio de la canaleta de descarga

**Ya/P = 0,375** Aproximación 2 Tabla AV.7

h vertedero en V' (cm)	Lectura		Lectura H (carga)		H (carga) (cm) Promedio	Overtedero Triangular		Q (m3/s)	H (cm)	H corr (cm)	Cd Ecuacion Tullis	Ho/P corr
	I (cm)	D (cm)	I (cm)	D (cm)		H (cm)	C					
38,500	10,90	35,600	0,500	0,50	0,500	7,950	0,580358	0,0040	0,5000	0,6335	2,9175	0,0792
38,900	11,10	35,800	0,700	0,70	0,700	8,350	0,578134	0,0045	0,7000	0,6736	2,9966	0,0842
39,400	11,20	35,900	0,800	0,80	0,800	8,850	0,575647	0,0051	0,8000	0,7288	3,0660	0,0911
41,300	11,40	36,100	1,000	1,00	1,000	10,750	0,568419	0,0082	1,0000	0,9968	3,0778	0,1246
42,400	11,60	36,300	1,200	1,20	1,200	11,850	0,565392	0,0105	1,2000	1,2009	2,9536	0,1501
43,500	11,90	36,600	1,500	1,50	1,500	12,950	0,562964	0,0130	1,5000	1,4471	2,7759	0,1809
44,600	12,10	36,800	1,700	1,70	1,700	14,050	0,561012	0,0159	1,7000	1,7404	2,5714	0,2175
45,500	12,40	37,100	2,000	2,00	2,000	14,950	0,559706	0,0185	2,0000	2,0189	2,3981	0,2524
46,400	12,65	37,350	2,250	2,25	2,250	15,850	0,558626	0,0214	2,2500	2,3346	2,2277	0,2918
47,200	12,90	37,600	2,500	2,50	2,500	16,650	0,557832	0,0241	2,5000	2,6480	2,0828	0,3310
47,900	13,20	37,900	2,800	2,80	2,800	17,350	0,557253	0,0267	2,8000	2,9482	1,9631	0,3685
48,400	13,50	38,200	3,100	3,10	3,100	17,850	0,556901	0,0287	3,1000	3,1777	1,8822	0,3972
49,100	13,80	38,500	3,400	3,40	3,400	18,550	0,55649	0,0315	3,4000	3,5200	1,7762	0,4400
49,600	14,15	38,850	3,750	3,75	3,750	19,050	0,55625	0,0337	3,7500	3,7791	1,7057	0,4724
50,300	14,50	39,200	4,100	4,10	4,100	19,750	0,555987	0,0369	4,1000	4,1615	1,6147	0,5202
50,900	14,80	39,500	4,400	4,40	4,400	20,350	0,555826	0,0397	4,4000	4,5064	1,5438	0,5633
51,500	15,15	39,850	4,750	4,75	4,750	20,950	0,555721	0,0427	4,7500	4,8654	1,4795	0,6082
52,000	15,50	40,200	5,100	5,10	5,100	21,450	0,555675	0,0453	5,1000	5,1739	1,4310	0,6467
52,600	15,80	40,500	5,400	5,40	5,400	22,050	0,555669	0,0485	5,4000	5,5529	1,3789	0,6941
53,100	16,30	41,000	5,900	5,90	5,900	22,550	0,555703	0,0513	5,9000	5,8739	1,3406	0,7342
53,600	16,60	41,300	6,200	6,20	6,200	23,050	0,555772	0,0542	6,2000	6,1972	1,3070	0,7746
52,800	16,00	40,700	5,600	5,60	5,600	22,250	0,555678	0,0496	5,6000	5,6809	1,3630	0,7101
52,200	15,65	40,350	5,250	5,25	5,250	21,650	0,555668	0,0463	5,2500	5,2993	1,4129	0,6624
51,100	15,00	39,700	4,600	4,60	4,600	20,550	0,555785	0,0407	4,6000	4,6246	1,5216	0,5781
51,400	15,35	40,050	4,950	4,95	4,950	20,850	0,555735	0,0422	4,9500	4,8047	1,4897	0,6006
52,100	15,60	40,300	5,200	5,20	5,200	21,550	0,555671	0,0458	5,2000	5,2365	1,4219	0,6546
52,600	15,90	40,600	5,500	5,50	5,500	22,050	0,555669	0,0485	5,5000	5,5529	1,3789	0,6941
53,100	16,35	41,050	5,950	5,95	5,950	22,550	0,555703	0,0513	5,9500	5,8739	1,3406	0,7342
53,600	16,60	41,300	6,200	6,20	6,200	23,050	0,555772	0,0542	6,2000	6,1972	1,3070	0,7746
53,300	16,45	41,150	6,050	6,05	6,050	22,750	0,555726	0,0525	6,0500	6,0031	1,3266	0,7504
52,800	16,20	40,900	5,800	5,80	5,800	22,250	0,555678	0,0496	5,8000	5,6809	1,3630	0,7101
51,200	15,25	39,950	4,850	4,85	4,850	20,650	0,555766	0,0412	4,8500	4,6843	1,5108	0,5855
50,700	14,85	39,550	4,450	4,45	4,450	20,150	0,555873	0,0387	4,4500	4,3898	1,5667	0,5487
50,300	14,60	39,300	4,200	4,20	4,200	19,750	0,555987	0,0369	4,2000	4,1615	1,6147	0,5202
49,600	14,35	39,050	3,950	3,95	3,950	19,050	0,55625	0,0337	3,9500	3,7791	1,7057	0,4724
49,100	14,00	38,700	3,600	3,60	3,600	18,550	0,55649	0,0315	3,6000	3,5200	1,7762	0,4400
48,300	13,75	38,450	3,350	3,35	3,350	17,750	0,556968	0,0283	3,3500	3,1308	1,8981	0,3914
47,700	13,50	38,200	3,100	3,10	3,100	17,150	0,557408	0,0260	3,1000	2,8599	1,9965	0,3575
47,000	13,05	37,750	2,650	2,65	2,650	16,450	0,558016	0,0234	2,6500	2,5667	2,1183	0,3208
46,900	12,80	37,500	2,400	2,40	2,400	16,350	0,558112	0,0231	2,4000	2,5268	2,1362	0,3158
45,800	12,50	37,200	2,100	2,10	2,100	15,250	0,559322	0,0194	2,1000	2,1199	2,3407	0,2650
45,200	12,30	37,000	1,900	1,90	1,900	14,650	0,560115	0,0176	1,9000	1,9220	2,4559	0,2403
44,900	12,20	36,900	1,800	1,80	1,800	14,350	0,560549	0,0167	1,8000	1,8292	2,5137	0,2287
44,100	12,00	36,700	1,600	1,60	1,600	13,550	0,561846	0,0145	1,6000	1,6009	2,6663	0,2001
43,100	11,80	36,500	1,400	1,40	1,400	12,550	0,563786	0,0120	1,4000	1,3524	2,8449	0,1690
42,800	11,70	36,400	1,300	1,30	1,300	12,250	0,564447	0,0113	1,3000	1,2853	2,8936	0,1607
41,800	11,50	36,200	1,100	1,10	1,100	11,250	0,566959	0,0092	1,1000	1,0847	3,0300	0,1356
40,400	11,30	36,000	0,900	0,90	0,900	9,850	0,571468	0,0067	0,9000	0,8576	3,1161	0,1072

**Ya/P = 0,25** Aproximación 2 Tabla AV.8

h vertedero en V' (cm)	Lectura		Lectura H (carga)		H (carga) (cm) Promedio	Overtedero Triangular		Q (m3/s)	H (cm)	H corr (cm)	Cd Ecuacion Tullis	Ho/P corr
	I (cm)	D (cm)	I (cm)	D (cm)		H (cm)	C					
36,400	10,80	35,500	0,400	0,40	0,400	5,850	0,597166	0,0017	0,3000	0,5149	1,6778	0,0644
38,300	11,10	35,800	0,700	0,70	0,700	7,750	0,581559	0,0019	0,4000	0,5348	1,7973	0,0669
40,000	11,40	36,100	1,000	1,00	1,000	9,450	0,573026	0,0037	0,7000	0,7028	2,3473	0,0879
41,500	11,65	36,350	1,250	1,25	1,250	10,950	0,567817	0,0046	0,9000	0,7852	2,4505	0,0982
42,700	11,90	36,600	1,500	1,50	1,500	12,150	0,564676	0,0060	1,0000	0,9253	2,5135	0,1157

Obtención de los coeficientes de descarga de aliviaderos de laberinto, según su posición en el canal de alivio y según la altura de inicio de la canaleta de descarga

