

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
SANTIAGO – CHILE



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CANAL HIDRÁULICO CON REJILLA DE
INFILTRACIÓN PARA USOS DIDÁCTICOS Y DE INVESTIGACIÓN

Memoria de titulación presentada por
CRISTÓBAL CORREA DEL VALLE

Como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Civil

Profesor Guía
Vivian Clarisa Aranda Núñez

Septiembre de 2016

DEDICATORIA

*A mi mamá y papá por todo el apoyo en cada una de las etapas de aprendizaje
A Daniela por el apoyo incondicional durante la Universidad y especialmente durante este trabajo
A mis amigos de Universidad, para darles ánimo en esta etapa final de la carrera*

AGRADECIMIENTOS

A la Profesora Vivian Aranda por orientar y guiar este proyecto en cada una de sus etapas.

A los profesores Patricio Catalán y Luis Zamorano por formar parte de la comisión y aportar en el desarrollo de este proyecto.

Al Departamento de Obras Civiles, por el financiamiento de este proyecto, en particular al Director de la época, el Profesor Rodrigo Delgadillo y al Jefe de Carrera, Profesor Gabriel García, al apoyarnos y confiar en que nuestro trabajo llegaría a buen término.

A mis compañeros Eduardo Bravo y Franco Torelli por todo el trabajo realizado.

A Ricardo Quinteros por apoyarnos en cada aspecto constructivo que tuvimos que realizar.

Al Profesor Luis Zamorano y el Instituto Nacional de Hidráulica por la orientación sobre modelos físicos y matemáticos.

Al Señor Jaime Núñez y al Señor Claudio Aravena del Departamento de Mecánica por su ayuda y apoyo para la construcción de la estructura metálica que soporta el canal.

Al Señor Alejandro Barros de Norglas por los consejos para trabajar el acrílico de mejor manera.

Al Señor Gerardo Aravena del Departamento de Eléctrica por su orientación adecuada en la instalación de la bomba y el caudalímetro.

A mi familia y Daniela por estar siempre presentes entregando apoyo y sugerencias, ya que sin ellos no hubiese sido posible realizar este trabajo.

RESUMEN

Los modelos a escala han sido utilizados durante mucho tiempo en el área de la ingeniería hidráulica con el objetivo de simular en laboratorio sucesos que ocurren en la realidad y lograr obtener relaciones físicas con el fin de estimar y poder optimizar el comportamiento de obras hidráulicas.

En este proyecto de título se trabajó en la construcción y puesta en marcha de un modelo a escala de un canal hidráulico, el cual cuenta con rejillas de infiltración en el fondo de éste. Estas rejillas pueden ser intercambiables con el fin de realizar distintos ensayos de infiltración con el modelo.

Como objetivo de este trabajo se tiene apoyar al departamento de Obras Civiles con implementos nuevos para el Laboratorio de Hidráulica del Campus San Joaquín, de la Universidad Técnica Federico Santa María, con el fin de generar mayor actividad académica e investigativa utilizando este nuevo modelo.

Palabras claves: hidráulica, modelo a escala, rejillas de infiltración, canal.

ABSTRACT

Scale models have been used for a long time in the field of hydraulic engineering in order to simulate in laboratory events that occur in reality and be able to obtain physical relationships in order to estimate and to maximize the performance of real hydraulic works reality.

This thesis project worked in the construction and commissioning of a scale model of a hydraulic channel which has grilles infiltration at the bottom of it. These grids are interchangeable in order to perform various tests of infiltration with the model.

The aim of this work is to support the Department of Civil Engineering with new tools for the Hydraulics Laboratory at Campus San Joaquín, Universidad Técnica Federico Santa Maria, in order to generate greater academic and research activity using this new model.

Keywords: hydraulic, scale model, infiltration grids, channel.