43,800	12,30	37,000	1,900	1,90	1,900	13,250	0,562389	0,0075	1,1000	1,0764	2,5005	0,1345
44,800	12,50	37,200	2,100	2,10	2,100	14,250	0,5607	0,0068	1,1500	1,0061	2,5134	0,1258
45,600	12,80	37,500	2,400	2,40	2,400	15,050	0,559576	0,0086	1,2500	1,1916	2,4634	0,1489
46,400	13,00	37,700	2,600	2,60	2,600	15,850	0,558626	0,0092	1,3500	1,2538	2,4381	0,1567
47,100	13,30	38,000	2,900	2,90	2,900	16,550	0,557923	0,0109	1,4000	1,4360	2,3535	0,1795
47,600	13,50	38,200	3,100	3,10	3,100	17,050	0,557488	0,0111	1,5000	1,4605	2,3415	0,1826
47,900	13,70	38,400	3,300	3,30	3,300	17,350	0,557253	0,0123	1,6000	1,5889	2,2777	0,1986
48,300	13,90	38,600	3,500	3,50	3,500	17,750	0,556968	0,0130	1,6000	1,6710	2,2371	0,2089
49,000	14,30	39,000	3,900	3,90	3,900	18,450	0,556543	0,0137	1,9000	1,7568	2,1951	0,2196
49,800	14,65	39,350	4,250	4,25	4,250	19,250	0,556166	0,0145	1,9500	1,8467	2,1520	0,2308
50,300	14,95	39,650	4,550	4,55	4,550	19,750	0,555987	0,0173	2,0500	2,1760	2,0046	0,2720
50,700	15,50	40,200	5,100	5,10	5,100	20,150	0,555873	0,0164	2,1000	2,0723	2,0492	0,2590
51,200	15,90	40,600	5,500	5,50	5,500	20,650	0,555766	0,0182	2,2000	2,2842	1,9600	0,2855
52,000	16,35	41,050	5,950	5,95	5,950	21,450	0,555675	0,0173	2,2500	2,1760	2,0046	0,2720
52,500	16,60	41,300	6,200	6,20	6,200	21,950	0,555667	0,0188	2,4000	2,3587	1,9304	0,2948
52,900	16,80	41,500	6,400	6,40	6,400	22,350	0,555685	0,0197	2,4000	2,4744	1,8863	0,3093
52,400	16,50	41,200	6,100	6,10	6,100	21,850	0,555665	0,0194	2,5000	2,4353	1,9010	0,3044
51,500	16,15	40,850	5,750	5,75	5,750	20,950	0,555721	0,0214	2,6000	2,6774	1,8138	0,3347
50,500	15,35	40,050	4,950	4,95	4,950	19,950	0,555927	0,0227	2,6000	2,8493	1,7571	0,3562
36,100	10,70	35,400	0,300	0,30	0,300	5,550	0,60062	0,0220	2,8000	2,7623	1,7853	0,3453
39,000	11,30	36,000	0,900	0,90	0,900	8,450	0,577612	0,0210	2,8000	2,6358	1,8282	0,3295
40,900	11,50	36,200	1,100	1,10	1,100	10,350	0,569702	0,0238	2,9000	2,9838	1,7155	0,3730
42,600	11,80	36,500	1,400	1,40	1,400	12,050	0,56491	0,0249	3,0000	3,1232	1,6747	0,3904
43,200	12,00	36,700	1,600	1,60	1,600	12,650	0,563575	0,0231	3,0000	2,8936	1,7432	0,3617
44,100	12,35	37,050	1,950	1,95	1,950	13,550	0,561846	0,0256	3,1000	3,2188	1,6481	0,4024
45,100	12,65	37,350	2,250	2,25	2,250	14,550	0,560257	0,0260	3,2000	3,2675	1,6349	0,4084
45,800	12,90	37,600	2,500	2,50	2,500	15,250	0,559322	0,0267	3,3000	3,3664	1,6089	0,4208
46,600	13,20	37,900	2,800	2,80	2,800	16,050	0,558413	0,0271	3,3500	3,4167	1,5961	0,4271
47,400	13,40	38,100	3,000	3,00	3,000	16,850	0,557656	0,0283	3,5000	3,5708	1,5583	0,4464
48,000	13,75	38,450	3,350	3,35	3,350	17,450	0,557179	0,0283	3,6000	3,5708	1,5583	0,4464
48,500	14,10	38,800	3,700	3,70	3,700	17,950	0,556837	0,0291	3,7000	3,6764	1,5337	0,4595
49,000	14,40	39,100	4,000	4,00	4,000	18,450	0,556543	0,0299	3,8000	3,7841	1,5096	0,4730
49,700	14,85	39,550	4,450	4,45	4,450	19,150	0,556207	0,0311	3,9000	3,9498	1,4744	0,4937
50,400	15,15	39,850	4,750	4,75	4,750	19,850	0,555956	0,0311	4,0000	3,9498	1,4744	0,4937
50,600	15,40	40,100	5,000	5,00	5,000	20,050	0,555899	0,0346	4,2500	4,4153	1,3862	0,5519
51,100	15,80	40,500	5,400	5,40	5,400	20,550	0,555785	0,0341	4,4500	4,3552	1,3967	0,5444
51,900	16,10	40,800	5,700	5,70	5,700	21,350	0,555682	0,0369	4,5500	4,7233	1,3353	0,5904
52,200	16,25	40,950	5,850	5,85	5,850	21,650	0,555668	0,0373	4,7500	4,7864	1,3256	0,5983
52,800	16,80	41,500	6,400	6,40	6,400	22,250	0,555678	0,0378	4,9500	4,8500	1,3159	0,6063
40,500	11,55	36,250	1,150	1,15	1,150	9,950	0,571099	0,0383	5,0000	4,9141	1,3064	0,6143
41,800	11,75	36,450	1,350	1,35	1,350	11,250	0,566959	0,0387	5,1000	4,9787	1,2971	0,6223
43,500	12,00	36,700	1,600	1,60	1,600	12,950	0,562964	0,0407	5,4000	5,2416	1,2610	0,6552
45,100	12,45	37,150	2,050	2,05	2,050	14,550	0,560257	0,0412	5,5000	5,3085	1,2523	0,6636
45,400	12,60	37,300	2,200	2,20	2,200	14,850	0,55984	0,0448	5,7000	5,7883	1,1953	0,7235
45,900	12,80	37,500	2,400	2,40	2,400	15,350	0,5592	0,0427	5,7500	5,5117	1,2271	0,6890
46,800	13,00	37,700	2,600	2,60	2,600	16,250	0,55821	0,0463	5,8500	5,9996	1,1729	0,7500
46,300	13,20	37,900	2,800	2,80	2,800	15,750	0,558735	0,0453	5,9500	5,8584	1,1877	0,7323
46,900	13,40	38,100	3,000	3,00	3,000	16,350	0,558112	0,0474	6,1000	6,1422	1,1586	0,7678
47,700	13,60	38,300	3,200	3,20	3,200	17,150	0,557408	0,0480	6,2000	6,2139	1,1517	0,7767
48,300	14,00	38,700	3,600	3,60	3,600	17,750	0,556968	0,0502	6,4000	6,5035	1,1253	0,8129
48,700	14,20	38,900	3,800	3,80	3,800	18,150	0,556714	0,0496	6,4000	6,4307	1,1317	0,8038

Tabla AV.9  
Ya/P = 0,625 Aproximacion 3

h vertedero en V" (cm)	Lectura		Lectura H (carga)		H (carga) (cm)	Overtedero Triangular		Q (m3/s)	H (cm)	H corr (cm)	Cd Ecuacion Tullis	Ho/P corr
	l (cm)	D (cm)	l (cm)	D (cm)	Promedio	H (cm)	C					
39,000	10,30	35,700	0,600	0,60	0,600	8,450	0,578	0,005	0,600	0,532	4,400	0,066
41,000	10,50	35,900	0,800	0,80	0,800	10,450	0,569	0,006	0,700	0,663	4,250	0,083
42,100	10,70	36,100	1,000	1,00	1,000	11,550	0,566	0,008	0,800	0,790	4,070	0,099
43,300	10,90	36,300	1,200	1,20	1,200	12,750	0,563	0,009	0,900	0,885	3,935	0,111
44,500	11,10	36,500	1,400	1,40	1,400	13,950	0,561	0,010	1,000	0,971	3,817	0,121
45,500	11,30	36,700	1,600	1,60	1,600	14,950	0,560	0,011	1,100	1,044	3,721	0,130
46,500	11,70	37,100	2,000	2,00	2,000	15,950	0,559	0,013	1,200	1,202	3,528	0,150

Obtención de los coeficientes de descarga de aliviaderos de laberinto, según su posición en el canal de alivio y según la altura de inicio de la canaleta de descarga

47,200	11,90	37,300	2,200	2,20	2,200	16,650	0,558	0,014	1,300	1,310	3,408	0,164
47,700	12,15	37,550	2,450	2,45	2,450	17,150	0,557	0,016	1,400	1,474	3,243	0,184
48,400	12,40	37,800	2,700	2,70	2,700	17,850	0,557	0,017	1,500	1,625	3,105	0,203
48,900	12,70	38,100	3,000	3,00	3,000	18,350	0,557	0,018	1,600	1,733	3,015	0,217
49,600	12,90	38,300	3,200	3,20	3,200	19,050	0,556	0,019	1,700	1,817	2,949	0,227
50,200	13,15	38,550	3,450	3,45	3,450	19,650	0,556	0,020	1,800	1,846	2,927	0,231
50,900	13,50	38,900	3,800	3,80	3,800	20,350	0,556	0,021	1,900	1,934	2,862	0,242
51,500	13,85	39,250	4,150	4,15	4,150	20,950	0,556	0,022	2,000	2,026	2,799	0,253
52,000	14,20	39,600	4,500	4,50	4,500	21,450	0,556	0,023	2,100	2,121	2,736	0,265
52,600	14,50	39,900	4,800	4,80	4,800	22,050	0,556	0,024	2,200	2,253	2,655	0,282
53,200	14,70	40,100	5,000	5,00	5,000	22,650	0,556	0,025	2,300	2,321	2,615	0,290
53,800	15,10	40,500	5,400	5,40	5,400	23,250	0,556	0,026	2,450	2,426	2,555	0,303
54,200	15,50	40,900	5,800	5,80	5,800	23,650	0,556	0,027	2,500	2,498	2,517	0,312
54,600	15,90	41,300	6,200	6,20	6,200	24,050	0,556	0,027	2,600	2,572	2,478	0,322
55,000	16,30	41,700	6,600	6,60	6,600	24,450	0,556	0,029	2,700	2,686	2,422	0,336
55,500	16,50	41,900	6,800	6,80	6,800	24,950	0,556	0,029	2,800	2,725	2,403	0,341
55,800	16,90	42,300	7,200	7,20	7,200	25,250	0,556	0,030	2,900	2,804	2,367	0,351
54,800	16,20	41,600	6,500	6,50	6,500	24,250	0,556	0,031	3,000	2,885	2,330	0,361
54,600	16,00	41,400	6,300	6,30	6,300	24,050	0,556	0,032	3,100	3,010	2,277	0,376
54,500	15,80	41,200	6,100	6,10	6,100	23,950	0,556	0,034	3,200	3,183	2,207	0,398
54,400	15,70	41,100	6,000	6,00	6,000	23,850	0,556	0,035	3,300	3,272	2,172	0,409
54,300	15,60	41,000	5,900	5,90	5,900	23,750	0,556	0,036	3,400	3,411	2,122	0,426
54,100	15,40	40,800	5,700	5,70	5,700	23,550	0,556	0,036	3,450	3,458	2,105	0,432
54,000	15,30	40,700	5,600	5,60	5,600	23,450	0,556	0,038	3,600	3,602	2,056	0,450
53,900	15,20	40,600	5,500	5,50	5,500	23,350	0,556	0,039	3,700	3,701	2,024	0,463
53,600	15,00	40,400	5,300	5,30	5,300	23,050	0,556	0,040	3,800	3,802	1,992	0,475
53,500	14,90	40,300	5,200	5,20	5,200	22,950	0,556	0,040	3,900	3,854	1,976	0,482
53,300	14,80	40,200	5,100	5,10	5,100	22,750	0,556	0,041	4,000	3,959	1,945	0,495
52,900	14,60	40,000	4,900	4,90	4,900	22,350	0,556	0,043	4,150	4,120	1,899	0,515
52,400	14,40	39,800	4,700	4,70	4,700	21,850	0,556	0,043	4,200	4,175	1,883	0,522
52,300	14,30	39,700	4,600	4,60	4,600	21,750	0,556	0,044	4,300	4,231	1,868	0,529
51,800	14,10	39,500	4,400	4,40	4,400	21,250	0,556	0,044	4,400	4,287	1,853	0,536
51,700	14,00	39,400	4,300	4,30	4,300	21,150	0,556	0,045	4,500	4,402	1,824	0,550
51,600	13,90	39,300	4,200	4,20	4,200	21,050	0,556	0,047	4,600	4,578	1,780	0,572
51,200	13,70	39,100	4,000	4,00	4,000	20,650	0,556	0,047	4,700	4,638	1,766	0,580
51,000	13,60	39,000	3,900	3,90	3,900	20,450	0,556	0,049	4,800	4,761	1,737	0,595
50,700	13,40	38,800	3,700	3,70	3,700	20,150	0,556	0,050	4,900	4,950	1,695	0,619
50,500	13,30	38,700	3,600	3,60	3,600	19,950	0,556	0,052	5,000	5,145	1,654	0,643
50,100	13,10	38,500	3,400	3,40	3,400	19,550	0,556	0,052	5,100	5,212	1,640	0,651
49,800	13,00	38,400	3,300	3,30	3,300	19,250	0,556	0,054	5,200	5,347	1,613	0,668
49,200	12,80	38,200	3,100	3,10	3,100	18,650	0,556	0,054	5,300	5,416	1,600	0,677
48,700	12,60	38,000	2,900	2,90	2,900	18,150	0,557	0,055	5,400	5,556	1,573	0,695
48,500	12,50	37,900	2,800	2,80	2,800	17,950	0,557	0,056	5,500	5,627	1,560	0,703
48,100	12,30	37,700	2,600	2,60	2,600	17,550	0,557	0,057	5,600	5,699	1,547	0,712
47,900	12,20	37,600	2,500	2,50	2,500	17,350	0,557	0,057	5,700	5,772	1,534	0,722
47,400	12,00	37,400	2,300	2,30	2,300	16,850	0,558	0,058	5,800	5,846	1,521	0,731
46,800	11,80	37,200	2,100	2,10	2,100	16,250	0,558	0,058	5,900	5,921	1,509	0,740
46,200	11,60	37,000	1,900	1,90	1,900	15,650	0,559	0,059	6,000	5,996	1,496	0,750
45,900	11,50	36,900	1,800	1,80	1,800	15,350	0,559	0,060	6,100	6,072	1,483	0,759
45,800	11,40	36,800	1,700	1,70	1,700	15,250	0,559	0,060	6,200	6,149	1,471	0,769
45,100	11,20	36,600	1,500	1,50	1,500	14,550	0,560	0,060	6,300	6,149	1,471	0,769
43,800	11,00	36,400	1,300	1,30	1,300	13,250	0,562	0,062	6,500	6,306	1,446	0,788

Obtención de los coeficientes de descarga de aliviaderos de laberinto, según su posición en el canal de alivio y según la altura de inicio de la canaleta de descarga

42,500	10,80	36,200	1,100	1,10	1,100	11,950	0,565	0,063	6,600	6,467	1,422	0,808
41,600	10,60	36,000	0,900	0,90	0,900	11,050	0,568	0,066	6,800	6,885	1,362	0,861
40,100	10,40	35,800	0,700	0,70	0,700	9,550	0,573	0,068	7,200	7,148	1,327	0,893

Tabla AV.10  
Ya/P = 0,50 Aproximacion 3

h vertedero en V <sup>m</sup> (cm)	Lectura		Lectura H (carga)		H (carga) (cm) Promedio	Qvertedero Triangular		Q (m <sup>3</sup> /s)	H (cm)	H corr (cm)	Cd Ecuacion Tullis	Ho/P corr
	l (cm)	D (cm)	l (cm)	D (cm)		H (cm)	C					
35,500	9,80	35,20	0,100	0,100	0,100	4,950	0,609	0,001	0,100	0,301	2,853	0,038
35,900	9,90	35,30	0,200	0,200	0,200	5,350	0,603	0,002	0,200	0,320	3,144	0,040
36,400	10,10	35,50	0,400	0,400	0,400	5,850	0,597	0,002	0,300	0,329	3,278	0,041
37,000	10,20	35,60	0,500	0,500	0,500	6,450	0,591	0,002	0,400	0,345	3,464	0,043
39,400	10,40	35,80	0,700	0,700	0,700	8,850	0,576	0,002	0,500	0,381	3,780	0,048
41,300	10,60	36,00	0,900	0,900	0,900	10,750	0,568	0,005	0,700	0,581	4,311	0,073
42,600	10,75	36,15	1,050	1,050	1,050	12,050	0,565	0,007	0,800	0,708	4,261	0,088
43,700	10,90	36,30	1,200	1,200	1,200	13,150	0,563	0,008	0,900	0,816	4,155	0,102
44,000	11,00	36,40	1,300	1,300	1,300	13,450	0,562	0,011	1,050	1,024	3,905	0,128
44,600	11,20	36,60	1,500	1,500	1,500	14,050	0,561	0,012	1,100	1,135	3,771	0,142
45,800	11,40	36,80	1,700	1,700	1,700	15,250	0,559	0,013	1,200	1,236	3,653	0,154
46,300	11,60	37,00	1,900	1,900	1,900	15,750	0,559	0,014	1,300	1,299	3,581	0,162
46,700	11,70	37,10	2,000	2,000	2,000	16,150	0,558	0,016	1,500	1,435	3,435	0,179
47,400	11,90	37,30	2,200	2,200	2,200	16,850	0,558	0,017	1,600	1,557	3,313	0,195
47,800	12,00	37,40	2,300	2,300	2,300	17,250	0,557	0,019	1,700	1,742	3,142	0,218
48,200	12,20	37,60	2,500	2,500	2,500	17,650	0,557	0,020	1,800	1,798	3,094	0,225
48,800	12,40	37,80	2,700	2,700	2,700	18,250	0,557	0,021	1,900	1,885	3,022	0,236
49,100	12,60	38,00	2,900	2,900	2,900	18,550	0,556	0,022	2,000	2,007	2,927	0,251
49,300	12,75	38,15	3,050	3,050	3,050	18,750	0,556	0,024	2,100	2,135	2,834	0,267
49,400	12,80	38,20	3,100	3,100	3,100	18,850	0,556	0,025	2,200	2,236	2,765	0,279
50,000	13,00	38,40	3,300	3,300	3,300	19,450	0,556	0,026	2,300	2,376	2,675	0,297
50,500	13,20	38,60	3,500	3,500	3,500	19,950	0,556	0,027	2,400	2,486	2,609	0,311
51,000	13,40	38,80	3,700	3,700	3,700	20,450	0,556	0,028	2,500	2,523	2,587	0,315
51,200	13,60	39,00	3,900	3,900	3,900	20,650	0,556	0,029	2,600	2,678	2,501	0,335
51,400	13,70	39,10	4,000	4,000	4,000	20,850	0,556	0,030	2,700	2,759	2,458	0,345
51,700	13,90	39,30	4,200	4,200	4,200	21,150	0,556	0,031	2,800	2,841	2,417	0,355
51,900	14,10	39,50	4,400	4,400	4,400	21,350	0,556	0,032	2,900	2,883	2,396	0,360
52,200	14,20	39,60	4,500	4,500	4,500	21,650	0,556	0,032	3,050	2,969	2,355	0,371
52,300	14,30	39,70	4,600	4,600	4,600	21,750	0,556	0,033	3,100	3,013	2,335	0,377
52,700	14,50	39,90	4,800	4,800	4,800	22,150	0,556	0,035	3,200	3,192	2,255	0,399
53,000	14,70	40,10	5,000	5,000	5,000	22,450	0,556	0,035	3,300	3,286	2,215	0,411
53,300	14,85	40,25	5,150	5,150	5,150	22,750	0,556	0,037	3,400	3,430	2,158	0,429
53,500	14,90	40,30	5,200	5,200	5,200	22,950	0,556	0,038	3,500	3,529	2,120	0,441
53,700	15,20	40,60	5,500	5,500	5,500	23,150	0,556	0,040	3,700	3,788	2,028	0,473
53,800	15,35	40,75	5,650	5,650	5,650	23,250	0,556	0,041	3,800	3,841	2,010	0,480
53,900	15,40	40,80	5,700	5,700	5,700	23,350	0,556	0,041	3,900	3,896	1,992	0,487
54,300	15,60	41,00	5,900	5,900	5,900	23,750	0,556	0,042	4,000	4,006	1,957	0,501
54,400	15,70	41,10	6,000	6,000	6,000	23,850	0,556	0,042	4,100	4,006	1,957	0,501
54,600	15,90	41,30	6,200	6,200	6,200	24,050	0,556	0,044	4,200	4,177	1,905	0,522
54,700	16,00	41,40	6,300	6,300	6,300	24,150	0,556	0,044	4,300	4,235	1,888	0,529
55,000	16,20	41,60	6,500	6,500	6,500	24,450	0,556	0,045	4,400	4,294	1,871	0,537

Obtención de los coeficientes de descarga de aliviaderos de laberinto, según su posición en el canal de alivio y según la altura de inicio de la canaleta de descarga

55,200	16,30	41,70	6,600	6,600	6,600	24,650	0,556	0,046	4,500	4,475	1,821	0,559
55,300	16,40	41,80	6,700	6,700	6,700	24,750	0,556	0,047	4,600	4,537	1,804	0,567
55,400	16,60	42,00	6,900	6,900	6,900	24,850	0,556	0,047	4,700	4,599	1,788	0,575
55,500	16,80	42,20	7,100	7,100	7,100	24,950	0,556	0,049	4,800	4,792	1,740	0,599
55,400	16,50	41,90	6,800	6,800	6,800	24,850	0,556	0,050	4,900	4,923	1,708	0,615
54,900	16,10	41,50	6,400	6,400	6,400	24,350	0,556	0,051	5,000	4,990	1,693	0,624
54,500	15,80	41,20	6,100	6,100	6,100	23,950	0,556	0,052	5,150	5,197	1,647	0,650
54,200	15,50	40,90	5,800	5,800	5,800	23,650	0,556	0,054	5,200	5,338	1,617	0,667
53,600	15,00	40,40	5,300	5,300	5,300	23,050	0,556	0,054	5,300	5,410	1,602	0,676
52,900	14,60	40,00	4,900	4,900	4,900	22,350	0,556	0,055	5,500	5,483	1,588	0,685
52,400	14,40	39,80	4,700	4,700	4,700	21,850	0,556	0,055	5,650	5,556	1,573	0,695
51,800	14,00	39,40	4,300	4,300	4,300	21,250	0,556	0,056	5,700	5,631	1,559	0,704
51,400	13,80	39,20	4,100	4,100	4,100	20,850	0,556	0,058	5,800	5,859	1,516	0,732
51,100	13,50	38,90	3,800	3,800	3,800	20,550	0,556	0,058	5,900	5,937	1,502	0,742
50,300	13,10	38,50	3,400	3,400	3,400	19,750	0,556	0,059	6,000	6,016	1,488	0,752
49,800	12,90	38,30	3,200	3,200	3,200	19,250	0,556	0,060	6,100	6,096	1,475	0,762
49,000	12,50	37,90	2,800	2,800	2,800	18,450	0,557	0,060	6,200	6,177	1,461	0,772
48,600	12,30	37,70	2,600	2,600	2,600	18,050	0,557	0,061	6,300	6,258	1,448	0,782
48,100	12,10	37,50	2,400	2,400	2,400	17,550	0,557	0,062	6,400	6,425	1,421	0,803
47,100	11,80	37,20	2,100	2,100	2,100	16,550	0,558	0,063	6,500	6,509	1,408	0,814
46,000	11,50	36,90	1,800	1,800	1,800	15,450	0,559	0,064	6,600	6,681	1,382	0,835
45,100	11,30	36,70	1,600	1,600	1,600	14,550	0,560	0,065	6,700	6,768	1,369	0,846
43,200	10,80	36,20	1,100	1,100	1,100	12,650	0,564	0,065	6,800	6,857	1,356	0,857
40,500	10,50	35,90	0,800	0,800	0,800	9,950	0,571	0,065	6,900	6,857	1,356	0,857
36,100	10,00	35,40	0,300	0,300	0,300	5,550	0,601	0,066	7,100	6,946	1,344	0,868