GLOSARIO

A:	Área	n_E :	Parámetro del flujo
A_h :	Área hidráulica	p:	Presión en el centro de gravedad de la sección
b:	Ancho fondo del canal	P:	Fuerza hidrostática
C:	Coeficiente de Chézy	P_m :	Perímetro mojado
C_o :	Constante de integración	Q:	Caudal
C_d :	Coeficiente de descarga	Q_1 :	Caudal entrante
D:	Diámetro o ancho orificios	Q_2 :	Caudal final
D_h :	Diámetro hidráulico	$Q_{rejilla}$:	Caudal desviado por rejilla
e:	Relación de abertura	R_e :	Número de Reynolds
E:	Energía específica	R_h :	Radio hidráulico
E_c :	Energía crítica	s:	Separación entre orificios
$E(x)$:	Energía a una distancia x	S:	Pendiente longitudinal
F_r :	Número de Froude	t:	Tiempo / Espesor rejilla
F_f :	Fuerza debido a la fricción	v:	Velocidad
g:	Aceleración de gravedad	W:	Peso del fluido
H:	Carga total	x:	Posición a evaluar
h:	Altura de agua	y:	Altura sección transversal
h_0 :	Altura antes de llegar a rejilla	y_g :	Profundidad hasta el centro de gravedad
h_1 :	Altura inicial	z:	Nivel del centro de gravedad desde un nivel de referencia
h_2 :	Altura final	α :	Coeficiente de Coriolis
h_c :	Altura crítica	β :	Coeficiente de Boussinesq
h_{c2} :	Altura crítica luego de la desviación de flujo	λ :	Relación geométrica
J:	Perdida de energía unitaria	θ :	Ángulo de inclinación
L:	Largo	ρ :	Densidad del fluido
M:	Momentum	ν :	Viscosidad cinemática
n:	Coeficiente de Manning	Δ :	Diferencial

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS GENERALES	3
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.3 ALCANCES	3
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 FLUJO EN UN CANAL	4
2.1.1 GEOMETRÍA DE UN CANAL	4
2.1.2 ENERGÍA Y ALTURA DE ESCURRIMIENTO	6
2.1.2.1 <i>Energía y altura crítica en canales rectangulares</i>	7
2.1.2.2 <i>Pérdidas de energía</i>	9
2.1.2.3 <i>Ecuación de Manning</i>	10
2.1.3 CONSERVACIÓN DE MOMENTUM	11
2.1.4 TIPOS DE FLUJO	13
2.1.4.1 <i>Flujo permanente y no permanente</i>	13
2.1.4.2 <i>Flujo laminar y turbulento</i>	13
2.1.4.3 <i>Flujo permanente uniforme y permanente variado</i>	14
2.1.4.4 <i>Flujo subcrítico o supercrítico</i>	14
2.2 FLUJO ESPACIALMENTE VARIADO	15
2.2.1 FLUJO CON CAUDAL CRECIENTE	15
2.2.2 FLUJO CON CAUDAL DECRECIENTE	16
2.2.2.1 <i>Rejilla paralela al flujo</i>	20
2.2.2.2 <i>Rejilla perpendicular al flujo</i>	22
2.2.2.3 <i>Tipos de flujo sobre rejillas</i>	25
2.2.2.4 <i>Relación de abertura</i>	26
2.2.2.5 <i>Coefficiente de descarga</i>	27
2.2.2.6 <i>Porcentaje de caudal descargado</i>	31
2.3 SEMEJANZA HIDRÁULICA	33
2.3.1 SEMEJANZA DE REYNOLDS	33
2.3.2 SEMEJANZA DE FROUDE	33
3. DISEÑO	35
3.1 PRE DISEÑO	35
3.1.1 DIMENSIONES INICIALES	35
3.1.2 CAMBIO EN EL DISEÑO	36
3.2 DISEÑO DEFINITIVO	38
3.2.1 GEOMETRÍA PRINCIPAL	38
3.2.1.1 <i>Ancho canal</i>	38
3.2.1.2 <i>Largo canal</i>	39
3.2.2 REJILLAS	40