Tabla AV.11  
Ya/P = 0,375 Aproximacion 3

h vertedero en V <sup>m</sup> (cm)	Lectura		Lectura H (carga)		H (carga) (cm) Promedio	Qvertedero Triangular		Q (m <sup>3</sup> /s)	H (cm)	H corr (cm)	Cd Ecuacion Tullis	Ho/P corr
	I (cm)	D (cm)	I (cm)	D (cm)		H (cm)	C					
35,400	9,80	35,20	0,100	0,100	0,100	4,850	0,61	0,00	0,10	0,33	2,33	0,04
35,800	10,00	35,40	0,300	0,300	0,300	5,250	0,60	0,00	0,30	0,35	2,64	0,04
36,600	10,20	35,60	0,500	0,500	0,500	6,050	0,60	0,00	0,50	0,38	3,21	0,05
38,700	10,40	35,80	0,700	0,700	0,700	8,150	0,58	0,00	0,70	0,52	4,20	0,06
41,700	10,60	36,00	0,900	0,900	0,900	11,150	0,57	0,01	0,90	0,85	4,25	0,11
43,100	10,80	36,20	1,100	1,100	1,100	12,550	0,56	0,01	1,10	1,09	3,93	0,14
44,000	11,00	36,40	1,300	1,300	1,300	13,450	0,56	0,01	1,30	1,28	3,68	0,16
44,900	11,20	36,60	1,500	1,500	1,500	14,350	0,56	0,02	1,40	1,39	3,53	0,17
45,100	11,25	36,65	1,550	1,550	1,550	14,550	0,56	0,02	1,50	1,49	3,42	0,19
45,400	11,30	36,70	1,600	1,600	1,600	14,850	0,56	0,02	1,55	1,54	3,36	0,19
45,800	11,40	36,80	1,700	1,700	1,700	15,250	0,56	0,02	1,60	1,62	3,27	0,20
46,100	11,50	36,90	1,800	1,800	1,800	15,550	0,56	0,02	1,70	1,74	3,15	0,22
46,700	11,60	37,00	1,900	1,900	1,900	16,150	0,56	0,02	1,80	1,83	3,07	0,23
47,000	11,80	37,20	2,100	2,100	2,100	16,450	0,56	0,02	1,90	2,02	2,90	0,25
47,200	11,90	37,30	2,200	2,200	2,200	16,650	0,56	0,02	2,00	2,09	2,85	0,26
47,700	12,10	37,50	2,400	2,400	2,400	17,150	0,56	0,02	2,10	2,12	2,82	0,27
48,300	12,35	37,75	2,650	2,650	2,650	17,750	0,56	0,02	2,20	2,19	2,77	0,27
48,500	12,40	37,80	2,700	2,700	2,700	17,950	0,56	0,03	2,30	2,30	2,69	0,29
48,800	12,60	38,00	2,900	2,900	2,900	18,250	0,56	0,03	2,40	2,37	2,64	0,30

Obtención de los coeficientes de descarga de aliviaderos de laberinto, según su posición en el canal de alivio y según la altura de inicio de la canaleta de descarga

49,300	12,80	38,20	3,100	3,100	3,100	18,750	0,56	0,03	2,50	2,49	2,57	0,31
49,900	13,00	38,40	3,300	3,300	3,300	19,350	0,56	0,03	2,55	2,53	2,54	0,32
50,500	13,20	38,60	3,500	3,500	3,500	19,950	0,56	0,03	2,60	2,57	2,52	0,32
50,600	13,30	38,70	3,600	3,600	3,600	20,050	0,56	0,03	2,65	2,61	2,49	0,33
50,900	13,60	39,00	3,900	3,900	3,900	20,350	0,56	0,03	2,70	2,69	2,45	0,34
51,100	13,70	39,10	4,000	4,000	4,000	20,550	0,56	0,03	2,80	2,78	2,40	0,35
51,500	13,80	39,20	4,100	4,100	4,100	20,950	0,56	0,03	2,80	2,73	2,43	0,34
51,700	14,00	39,40	4,300	4,300	4,300	21,150	0,56	0,03	2,90	2,82	2,38	0,35
52,200	14,20	39,60	4,500	4,500	4,500	21,650	0,56	0,03	3,00	2,91	2,34	0,36
52,400	14,40	39,80	4,700	4,700	4,700	21,850	0,56	0,03	3,10	3,04	2,27	0,38
52,700	14,60	40,00	4,900	4,900	4,900	22,150	0,56	0,03	3,20	3,23	2,19	0,40
53,000	14,70	40,10	5,000	5,000	5,000	22,450	0,56	0,03	3,20	3,27	2,17	0,41
53,300	14,90	40,30	5,200	5,200	5,200	22,750	0,56	0,04	3,30	3,32	2,15	0,42
53,500	15,00	40,40	5,300	5,300	5,300	22,950	0,56	0,04	3,40	3,52	2,08	0,44
53,800	15,20	40,60	5,500	5,500	5,500	23,250	0,56	0,04	3,50	3,62	2,04	0,45
54,100	15,30	40,70	5,600	5,600	5,600	23,550	0,56	0,04	3,60	3,67	2,02	0,46
54,400	15,50	40,90	5,800	5,800	5,800	23,850	0,56	0,04	3,70	3,72	2,01	0,47
54,500	15,55	40,95	5,850	5,850	5,850	23,950	0,56	0,04	3,80	3,83	1,97	0,48
54,700	15,70	41,10	6,000	6,000	6,000	24,150	0,56	0,04	3,90	3,83	1,97	0,48
54,800	15,80	41,20	6,100	6,100	6,100	24,250	0,56	0,04	4,00	3,93	1,94	0,49
54,900	16,10	41,50	6,400	6,400	6,400	24,350	0,56	0,04	4,10	4,15	1,88	0,52
55,000	16,30	41,70	6,600	6,600	6,600	24,450	0,56	0,04	4,20	4,20	1,86	0,53
55,300	16,50	41,90	6,800	6,800	6,800	24,750	0,56	0,04	4,30	4,26	1,85	0,53
55,000	15,90	41,30	6,200	6,200	6,200	24,450	0,56	0,05	4,40	4,43	1,81	0,55
55,500	15,60	41,00	5,900	5,900	5,900	24,950	0,56	0,05	4,50	4,54	1,78	0,57
54,200	15,40	40,80	5,700	5,700	5,700	23,650	0,56	0,05	4,60	4,60	1,77	0,58
53,600	15,10	40,50	5,400	5,400	5,400	23,050	0,56	0,05	4,70	4,66	1,75	0,58
53,200	14,80	40,20	5,100	5,100	5,100	22,650	0,56	0,05	4,80	4,78	1,73	0,60
52,600	14,50	39,90	4,800	4,800	4,800	22,050	0,56	0,05	4,90	4,84	1,72	0,60
52,300	14,30	39,70	4,600	4,600	4,600	21,750	0,56	0,05	5,00	5,01	1,68	0,63
51,600	13,90	39,30	4,200	4,200	4,200	21,050	0,56	0,05	5,10	5,13	1,66	0,64
50,900	13,50	38,90	3,800	3,800	3,800	20,350	0,56	0,05	5,20	5,19	1,65	0,65
50,300	13,10	38,50	3,400	3,400	3,400	19,750	0,56	0,05	5,30	5,31	1,63	0,66
49,000	12,70	38,10	3,000	3,000	3,000	18,450	0,56	0,05	5,40	5,38	1,62	0,67
48,700	12,50	37,90	2,800	2,800	2,800	18,150	0,56	0,06	5,50	5,50	1,60	0,69
48,000	12,20	37,60	2,500	2,500	2,500	17,450	0,56	0,06	5,60	5,68	1,57	0,71
47,500	12,00	37,40	2,300	2,300	2,300	16,950	0,56	0,06	5,70	5,74	1,56	0,72
49,700	12,90	38,30	3,200	3,200	3,200	19,150	0,56	0,06	5,80	5,86	1,55	0,73
48,600	12,50	37,90	2,800	2,800	2,800	18,050	0,56	0,06	5,85	5,92	1,54	0,74
48,200	12,30	37,70	2,600	2,600	2,600	17,650	0,56	0,07	5,90	6,53	1,47	0,82
48,100	12,25	37,65	2,550	2,550	2,550	17,550	0,56	0,06	6,00	6,05	1,52	0,76
46,900	11,70	37,10	2,000	2,000	2,000	16,350	0,56	0,06	6,10	6,11	1,52	0,76
44,500	11,10	36,50	1,400	1,400	1,400	13,950	0,56	0,06	6,20	6,23	1,50	0,78
52,000	14,10	39,50	4,400	4,400	4,400	21,450	0,56	0,06	6,40	6,17	1,51	0,77
50,700	13,40	38,80	3,700	3,700	3,700	20,150	0,56	0,06	6,60	6,23	1,50	0,78
49,800	12,90	38,30	3,200	3,200	3,200	19,250	0,56	0,06	6,80	6,41	1,49	0,80

Tabla AV.12  
Ya/P = 0,25 Aproximación 3

h vertedero en V"	Lectura	Lectura H (carga)	H (carga) (cm)	Qvertedero Triangular
-------------------------	---------	-------------------	----------------------	--------------------------

Obtención de los coeficientes de descarga de aliviaderos de laberinto, según su posición en el canal de alivio y según la altura de inicio de la canaleta de descarga

(cm)	I (cm)	D (cm)	I (cm)	D (cm)	Promedio	H (cm)	C	Q (m <sup>3</sup> /s)	H (cm)	H corr (cm)	Cd Ecuacion Tullis	Ho/P corr
35,300	9,80	35,20	0,100	0,100	0,100	4,750	0,612	0,00	0,10	0,26	3,20	0,03
36,700	10,00	35,40	0,300	0,300	0,300	6,150	0,594	0,00	0,30	0,34	4,01	0,04
37,700	10,20	35,60	0,500	0,500	0,500	7,150	0,586	0,00	0,40	0,31	3,78	0,04
38,400	10,30	35,70	0,600	0,600	0,600	7,850	0,581	0,00	0,50	0,41	4,28	0,05
40,200	10,40	35,80	0,700	0,700	0,700	9,650	0,572	0,00	0,60	0,48	4,34	0,06
41,700	10,60	36,00	0,900	0,900	0,900	11,150	0,567	0,01	0,70	0,68	4,20	0,08
43,100	10,80	36,20	1,100	1,100	1,100	12,550	0,564	0,01	0,80	0,79	4,05	0,10
44,000	11,00	36,40	1,300	1,300	1,300	13,450	0,562	0,01	0,90	0,90	3,90	0,11
44,900	11,25	36,65	1,550	1,550	1,550	14,350	0,561	0,01	1,10	1,16	3,57	0,15
45,100	11,30	36,70	1,600	1,600	1,600	14,550	0,560	0,01	1,20	1,25	3,48	0,16
45,600	11,40	36,80	1,700	1,700	1,700	15,050	0,560	0,01	1,30	1,36	3,36	0,17
46,000	11,55	36,95	1,850	1,850	1,850	15,450	0,559	0,02	1,45	1,53	3,19	0,19
46,400	11,70	37,10	2,000	2,000	2,000	15,850	0,559	0,02	1,55	1,58	3,14	0,20
47,000	11,80	37,20	2,100	2,100	2,100	16,450	0,558	0,02	1,60	1,63	3,10	0,20
47,200	11,90	37,30	2,200	2,200	2,200	16,650	0,558	0,02	1,70	1,76	2,98	0,22
47,600	12,15	37,55	2,450	2,450	2,450	17,050	0,557	0,02	1,85	1,88	2,89	0,24
47,700	12,20	37,60	2,500	2,500	2,500	17,150	0,557	0,02	1,95	1,91	2,87	0,24
48,000	12,35	37,75	2,650	2,650	2,650	17,450	0,557	0,02	2,00	2,00	2,81	0,25
48,800	12,60	38,00	2,900	2,900	2,900	18,250	0,557	0,02	2,10	2,20	2,68	0,27
49,300	12,80	38,20	3,100	3,100	3,100	18,750	0,556	0,02	2,20	2,26	2,64	0,28
50,000	13,00	38,40	3,300	3,300	3,300	19,450	0,556	0,02	2,30	2,26	2,64	0,28
50,300	13,20	38,60	3,500	3,500	3,500	19,750	0,556	0,02	2,35	2,23	2,66	0,28
50,600	13,40	38,80	3,700	3,700	3,700	20,050	0,556	0,03	2,45	2,40	2,55	0,30
51,100	13,60	39,00	3,900	3,900	3,900	20,550	0,556	0,03	2,50	2,44	2,53	0,30
51,300	13,70	39,10	4,000	4,000	4,000	20,750	0,556	0,03	2,60	2,63	2,44	0,33
51,500	13,80	39,20	4,100	4,100	4,100	20,950	0,556	0,03	2,65	2,55	2,47	0,32
51,700	14,00	39,40	4,300	4,300	4,300	21,150	0,556	0,03	2,70	2,59	2,45	0,32
52,200	14,30	39,70	4,600	4,600	4,600	21,650	0,556	0,03	2,80	2,70	2,40	0,34
52,500	14,40	39,80	4,700	4,700	4,700	21,950	0,556	0,03	2,80	2,74	2,38	0,34
52,700	14,50	39,90	4,800	4,800	4,800	22,150	0,556	0,03	2,90	2,87	2,32	0,36
52,900	14,80	40,20	5,100	5,100	5,100	22,350	0,556	0,03	3,10	3,08	2,23	0,38
53,200	14,90	40,30	5,200	5,200	5,200	22,650	0,556	0,03	3,20	3,21	2,18	0,40
53,400	15,00	40,40	5,300	5,300	5,300	22,850	0,556	0,04	3,30	3,40	2,11	0,42
53,600	15,15	40,55	5,450	5,450	5,450	23,050	0,556	0,04	3,40	3,49	2,07	0,44
53,900	15,35	40,75	5,650	5,650	5,650	23,350	0,556	0,04	3,50	3,54	2,06	0,44
54,000	15,50	40,90	5,800	5,800	5,800	23,450	0,556	0,04	3,70	3,69	2,01	0,46
54,100	15,60	41,00	5,900	5,900	5,900	23,550	0,556	0,04	3,80	3,80	1,97	0,47
54,300	15,70	41,10	6,000	6,000	6,000	23,750	0,556	0,04	3,90	3,95	1,92	0,49
54,400	15,80	41,20	6,100	6,100	6,100	23,850	0,556	0,04	4,00	4,06	1,89	0,51
54,700	16,10	41,50	6,400	6,400	6,400	24,150	0,556	0,04	4,10	4,17	1,86	0,52
55,200	16,40	41,80	6,700	6,700	6,700	24,650	0,556	0,04	4,20	4,17	1,86	0,52
55,600	16,80	42,20	7,100	7,100	7,100	25,050	0,556	0,04	4,30	4,29	1,83	0,54
54,500	16,00	41,40	6,300	6,300	6,300	23,950	0,556	0,04	4,50	4,40	1,80	0,55
54,500	15,90	41,30	6,200	6,200	6,200	23,950	0,556	0,05	4,60	4,58	1,76	0,57
53,600	15,20	40,60	5,500	5,500	5,500	23,050	0,556	0,05	4,70	4,77	1,71	0,60
53,400	15,05	40,45	5,350	5,350	5,350	22,850	0,556	0,05	4,80	4,90	1,68	0,61
52,700	14,70	40,10	5,000	5,000	5,000	22,150	0,556	0,05	4,90	4,77	1,71	0,60
52,500	14,60	40,00	4,900	4,900	4,900	21,950	0,556	0,05	5,00	4,90	1,68	0,61
51,900	14,20	39,60	4,500	4,500	4,500	21,350	0,556	0,05	5,10	5,03	1,66	0,63
51,500	13,90	39,30	4,200	4,200	4,200	20,950	0,556	0,05	5,20	5,23	1,61	0,65

Obtención de los coeficientes de descarga de aliviaderos de laberinto, según su posición en el canal de alivio y según la altura de inicio de la canaleta de descarga

50,800	13,50	38,90	3,800	3,800	3,800	20,250	0,556	0,05	5,30	5,37	1,59	0,67
50,200	13,10	38,50	3,400	3,400	3,400	19,650	0,556	0,05	5,35	5,37	1,59	0,67
49,600	12,90	38,30	3,200	3,200	3,200	19,050	0,556	0,05	5,45	5,51	1,56	0,69
48,400	12,50	37,90	2,800	2,800	2,800	17,850	0,557	0,05	5,50	5,51	1,56	0,69
48,100	12,40	37,80	2,700	2,700	2,700	17,550	0,557	0,06	5,65	5,72	1,52	0,72
47,200	12,00	37,40	2,300	2,300	2,300	16,650	0,558	0,06	5,80	5,80	1,51	0,72
47,100	12,05	37,45	2,350	2,350	2,350	16,550	0,558	0,06	5,90	5,87	1,49	0,73
48,500	12,50	37,90	2,800	2,800	2,800	17,950	0,557	0,06	6,00	6,03	1,47	0,75
48,200	12,30	37,70	2,600	2,600	2,600	17,650	0,557	0,06	6,10	6,10	1,46	0,76
46,100	11,65	37,05	1,950	1,950	1,950	15,550	0,559	0,06	6,20	6,18	1,44	0,77
44,700	11,15	36,55	1,450	1,450	1,450	14,150	0,561	0,06	6,30	6,18	1,44	0,77
43,500	10,90	36,30	1,200	1,200	1,200	12,950	0,563	0,06	6,40	6,34	1,42	0,79
41,000	10,50	35,90	0,800	0,800	0,800	10,450	0,569	0,06	6,70	6,75	1,36	0,84
36,200	10,10	35,50	0,400	0,400	0,400	5,650	0,599	0,07	7,10	7,10	1,31	0,89

Tabla AV.13  
Ya/P = 0,625 Aproximacion 4

h vertedero en V" (cm)	Lectura		Lectura H (carga)		H (carga) (cm)	Overtedero Triangular		Q (m <sup>3</sup> /s)	H (cm)	H corr (cm)	Cd Ecuacion Tullis	Ho/P corr
	I (cm)	D (cm)	I (cm)	D (cm)		Promedio	H (cm)					
38,000	10,30	35,700	0,600	0,60	0,600	7,450	0,583	0,00	0,60	0,71	2,09	0,09
39,900	10,50	35,900	0,800	0,80	0,800	9,350	0,573	0,01	0,80	0,83	2,89	0,10
41,100	10,70	36,100	1,000	1,00	1,000	10,550	0,569	0,01	0,90	0,88	3,07	0,11
42,500	10,95	36,350	1,250	1,25	1,250	11,950	0,565	0,01	1,00	0,94	3,21	0,12
43,800	11,10	36,500	1,400	1,40	1,400	13,250	0,562	0,01	1,10	1,02	3,32	0,13
44,900	11,30	36,700	1,600	1,60	1,600	14,350	0,561	0,01	1,25	1,12	3,36	0,14
45,800	11,50	36,900	1,800	1,80	1,800	15,250	0,559	0,01	1,30	1,27	3,33	0,16
46,700	11,70	37,100	2,000	2,00	2,000	16,150	0,558	0,01	1,40	1,34	3,29	0,17
47,400	11,90	37,300	2,200	2,20	2,200	16,850	0,558	0,02	1,50	1,51	3,17	0,19
47,900	12,20	37,600	2,500	2,50	2,500	17,350	0,557	0,02	1,60	1,59	3,11	0,20
48,100	12,35	37,750	2,650	2,65	2,650	17,550	0,557	0,02	1,70	1,74	2,99	0,22
48,400	12,50	37,900	2,800	2,80	2,800	17,850	0,557	0,02	1,80	1,83	2,92	0,23
48,900	12,80	38,200	3,100	3,10	3,100	18,350	0,557	0,02	1,90	1,95	2,83	0,24
49,300	12,90	38,300	3,200	3,20	3,200	18,750	0,556	0,02	2,00	2,11	2,71	0,26
49,700	13,10	38,500	3,400	3,40	3,400	19,150	0,556	0,02	2,10	2,22	2,64	0,28
49,900	13,25	38,650	3,550	3,55	3,550	19,350	0,556	0,02	2,20	2,36	2,54	0,30
50,100	13,40	38,800	3,700	3,70	3,700	19,550	0,556	0,03	2,30	2,40	2,52	0,30
50,500	13,55	38,950	3,850	3,85	3,850	19,950	0,556	0,03	2,40	2,44	2,50	0,31
50,800	13,70	39,100	4,000	4,00	4,000	20,250	0,556	0,03	2,50	2,56	2,42	0,32
51,000	13,85	39,250	4,150	4,15	4,150	20,450	0,556	0,03	2,65	2,64	2,38	0,33
51,300	14,00	39,400	4,300	4,30	4,300	20,750	0,556	0,03	2,70	2,69	2,35	0,34
51,600	14,15	39,550	4,450	4,45	4,450	21,050	0,556	0,03	2,80	2,77	2,31	0,35
52,000	14,30	39,700	4,600	4,60	4,600	21,450	0,556	0,03	3,00	2,86	2,26	0,36
52,100	14,45	39,850	4,750	4,75	4,750	21,550	0,556	0,03	3,10	3,00	2,20	0,38
52,400	14,60	40,000	4,900	4,90	4,900	21,850	0,556	0,03	3,20	3,19	2,11	0,40
52,700	14,80	40,200	5,100	5,10	5,100	22,150	0,556	0,03	3,30	3,29	2,07	0,41
52,900	14,90	40,300	5,200	5,20	5,200	22,350	0,556	0,03	3,40	3,39	2,03	0,42
53,100	15,00	40,400	5,300	5,30	5,300	22,550	0,556	0,04	3,55	3,50	1,99	0,44
53,300	15,20	40,600	5,500	5,50	5,500	22,750	0,556	0,04	3,60	3,55	1,97	0,44
53,400	15,35	40,750	5,650	5,65	5,650	22,850	0,556	0,04	3,70	3,61	1,95	0,45
53,600	15,50	40,900	5,800	5,80	5,800	23,050	0,556	0,04	3,85	3,83	1,88	0,48
53,900	15,65	41,050	5,950	5,95	5,950	23,350	0,556	0,04	3,90	3,88	1,86	0,49
54,200	15,80	41,200	6,100	6,10	6,100	23,650	0,556	0,04	4,00	4,00	1,83	0,50
54,300	15,90	41,300	6,200	6,20	6,200	23,750	0,556	0,04	4,15	4,11	1,79	0,51
54,400	16,10	41,500	6,400	6,40	6,400	23,850	0,556	0,04	4,20	4,23	1,76	0,53
54,200	16,00	41,400	6,300	6,30	6,300	23,650	0,556	0,04	4,30	4,29	1,74	0,54
54,000	15,80	41,200	6,100	6,10	6,100	23,450	0,556	0,04	4,40	4,23	1,76	0,53
53,800	15,60	41,000	5,900	5,90	5,900	23,250	0,556	0,04	4,45	4,48	1,70	0,56
53,300	15,30	40,700	5,600	5,60	5,600	22,750	0,556	0,04	4,50	4,35	1,73	0,54
52,900	15,10	40,500	5,400	5,40	5,400	22,350	0,556	0,05	4,60	4,72	1,64	0,59
52,500	14,75	40,150	5,050	5,05	5,050	21,950	0,556	0,04	4,70	4,60	1,67	0,57