3.2.2.1	<i>Dimensionamiento zona rejillas</i>	40
3.2.2.2	<i>Rejillas paralelas</i>	42
3.2.2.3	<i>Rejillas perpendiculares</i>	43
3.2.3	BOMBA RECIRCULADORA	46
3.2.4	PENDIENTE	47
3.2.5	ESTANQUES	49
3.2.5.1	<i>Estanque principal</i>	49
3.2.5.2	<i>Estanque secundario</i>	49
3.2.5.3	<i>Estanque de regulación</i>	49
3.2.6	ESTRUCTURA DE SOPORTE	50
3.2.7	MEDICIONES DE CAUDAL	52
3.2.8	COMPONENTES ADICIONALES	53
3.2.8.1	<i>Compuerta</i>	53
3.2.8.2	<i>Vertedero frontal de pared delgada</i>	53
3.2.9	PLANOS Y MODELO 3D	54
4.	<u>PRESUPUESTO</u>	55
5.	<u>CONSTRUCCIÓN</u>	57
5.1	ACRÍLICO	57
5.2	ACERO	61
5.3	ESTANQUES	63
5.4	PENDIENTE EN EL CANAL	64
5.5	CONEXIONES HIDRÁULICAS	65
5.6	CONEXIONES ELÉCTRICAS	67
5.7	COMPONENTES ADICIONALES	67
5.8	CANAL FINALIZADO	68
5.9	PUESTA EN MARCHA	68
6.	<u>PERFILES DE FLUJO EN REJILLAS DE INFILTRACIÓN</u>	69
7.	<u>CALIBRACIÓN</u>	73
7.1	MÉTODO MEDICIÓN CAUDAL FINAL	73
7.1.1	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD NUMÉRICO	75
7.2	COEFICIENTES DE DESCARGA EN RÉGIMEN SUPERCRÍTICO	77
7.2.1	REJILLAS PARALELAS AL FLUJO	77
7.2.2	REJILLAS PERPENDICULARES AL FLUJO	79
7.2.2.1	<i>Rejillas perpendiculares de orificios rectangulares</i>	79
7.2.2.2	<i>Rejillas perpendiculares de orificios circulares</i>	82
7.2.3	COMPARACIÓN CON LITERATURA	83
7.2.3.1	<i>Rejillas paralelas</i>	83
7.2.3.2	<i>Rejillas perpendiculares</i>	85
7.2.4	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	89

8.	DESCARGA DE CAUDAL EN RÉGIMEN SUPERCRÍTICO	92
8.1	REJILLAS PARALELAS AL FLUJO	92
8.2	REJILLAS PERPENDICULARES AL FLUJO	95
8.2.1	REJILLAS PERPENDICULARES DE ORIFICIOS RECTANGULARES	97
8.2.2	REJILLAS PERPENDICULARES DE ORIFICIOS CIRCULARES	99
8.3	COMPARACIÓN DE PORCENTAJE DE DESCARGA CON DIFERENTES AUTORES	101
8.4	COMPARACIÓN CAUDAL DESCARGADO CON CAUDAL TEÓRICO	103
9.	ECUACIONES PROPUESTAS	105
9.1	COEFICIENTE DE DESCARGA	105
9.1.1	REJILLAS PARALELA	105
9.1.2	REJILLAS PERPENDICULARES DE ORIFICIOS RECTANGULARES	106
9.1.3	REJILLAS PERPENDICULARES DE ORIFICIOS CIRCULARES	107
9.2	PORCENTAJE DE CAUDAL DESCARGADO	109
9.2.1	REJILLAS PARALELAS	110
9.2.2	REJILLAS PERPENDICULARES DE ORIFICIOS RECTANGULARES	112
9.2.3	REJILLAS PERPENDICULARES DE ORIFICIOS CIRCULARES	114
10.	APLICACIONES	116
10.1	SOFTWARE PARA LA TOMA Y ANÁLISIS DE DATOS	116
10.2	GUÍAS DE LABORATORIO	119
10.2.1	DEFINICIÓN DE VARIABLES	119
10.2.2	GUÍA N°1: OBTENCIÓN DE LAS CURVAS DE DESCARGA	120
10.2.3	GUÍA N°2: OBTENCIÓN DE COEFICIENTES DE DESCARGA	121
10.2.4	GUÍA N°3: COMPARAR DESCARGA DE CAUDAL CON LA TEORÍA	122
10.2.5	EJEMPLO DE EXPERIENCIA DE LABORATORIO	123
11.	CONCLUSIONES	126
12.	REFERENCIAS	130
13.	ANEXOS	131
13.1	DETALLE DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS REJILLAS	131
13.2	GASTOS DEL CANAL	139
13.3	RESULTADOS	142
13.3.1	TABLAS COEFICIENTES DE DESCARGA	142
13.3.2	GRÁFICOS COEFICIENTES DE DESCARGA	149
13.3.3	COMPARACIÓN CON AUTORES SOBRE EL COEFICIENTE DE DESCARGA	157

13.3.4	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD SOBRE EL COEFICIENTE DE DESCARGA	170
13.3.5	PORCENTAJE DE CAUDAL DESCARGADO	173
13.3.6	COMPARACIÓN CON AUTORES EN EL PORCENTAJE DE CAUDAL DESCARGADO	177
13.3.7	COMPARACIÓN DE CAUDAL DESCARGADO CON LITERATURA	181
13.3.8	PARÁMETROS PARA REGRESIÓN EN COEFICIENTE DE DESCARGA	183