Obtención de los coeficientes de descarga de aliviaderos de laberinto, según su posición en el canal de alivio y según la altura de inicio de la canaleta de descarga

52,300	14,50	39,900	4,800	4,80	4,800	21,750	0,556	0,05	4,75	4,79	1,63	0,60
51,800	14,40	39,800	4,700	4,70	4,700	21,250	0,556	0,05	4,80	4,92	1,60	0,61
51,400	14,20	39,600	4,500	4,50	4,500	20,850	0,556	0,05	4,90	4,98	1,59	0,62
51,200	14,10	39,500	4,400	4,40	4,400	20,650	0,556	0,05	5,05	5,05	1,57	0,63
51,200	13,90	39,300	4,200	4,20	4,200	20,650	0,556	0,05	5,10	5,18	1,55	0,65
50,600	13,60	39,000	3,900	3,90	3,900	20,050	0,556	0,05	5,20	5,31	1,53	0,66
50,000	13,30	38,700	3,600	3,60	3,600	19,450	0,556	0,05	5,30	5,44	1,50	0,68
49,500	13,00	38,400	3,300	3,30	3,300	18,950	0,556	0,05	5,40	5,31	1,53	0,66
48,600	12,70	38,100	3,000	3,00	3,000	18,050	0,557	0,05	5,50	5,57	1,48	0,70
48,200	12,40	37,800	2,700	2,70	2,700	17,650	0,557	0,05	5,60	5,57	1,48	0,70
47,600	12,10	37,500	2,400	2,40	2,400	17,050	0,557	0,05	5,65	5,64	1,47	0,70
47,000	11,80	37,200	2,100	2,10	2,100	16,450	0,558	0,05	5,80	5,77	1,45	0,72
46,200	11,60	37,000	1,900	1,90	1,900	15,650	0,559	0,06	5,90	5,91	1,44	0,74
45,500	11,40	36,800	1,700	1,70	1,700	14,950	0,560	0,06	5,95	5,97	1,43	0,75
44,600	11,20	36,600	1,500	1,50	1,500	14,050	0,561	0,06	6,10	6,17	1,40	0,77
43,400	11,00	36,400	1,300	1,30	1,300	12,850	0,563	0,06	6,10	6,04	1,42	0,76
41,800	10,80	36,200	1,100	1,10	1,100	11,250	0,567	0,06	6,20	6,24	1,39	0,78
40,500	10,60	36,000	0,900	0,90	0,900	9,950	0,571	0,06	6,30	6,17	1,40	0,77
47,500	12,00	37,400	2,300	2,30	2,300	16,950	0,558	0,06	6,40	6,31	1,39	0,79

Tabla AV.14  
Ya/P = 0,50 Aproximacion 4

h vertedero en V" (cm)	Lectura		Lectura H. (carga)		H (carga) (cm)	Overtedero Triangular		Q (m <sup>3</sup> /s)	H (cm)	H corr (cm)	Cd Ecuacion Tullis	Ho/P corr
	I (cm)	D (cm)	I (cm)	D (cm)		Promedio	H (cm)					
37,000	10,00	35,40	0,300	0,300	0,300	6,450	0,591	0,002	0,300	0,313	5,067	0,039
39,100	10,20	35,60	0,500	0,500	0,500	8,550	0,577	0,003	0,400	0,403	5,078	0,050
41,200	10,50	35,90	0,800	0,800	0,800	10,650	0,569	0,005	0,500	0,503	4,912	0,063
42,700	10,80	36,20	1,100	1,100	1,100	12,150	0,565	0,006	0,600	0,624	4,657	0,078
43,800	11,00	36,40	1,300	1,300	1,300	13,250	0,562	0,007	0,700	0,707	4,482	0,088
44,700	11,20	36,60	1,500	1,500	1,500	14,150	0,561	0,008	0,800	0,782	4,331	0,098
45,700	11,40	36,80	1,700	1,700	1,700	15,150	0,559	0,009	0,900	0,846	4,208	0,106
46,800	11,65	37,05	1,950	1,950	1,950	16,250	0,558	0,011	1,000	1,006	3,933	0,126
47,300	12,00	37,40	2,300	2,300	2,300	16,750	0,558	0,011	1,100	1,044	3,872	0,131
48,100	12,30	37,70	2,600	2,600	2,600	17,550	0,557	0,013	1,200	1,166	3,694	0,146
48,600	12,50	37,90	2,800	2,800	2,800	18,050	0,557	0,013	1,200	1,166	3,694	0,146
49,100	12,75	38,15	3,050	3,050	3,050	18,550	0,556	0,014	1,300	1,276	3,548	0,159
49,600	13,00	38,40	3,300	3,300	3,300	19,050	0,556	0,015	1,400	1,368	3,435	0,171
50,400	13,30	38,70	3,600	3,600	3,600	19,850	0,556	0,016	1,500	1,492	3,297	0,186
51,000	13,60	39,00	3,900	3,900	3,900	20,450	0,556	0,018	1,600	1,623	3,164	0,203
51,600	13,90	39,30	4,200	4,200	4,200	21,050	0,556	0,019	1,700	1,764	3,035	0,220
52,200	14,20	39,60	4,500	4,500	4,500	21,650	0,556	0,021	1,800	1,944	2,886	0,243
52,900	14,70	40,10	5,000	5,000	5,000	22,350	0,556	0,022	1,900	2,040	2,813	0,255
53,300	15,10	40,50	5,400	5,400	5,400	22,750	0,556	0,023	1,950	2,105	2,766	0,263
53,800	15,50	40,90	5,800	5,800	5,800	23,250	0,556	0,023	2,100	2,173	2,720	0,272
54,300	15,75	41,15	6,050	6,050	6,050	23,750	0,556	0,024	2,200	2,207	2,697	0,276
54,700	16,30	41,70	6,600	6,600	6,600	24,150	0,556	0,024	2,300	2,277	2,651	0,285
53,500	15,30	40,70	5,600	5,600	5,600	22,950	0,556	0,026	2,400	2,385	2,584	0,298
53,400	15,20	40,60	5,500	5,500	5,500	22,850	0,556	0,027	2,500	2,497	2,518	0,312
52,500	14,50	39,90	4,800	4,800	4,800	21,950	0,556	0,027	2,500	2,497	2,518	0,312
51,700	14,00	39,40	4,300	4,300	4,300	21,150	0,556	0,027	2,600	2,574	2,475	0,322
50,700	13,75	39,15	4,050	4,050	4,050	20,150	0,556	0,029	2,700	2,693	2,412	0,337
50,600	13,40	38,80	3,700	3,700	3,700	20,050	0,556	0,029	2,800	2,775	2,371	0,347
49,800	13,10	38,50	3,400	3,400	3,400	19,250	0,556	0,031	2,900	2,902	2,310	0,363
49,200	12,80	38,20	3,100	3,100	3,100	18,650	0,556	0,032	3,050	2,989	2,270	0,374
48,400	12,40	37,80	2,700	2,700	2,700	17,850	0,557	0,032	3,100	3,034	2,250	0,379
47,900	12,20	37,60	2,500	2,500	2,500	17,350	0,557	0,032	3,200	3,078	2,230	0,385
47,100	11,90	37,30	2,200	2,200	2,200	16,550	0,558	0,034	3,300	3,216	2,172	0,402
46,600	11,60	37,00	1,900	1,900	1,900	16,050	0,558	0,035	3,400	3,311	2,134	0,414
45,200	11,30	36,70	1,600	1,600	1,600	14,650	0,560	0,036	3,500	3,458	2,078	0,432
43,300	10,90	36,30	1,200	1,200	1,200	12,750	0,563	0,037	3,600	3,610	2,024	0,451
41,600	10,60	36,00	0,900	0,900	0,900	11,050	0,568	0,038	3,700	3,715	1,988	0,464
40,100	10,30	35,70	0,600	0,600	0,600	9,550	0,573	0,039	3,800	3,768	1,970	0,471
38,100	10,10	35,50	0,400	0,400	0,400	7,550	0,583	0,040	3,900	3,932	1,918	0,491
40,700	10,40	35,80	0,700	0,700	0,700	10,150	0,570	0,039	4,050	3,768	1,970	0,471
42,500	10,70	36,10	1,000	1,000	1,000	11,950	0,565	0,041	4,100	4,044	1,883	0,506
43,300	10,90	36,30	1,200	1,200	1,200	12,750	0,563	0,043	4,200	4,278	1,816	0,535

Obtención de los coeficientes de descarga de aliviaderos de laberinto, según su posición en el canal de alivio y según la altura de inicio de la canaleta de descarga