FIGURAS

Figura 1.1 Canal S6MKII	1
Figura 1.2 Canal S8MKII	2
Figura 2.1 Esquema lateral de un canal	4
Figura 2.2 Esquema lateral de un canal, sección transversal	5
Figura 2.3 Sección transversal de un canal	6
Figura 2.4 Esquema de energía en un canal	7
Figura 2.5 Curva específica en canales rectangulares	8
Figura 2.6 Esquema de pérdidas de energía	9
Figura 2.7 Fuerzas involucradas en el volumen de control	11
Figura 2.8 Líneas de flujo para caudal creciente	16
Figura 2.9 Líneas de flujo para caudal decreciente	16
Figura 2.10 Esquema de flujo en rejilla de fondo	17
Figura 2.11 Esquema de energía en rejilla de fondo	17
Figura 2.12 Flujo paralelo a rejilla	20
Figura 2.13 Flujo perpendicular a rejilla y orificios	22
Figura 2.14 Tipos de flujo sobre rejillas (Subramanya, 2009)	25
Figura 2.15 Áreas implicadas en el coeficiente	26
Figura 2.16 Ancho y largo de una rejilla	26
Figura 3.1 Canal S8MKII a replicar	35
Figura 3.2 Primer diseño del canal	36
Figura 3.3 Relación entre ancho y caudal de los canales existentes	38
Figura 3.4 Diseño de sección transversal, medidas en [cm]	38
Figura 3.5 Configuración actual del laboratorio, medidas en [cm]	39
Figura 3.6 Largo necesario en rejillas paralelas para distintos C_d	40
Figura 3.7 Largo necesario para rejillas perpendiculares para distintos C_d	41
Figura 3.8 Rejilla paralela con ancho de orificio de 1 [cm]	42
Figura 3.9 Rejillas paralelas con ancho de orificio de 0.5 [cm]	42
Figura 3.10 Rejillas perpendiculares con ancho de orificio 1 [cm]	43
Figura 3.11 Rejillas perpendiculares con ancho de orificio 0.5 [cm]	43
Figura 3.12 Rejillas perpendiculares con diámetro orificio 1 [cm]	44
Figura 3.13 Rejillas perpendiculares con diámetro orificio 2 [cm]	44
Figura 3.14 Curva característica de la bomba seleccionada, obtenida desde la página web del proveedor	46
Figura 3.15 Esquema de elevación del canal, medidas en [cm]	47
Figura 3.16 Vistas frontales y laterales de pletinas, medidas en [mm]	48
Figura 3.17 Vista isométrica de pletina	48
Figura 3.18 Esquema de flujos dentro del canal	49
Figura 3.19 Planos estructuras A y B	51

Figura 3.20 Planos estructuras C, D y E	51
Figura 3.21 Caudalímetro utilizado	52
Figura 3.22 Diseño compuerta, vistas en elevación y medidas en [cm]	53
Figura 3.23 Diseño vertedero frontal, vistas en elevación y medidas en [cm] y foto del vertedero	53
Figura 3.24 Vista en planta (1) y lateral del canal (2 y 3)	54
Figura 3.25 Modelo tridimensional del canal	54
Figura 4.1 Distribución gastos finales del proyecto	56
Figura 5.1 Plancha de acrílico dimensionada para armado de canal, medidas en [cm]	57
Figura 5.2 Pegado estanque de regulación	58
Figura 5.3 Pegado canal	59
Figura 5.4 Armado del canal	59
Figura 5.5 Esquema de unión entre canal y estanque de regulación, vista en perfil y medidas en [cm]	60
Figura 5.6 Canal pegado completamente	60
Figura 5.7 Cortando acero	61
Figura 5.8 Barras cortadas	61
Figura 5.9 Base metálica de estanque	62
Figura 5.10 Pasador utilizado	62
Figura 5.11 Canal montado sobre la estructura	63
Figura 5.12 Estanques principal y secundario respectivamente	63
Figura 5.13 Canal y estanques	64
Figura 5.14 Mecanismo para entregarle pendiente al canal	64
Figura 5.15 Conexiones entre estanques	65
Figura 5.16 Conexiones junto a la bomba	65
Figura 5.17 Conexiones finales	66
Figura 5.18 Vertedero frontal en funcionamiento	67
Figura 5.19 Canal finalizado	68
Figura 5.20 Canal en funcionamiento	68
Figura 6.1 Perfil de flujo A1 según literatura	69
Figura 6.2 Perfil de flujo A1 obtenido en laboratorio	69
Figura 6.3 Perfil de flujo A2 según literatura	70
Figura 6.4 Perfil de flujo A2 obtenido en laboratorio	70
Figura 6.5 Perfil de flujo A3 según literatura	70
Figura 6.6 Perfil de flujo A3 obtenido en laboratorio	71
Figura 6.7 Perfil de flujo B1 según literatura	71
Figura 6.8 Perfil de flujo B1 obtenido en laboratorio	71
Figura 6.9 Perfil de flujo B2 según literatura	72
Figura 6.10 Perfil de flujo B2 obtenido en laboratorio	72
Figura 7.1 Relación entre caudales	74
Figura 7.2 Errores porcentuales	75

Figura 7.3 Relación entre caudales para el análisis de sensibilidad	76
Figura 7.4 Errores porcentuales para el análisis de sensibilidad	76
Figura 7.5 Coeficiente de descarga v/s Caudal, rejilla N°1	78
Figura 7.6 Coeficiente de descarga v/s N° Froude, rejilla N°1	79
Figura 7.7 Coeficiente de descarga v/s Caudal, rejilla N°7	79
Figura 7.8 Coeficiente de descarga v/s Caudal, rejilla N°11	80
Figura 7.9 Coeficiente de descarga v/s N° Froude, rejilla N°7	81
Figura 7.10 Coeficiente de descarga v/s N° Froude, rejilla N°8	81
Figura 7.11 Coeficiente de descarga v/s Caudal, rejilla N°13	82
Figura 7.12 Coeficiente de descarga v/s N° Froude, rejilla N°13	83
Figura 7.13 Mediciones v/s Shafaibejistan y Shakouhirad, rejilla N°1	84
Figura 7.14 Mediciones v/s Subramanya, rejilla N°1	85
Figura 7.15 Mediciones v/s Shafaibejistan y Shakouhirad, rejilla N°7	85
Figura 7.16 Mediciones v/s Shafaibejistan y Shakouhirad, y Subramanya, rejilla N°4	86
Figura 7.17 Mediciones v/s Shafaibejistan y Shakouhirad, rejilla N°8	86
Figura 7.18 Análisis de sensibilidad rejilla paralela	89
Figura 7.19 Análisis de sensibilidad rejilla perpendicular	89
Figura 7.20 Variación porcentual del coeficiente de descarga para rejilla paralela	90
Figura 7.21 Variación porcentual del coeficiente de descarga para rejilla perpendicular	91
Figura 8.1 Porcentaje de caudal descargado en rejillas N°1 y 2	92
Figura 8.2 Porcentaje de caudal descargado en rejillas paralelas para pendiente 1.5%	93
Figura 8.3 Caudal descargado en función de la altura en rejillas paralelas	94
Figura 8.4 Porcentaje de caudal descargado en rejillas paralela con $D/s = 0.57$ y 0.20 , para pendiente 1.5%	94
Figura 8.5 Porcentaje de caudal descargado en rejillas N°6 y 11	95
Figura 8.6 Porcentaje de caudal descargado en rejillas N°6 y 11 con $D/s = 0.33$ y pendientes distintas	96
Figura 8.7 Porcentaje de caudal descargado en rejillas perpendiculares rectangulares para pendiente 1.5%	97
Figura 8.8 Porcentaje de caudal descargado en rejillas perpendiculares de orificios rectangulares con $D/s = 0.33, 0.14$ y 1.00 , para pendiente 1.5%	98
Figura 8.9 Porcentaje de caudal descargado en rejillas perpendiculares circulares para pendiente 1.5%	99
Figura 8.10 Porcentaje de caudal descargado en rejillas perpendiculares de orificios circulares con $D/s = 1.0$, orificios de diámetro 1 y 2 [cm] para pendiente 1.5%	100
Figura 8.11 Comparando con autores para rejillas paralelas en flujo del tipo B1	101
Figura 8.12 Comparando con autores para rejillas perpendiculares de orificios rectangulares en flujo del tipo B1	101
Figura 8.13 Comparando con autores para rejillas perpendiculares de orificios circulares en flujo del tipo B1	102
Figura 8.14 Q real descargado v/s Q teórico descargado en rejillas paralelas	103