44,200	11,10	36,50	1,400	1,400	1,400	13,650	0,562	0,044	4,300	4,338	1,800	0,542
46,300	11,50	36,90	1,800	1,800	1,800	15,750	0,559	0,045	4,400	4,461	1,767	0,558
47,000	11,80	37,20	2,100	2,100	2,100	16,450	0,558	0,046	4,500	4,650	1,719	0,581
47,600	12,10	37,50	2,400	2,400	2,400	17,050	0,557	0,048	4,700	4,847	1,672	0,606
47,900	12,20	37,60	2,500	2,500	2,500	17,350	0,557	0,048	4,800	4,847	1,672	0,606
48,900	12,60	38,00	2,900	2,900	2,900	18,350	0,557	0,049	4,900	4,983	1,641	0,623
49,300	12,90	38,30	3,200	3,200	3,200	18,750	0,556	0,050	5,000	5,121	1,610	0,640
50,100	13,20	38,60	3,500	3,500	3,500	19,550	0,556	0,051	5,200	5,264	1,580	0,658
50,700	13,50	38,90	3,800	3,800	3,800	20,150	0,556	0,052	5,300	5,336	1,566	0,667
51,200	13,80	39,20	4,100	4,100	4,100	20,650	0,556	0,052	5,400	5,409	1,551	0,676
51,900	14,10	39,50	4,400	4,400	4,400	21,350	0,556	0,053	5,500	5,484	1,536	0,685
52,500	14,40	39,80	4,700	4,700	4,700	21,950	0,556	0,054	5,600	5,559	1,522	0,695
52,700	14,60	40,00	4,900	4,900	4,900	22,150	0,556	0,054	5,700	5,635	1,507	0,704
53,100	14,90	40,30	5,200	5,200	5,200	22,550	0,556	0,055	5,800	5,791	1,479	0,724
53,200	15,00	40,40	5,300	5,300	5,300	22,650	0,556	0,057	5,900	5,950	1,451	0,744
53,600	15,40	40,80	5,700	5,700	5,700	23,050	0,556	0,058	6,050	6,196	1,409	0,775
54,000	15,60	41,00	5,900	5,900	5,900	23,450	0,556	0,058	6,200	6,113	1,423	0,764
54,200	15,90	41,30	6,200	6,200	6,200	23,650	0,556	0,058	6,300	6,196	1,409	0,775
54,500	16,20	41,60	6,500	6,500	6,500	23,950	0,556	0,059	6,400	6,281	1,396	0,785
55,200	16,50	41,90	6,800	6,800	6,800	24,650	0,556	0,060	6,500	6,366	1,382	0,796
54,900	16,40	41,80	6,700	6,700	6,700	24,350	0,556	0,060	6,500	6,366	1,382	0,796
54,500	16,20	41,60	6,500	6,500	6,500	23,950	0,556	0,061	6,600	6,540	1,355	0,817
54,400	16,10	41,50	6,400	6,400	6,400	23,850	0,556	0,062	6,700	6,718	1,329	0,840
54,300	16,00	41,40	6,300	6,300	6,300	23,750	0,556	0,064	6,800	6,995	1,290	0,874

Tabla AV.15  
Ya/P = 0,375 Aproximacion 4

h vertedero en V* (cm)	Lectura		Lectura H (carga)		H (carga) (cm)	Overtedero Triangular		O (m <sup>3</sup> /s)	H (cm)	H corr (cm)	Cd Ecuacion Tullis	Ho/P corr
	I (cm)	D (cm)	I (cm)	D (cm)		Promedio	H (cm)					
40,000	10,40	35,80	0,700	0,700	0,700	9,450	0,573	0,003	0,300	0,440	3,524	0,055
41,600	10,60	36,00	0,900	0,900	0,900	11,050	0,568	0,004	0,400	0,508	4,062	0,064
42,800	10,80	36,20	1,100	1,100	1,100	12,250	0,564	0,004	0,500	0,530	4,168	0,066
43,800	11,00	36,40	1,300	1,300	1,300	13,250	0,562	0,005	0,600	0,554	4,256	0,069
45,000	11,20	36,60	1,500	1,500	1,500	14,450	0,560	0,006	0,700	0,636	4,415	0,079
45,900	11,40	36,80	1,700	1,700	1,700	15,350	0,559	0,008	0,800	0,735	4,430	0,092
46,800	11,60	37,00	1,900	1,900	1,900	16,250	0,558	0,009	0,900	0,827	4,360	0,103
47,600	11,90	37,30	2,200	2,200	2,200	17,050	0,557	0,010	1,000	0,916	4,255	0,114
48,300	12,20	37,60	2,500	2,500	2,500	17,750	0,557	0,011	1,100	1,016	4,118	0,127
48,600	12,40	37,80	2,700	2,700	2,700	18,050	0,557	0,013	1,200	1,108	3,985	0,139
49,300	12,70	38,10	3,000	3,000	3,000	18,750	0,556	0,012	1,200	1,089	4,013	0,136
50,300	13,40	38,80	3,700	3,700	3,700	19,750	0,556	0,014	1,300	1,210	3,841	0,151
51,400	13,60	39,00	3,900	3,900	3,900	20,850	0,556	0,016	1,400	1,368	3,627	0,171
51,800	14,00	39,40	4,300	4,300	4,300	21,250	0,556	0,017	1,500	1,492	3,470	0,187
52,500	14,35	39,75	4,650	4,650	4,650	21,950	0,556	0,018	1,600	1,628	3,312	0,203
52,900	14,70	40,10	5,000	5,000	5,000	22,350	0,556	0,020	1,700	1,744	3,187	0,218
53,400	15,20	40,60	5,500	5,500	5,500	22,850	0,556	0,022	1,800	1,933	3,003	0,242
53,900	15,45	40,85	5,750	5,750	5,750	23,350	0,556	0,023	1,900	2,034	2,914	0,254
54,400	15,70	41,10	6,000	6,000	6,000	23,850	0,556	0,023	1,900	2,034	2,914	0,254
54,900	16,20	41,60	6,500	6,500	6,500	24,350	0,556	0,024	2,000	2,139	2,827	0,267
51,700	14,10	39,50	4,400	4,400	4,400	21,150	0,556	0,024	2,100	2,212	2,770	0,276
51,000	13,90	39,30	4,200	4,200	4,200	20,450	0,556	0,026	2,200	2,324	2,686	0,291
50,900	13,70	39,10	4,000	4,000	4,000	20,350	0,556	0,027	2,300	2,442	2,604	0,305
50,600	13,50	38,90	3,800	3,800	3,800	20,050	0,556	0,027	2,400	2,523	2,551	0,315
49,900	13,20	38,60	3,500	3,500	3,500	19,350	0,556	0,028	2,500	2,606	2,500	0,326
49,400	12,90	38,30	3,200	3,200	3,200	18,850	0,556	0,029	2,600	2,691	2,449	0,336
49,200	12,60	38,00	2,900	2,900	2,900	18,650	0,556	0,029	2,700	2,734	2,424	0,342
48,500	12,30	37,70	2,600	2,600	2,600	17,950	0,557	0,031	2,800	2,913	2,328	0,364
47,900	12,00	37,40	2,300	2,300	2,300	17,350	0,557	0,032	2,900	3,006	2,281	0,376
47,100	11,70	37,10	2,000	2,000	2,000	16,550	0,558	0,032	3,000	3,053	2,258	0,382
46,500	11,50	36,90	1,800	1,800	1,800	15,950	0,559	0,032	3,100	3,053	2,258	0,382
44,500	11,10	36,50	1,400	1,400	1,400	13,950	0,561	0,033	3,200	3,101	2,236	0,388
43,300	10,90	36,30	1,200	1,200	1,200	12,750	0,563	0,033	3,200	3,149	2,214	0,394
42,200	10,70	36,10	1,000	1,000	1,000	11,650	0,566	0,034	3,300	3,197	2,192	0,400
40,900	10,50	35,90	0,800	0,800	0,800	10,350	0,570	0,034	3,400	3,247	2,170	0,406
39,100	10,30	35,70	0,600	0,600	0,600	8,550	0,577	0,035	3,500	3,347	2,128	0,418
38,500	10,10	35,50	0,400	0,400	0,400	7,950	0,580	0,035	3,500	3,347	2,128	0,418
37,400	10,00	35,40	0,300	0,300	0,300	6,850	0,588	0,036	3,600	3,449	2,087	0,431

Obtención de los coeficientes de descarga de aliviaderos de laberinto, según su posición en el canal de alivio y según la altura de inicio de la canaleta de descarga

38,800	10,20	35,60	0,500	0,500	0,500	8,250	0,579	0,037	3,700	3,553	2,047	0,444
43,200	10,90	36,30	1,200	1,200	1,200	12,650	0,564	0,037	3,750	3,553	2,047	0,444
45,500	11,30	36,70	1,600	1,600	1,600	14,950	0,560	0,038	3,800	3,713	1,989	0,464
46,800	11,60	37,00	1,900	1,900	1,900	16,250	0,558	0,038	3,800	3,659	2,008	0,457
47,300	11,80	37,20	2,100	2,100	2,100	16,750	0,558	0,042	3,900	4,162	1,848	0,520
48,100	12,10	37,50	2,400	2,400	2,400	17,550	0,557	0,040	4,000	3,878	1,934	0,485
49,000	12,50	37,90	2,800	2,800	2,800	18,450	0,557	0,039	4,000	3,822	1,952	0,478
49,300	12,80	38,20	3,100	3,100	3,100	18,750	0,556	0,040	4,100	3,934	1,916	0,492
49,700	13,10	38,50	3,400	3,400	3,400	19,150	0,556	0,040	4,200	3,934	1,916	0,492
50,100	13,30	38,70	3,600	3,600	3,600	19,550	0,556	0,044	4,300	4,397	1,784	0,550
50,800	13,70	39,10	4,000	4,000	4,000	20,250	0,556	0,044	4,400	4,338	1,800	0,542
52,100	14,20	39,60	4,500	4,500	4,500	21,550	0,556	0,045	4,400	4,518	1,754	0,565
52,700	14,50	39,90	4,800	4,800	4,800	22,150	0,556	0,046	4,500	4,579	1,739	0,572
53,100	14,80	40,20	5,100	5,100	5,100	22,550	0,556	0,047	4,600	4,701	1,710	0,588
53,200	15,10	40,50	5,400	5,400	5,400	22,650	0,556	0,047	4,600	4,763	1,697	0,595
53,800	15,40	40,80	5,700	5,700	5,700	23,250	0,556	0,048	4,650	4,826	1,683	0,603
54,600	15,80	41,20	6,100	6,100	6,100	24,050	0,556	0,048	4,700	4,826	1,683	0,603
54,800	16,10	41,50	6,400	6,400	6,400	24,250	0,556	0,049	4,800	4,951	1,656	0,619
55,400	16,40	41,80	6,700	6,700	6,700	24,850	0,556	0,050	4,900	5,015	1,644	0,627
54,700	16,00	41,40	6,300	6,300	6,300	24,150	0,556	0,050	4,900	5,078	1,631	0,635
54,000	15,60	41,00	5,900	5,900	5,900	23,450	0,556	0,050	5,000	5,078	1,631	0,635
53,600	15,30	40,70	5,600	5,600	5,600	23,050	0,556	0,051	5,100	5,206	1,606	0,651
53,000	15,00	40,40	5,300	5,300	5,300	22,450	0,556	0,051	5,200	5,206	1,606	0,651
52,800	14,60	40,00	4,900	4,900	4,900	22,250	0,556	0,051	5,300	5,142	1,619	0,643
52,300	14,30	39,70	4,600	4,600	4,600	21,750	0,556	0,052	5,400	5,271	1,595	0,659
52,000	14,10	39,50	4,400	4,400	4,400	21,450	0,556	0,053	5,500	5,401	1,572	0,675
51,000	13,80	39,20	4,100	4,100	4,100	20,450	0,556	0,054	5,600	5,531	1,550	0,691
50,500	13,50	38,90	3,800	3,800	3,800	19,950	0,556	0,055	5,700	5,663	1,529	0,708
49,900	13,20	38,60	3,500	3,500	3,500	19,350	0,556	0,056	5,750	5,729	1,519	0,716
49,500	12,90	38,30	3,200	3,200	3,200	18,950	0,556	0,057	5,800	5,795	1,509	0,724
49,600	13,00	38,40	3,300	3,300	3,300	19,050	0,556	0,057	5,900	5,795	1,509	0,724
50,300	13,45	38,85	3,750	3,750	3,750	19,750	0,556	0,059	6,000	6,060	1,472	0,758
52,400	14,30	39,70	4,600	4,600	4,600	21,850	0,556	0,060	6,100	6,193	1,456	0,774
52,900	14,60	40,00	4,900	4,900	4,900	22,350	0,556	0,061	6,200	6,259	1,447	0,782
53,100	14,90	40,30	5,200	5,200	5,200	22,550	0,556	0,061	6,300	6,259	1,447	0,782
54,000	15,50	40,90	5,800	5,800	5,800	23,450	0,556	0,062	6,400	6,325	1,440	0,791
54,700	15,90	41,30	6,200	6,200	6,200	24,150	0,556	0,062	6,500	6,392	1,432	0,799
55,200	16,30	41,70	6,600	6,600	6,600	24,650	0,556	0,064	6,600	6,590	1,411	0,824
52,500	14,40	39,80	4,700	4,700	4,700	21,950	0,556	0,065	6,700	6,721	1,398	0,840

Tabla AV.16  
Ya/P = 0,25 Aproximacion 4

h vertedero en V" (cm)	Lectura		Lectura H (carga)		H (carga) (cm)	Overtedero Triangular		Q (m <sup>3</sup> /s)	H (cm)	H corr (cm)	Cd Ecuacion Tullis	Ho/P corr
	I (cm)	D (cm)	I (cm)	D (cm)		Promedio	H (cm)					
39,800	9,80	35,20	0,100	0,100	0,100	9,250	0,574	0,006	0,100	0,156	12,036	0,020
41,200	10,10	35,50	0,400	0,400	0,400	10,650	0,569	0,008	0,400	0,419	11,024	0,052
42,000	10,30	35,70	0,600	0,600	0,600	11,450	0,566	0,009	0,500	0,503	9,190	0,063
42,800	10,50	35,90	0,800	0,800	0,800	12,250	0,564	0,010	0,600	0,590	7,893	0,074
43,700	10,70	36,10	1,000	1,000	1,000	13,150	0,563	0,010	0,700	0,680	6,931	0,085
44,600	10,90	36,30	1,200	1,200	1,200	14,050	0,561	0,011	0,800	0,774	6,193	0,097
45,200	11,10	36,50	1,400	1,400	1,400	14,650	0,560	0,013	0,900	0,896	5,484	0,112
45,800	11,30	36,70	1,600	1,600	1,600	15,250	0,559	0,013	1,000	0,997	5,037	0,125
46,400	11,50	36,90	1,800	1,800	1,800	15,850	0,559	0,015	1,100	1,129	4,586	0,141
47,000	11,70	37,10	2,000	2,000	2,000	16,450	0,558	0,016	1,200	1,237	4,289	0,155
47,700	11,90	37,30	2,200	2,200	2,200	17,150	0,557	0,017	1,300	1,321	4,096	0,165
48,500	12,20	37,60	2,500	2,500	2,500	17,950	0,557	0,018	1,400	1,406	3,924	0,176
49,500	12,55	37,95	2,850	2,850	2,850	18,950	0,556	0,018	1,500	1,493	3,769	0,187
50,500	12,80	38,20	3,100	3,100	3,100	19,950	0,556	0,019	1,600	1,582	3,629	0,198
51,500	13,10	38,50	3,400	3,400	3,400	20,950	0,556	0,020	1,700	1,673	3,503	0,209
51,900	13,40	38,80	3,700	3,700	3,700	21,350	0,556	0,021	1,800	1,765	3,387	0,221
52,200	13,70	39,10	4,000	4,000	4,000	21,650	0,556	0,022	1,900	1,860	3,282	0,232
52,500	14,00	39,40	4,300	4,300	4,300	21,950	0,556	0,023	2,000	1,956	3,185	0,244
53,100	14,35	39,75	4,650	4,650	4,650	22,550	0,556	0,025	2,100	2,087	3,067	0,261
53,800	14,60	40,00	4,900	4,900	4,900	23,250	0,556	0,026	2,200	2,187	2,986	0,273
54,600	14,90	40,30	5,200	5,200	5,200	24,050	0,556	0,027	2,350	2,324	2,887	0,290
55,000	15,20	40,60	5,500	5,500	5,500	24,450	0,556	0,028	2,400	2,358	2,863	0,295
55,400	15,50	40,90	5,800	5,800	5,800	24,850	0,556	0,029	2,500	2,464	2,795	0,308

Obtención de los coeficientes de descarga de aliviaderos de laberinto, según su posición en el canal de alivio y según la altura de inicio de la canaleta de descarga

55,800	15,85	41,25	6,150	6,150	6,150	25,250	0,556	0,030	2,600	2,535	2,753	0,317
56,100	16,10	41,50	6,400	6,400	6,400	25,550	0,557	0,031	2,700	2,608	2,711	0,326
56,300	16,40	41,80	6,700	6,700	6,700	25,750	0,557	0,033	2,850	2,832	2,596	0,354
56,600	16,70	42,10	7,000	7,000	7,000	26,050	0,557	0,034	2,900	2,870	2,578	0,359
56,400	16,50	41,90	6,800	6,800	6,800	25,850	0,557	0,035	3,000	2,947	2,542	0,368
56,100	16,20	41,60	6,500	6,500	6,500	25,550	0,557	0,038	3,100	3,227	2,425	0,403
55,800	15,95	41,35	6,250	6,250	6,250	25,250	0,556	0,040	3,200	3,437	2,346	0,430
55,300	15,60	41,00	5,900	5,900	5,900	24,750	0,556	0,042	3,300	3,568	2,300	0,446
55,000	15,30	40,70	5,600	5,600	5,600	24,450	0,556	0,043	3,400	3,657	2,270	0,457
54,700	15,05	40,45	5,350	5,350	5,350	24,150	0,556	0,043	3,500	3,703	2,255	0,463
53,600	14,70	40,10	5,000	5,000	5,000	23,050	0,556	0,044	3,650	3,794	2,226	0,474
53,300	14,40	39,80	4,700	4,700	4,700	22,750	0,556	0,045	3,700	3,841	2,211	0,480
52,800	14,10	39,50	4,400	4,400	4,400	22,250	0,556	0,045	3,850	3,888	2,196	0,486
52,300	13,80	39,20	4,100	4,100	4,100	21,750	0,556	0,046	3,900	3,936	2,182	0,492
52,000	13,55	38,95	3,850	3,850	3,850	21,450	0,556	0,046	4,000	3,984	2,167	0,498
51,600	13,20	38,60	3,500	3,500	3,500	21,050	0,556	0,047	4,100	4,033	2,153	0,504
51,000	12,90	38,30	3,200	3,200	3,200	20,450	0,556	0,047	4,200	4,082	2,138	0,510
49,600	12,60	38,00	2,900	2,900	2,900	19,050	0,556	0,048	4,300	4,132	2,124	0,516
48,700	12,30	37,70	2,600	2,600	2,600	18,150	0,557	0,050	4,400	4,285	2,081	0,536
48,100	12,05	37,45	2,350	2,350	2,350	17,550	0,557	0,051	4,550	4,390	2,052	0,549
47,400	11,80	37,20	2,100	2,100	2,100	16,850	0,558	0,051	4,650	4,443	2,038	0,555
46,700	11,60	37,00	1,900	1,900	1,900	16,150	0,558	0,052	4,700	4,553	2,009	0,569
46,100	11,40	36,80	1,700	1,700	1,700	15,550	0,559	0,054	4,800	4,722	1,965	0,590
45,500	11,20	36,60	1,500	1,500	1,500	14,950	0,560	0,055	4,900	4,838	1,936	0,605
44,900	11,00	36,40	1,300	1,300	1,300	14,350	0,561	0,054	5,000	4,722	1,965	0,590
44,200	10,80	36,20	1,100	1,100	1,100	13,650	0,562	0,057	5,100	5,019	1,892	0,627
43,300	10,60	36,00	0,900	0,900	0,900	12,750	0,563	0,060	5,200	5,339	1,818	0,667
42,400	10,40	35,80	0,700	0,700	0,700	11,850	0,565	0,061	5,350	5,406	1,803	0,676
41,600	10,20	35,60	0,500	0,500	0,500	11,050	0,568	0,062	5,400	5,544	1,773	0,693
44,900	10,00	35,40	0,300	0,300	0,300	14,350	0,561	0,063	5,500	5,614	1,758	0,702
48,200	12,10	37,50	2,400	2,400	2,400	17,650	0,557	0,063	5,600	5,614	1,758	0,702
48,900	12,40	37,80	2,700	2,700	2,700	18,350	0,557	0,064	5,700	5,758	1,727	0,720
49,800	12,70	38,10	3,000	3,000	3,000	19,250	0,556	0,065	5,800	5,907	1,697	0,738
51,300	13,00	38,40	3,300	3,300	3,300	20,750	0,556	0,065	5,900	5,832	1,712	0,729
51,800	13,35	38,75	3,650	3,650	3,650	21,250	0,556	0,067	6,000	6,061	1,666	0,758
52,100	13,60	39,00	3,900	3,900	3,900	21,550	0,556	0,068	6,150	6,220	1,634	0,778
52,400	13,90	39,30	4,200	4,200	4,200	21,850	0,556	0,068	6,250	6,220	1,634	0,778
53,000	14,25	39,65	4,550	4,550	4,550	22,450	0,556	0,069	6,300	6,302	1,619	0,788
53,600	14,50	39,90	4,800	4,800	4,800	23,050	0,556	0,070	6,400	6,470	1,587	0,809
54,100	14,80	40,20	5,100	5,100	5,100	23,550	0,556	0,070	6,400	6,385	1,603	0,798
54,900	15,10	40,50	5,400	5,400	5,400	24,350	0,556	0,070	6,500	6,470	1,587	0,809
55,200	15,40	40,80	5,700	5,700	5,700	24,650	0,556	0,071	6,600	6,557	1,571	0,820
55,600	15,70	41,10	6,000	6,000	6,000	25,050	0,556	0,072	6,700	6,644	1,555	0,831
55,900	16,00	41,40	6,300	6,300	6,300	25,350	0,557	0,072	6,800	6,734	1,540	0,842
56,200	16,30	41,70	6,600	6,600	6,600	25,650	0,557	0,073	6,900	6,825	1,524	0,853
56,500	16,60	42,00	6,900	6,900	6,900	25,950	0,557	0,074	7,000	6,918	1,508	0,865
57,000	16,90	42,30	7,200	7,200	7,200	26,450	0,557	0,075	7,100	7,109	1,475	0,889
56,800	16,80	42,20	7,100	7,100	7,100	26,250	0,557	0,077	7,200	7,308	1,443	0,913