Figura 8.15 Q real descargado v/s Q teórico descargado en rejillas perpendiculares	104
Figura 9.1 Ecuación propuesta para rejillas paralelas al flujo y mediciones de laboratorio, rejilla N° 3	106
Figura 9.2 Ecuación propuesta para rejilla perpendicular rectangular y mediciones de laboratorio, rejilla N° 4	107
Figura 9.3 Ecuación propuesta para rejilla perpendicular rectangular y mediciones de laboratorio, rejilla N° 13	108
Figura 9.4 Ecuación propuesta para rejillas paralelas y mediciones de laboratorio ($D/s = 0.57, S = 0.0, 1.5$ y 3.0%)	111
Figura 9.5 Ecuación propuesta para rejillas paralelas y mediciones de laboratorio ($D/s = 0.2, S = 0.0, 1.5$ y 3.0%)	111
Figura 9.6 Ecuación propuesta para rejillas perpendicular rectangular y mediciones de laboratorio ($D/s = 0.33, S = 0.0, 1.5$ y 3.0%)	113
Figura 9.7 Ecuación propuesta para rejillas perpendicular rectangular y mediciones de laboratorio ($D/s = 0.14, 0.33$ y $1.00, S = 1.5\%$)	113
Figura 9.8 Ecuación propuesta para rejillas perpendicular circular y mediciones de laboratorio ($D/s = 1.0, D = 2 \text{ cm}$ y $S = 0.0, 1.5$ y 3.0%)	115
Figura 9.9 Ecuación propuesta para rejillas perpendicular circular y mediciones de laboratorio ($D/s = 1.0, D = 1 \text{ cm}$ y $S = 0.0, 1.5$ y 3.0%)	115
Figura 10.1 Bienvenida de la planilla de cálculos	116
Figura 10.2 Ventana utilizada para ingresar los datos medidos	117
Figura 10.3 Ventana con la información de las rejillas	117
Figura 10.4 Ventana con la teoría detrás del fenómeno hidráulico estudiado	118
Figura 10.5 Planilla de Excel exportada	118
Figura 10.6 Variables hidráulicas y geométricas	119
Figura 10.7 Curvas de descarga rejillas N°6 y 11 en ejemplo	125
Figura 13.1 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°2	149
Figura 13.2 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°3	149
Figura 13.3 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°4	150
Figura 13.4 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°5	150
Figura 13.5 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°6	150
Figura 13.6 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°8	151
Figura 13.7 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°9	151
Figura 13.8 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°10	151
Figura 13.9 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°12	152
Figura 13.10 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°14	152
Figura 13.11 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°15	152
Figura 13.12 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°2	153
Figura 13.13 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°3	153
Figura 13.14 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°4	153

Figura 13.15 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°5	154
Figura 13.16 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°6	154
Figura 13.17 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°9	154
Figura 13.18 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°10	155
Figura 13.19 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°11	155
Figura 13.20 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°12	155
Figura 13.21 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°14	156
Figura 13.22 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°15	156
Figura 13.23 Comparando con Zagade para rejillas paralelas en flujo del tipo B1	179
Figura 13.24 Comparando con Zagade para rejillas perpendiculares de orificios rectangulares en flujo del tipo B1	180
Figura 13.25 Comparando con Zagade para rejillas perpendiculares de orificios circulares en flujo del tipo B1	180

TABLAS

Tabla 2.1 Coeficientes de Chézy (Sotelo Ávila, 2002)	10
Tabla 2.2 Tipos de flujo sobre rejillas	25
Tabla 2.3 Coeficientes de descarga según distintos autores. (Castillo & Lima, 2010)	
Modificada para mostrar solo las ecuaciones que se conocen todas las variables	27
Tabla 2.4 Coeficientes de descarga para rejillas paralelas inclinadas	29
Tabla 2.5 Coeficientes de descarga para rejillas paralelas horizontales	29
Tabla 2.6 Coeficientes de descarga para rejillas perforadas	29
Tabla 2.7 Coeficientes de descarga para rejillas paralelas	30
Tabla 2.8 Coeficientes de descarga para rejillas perpendicular	30
Tabla 2.9 Porcentaje de caudal descargado según Shukla	31
Tabla 2.10 Porcentaje de caudal descargado según Zagade	31
Tabla 2.11 Porcentaje de caudal descargado según Singh	32
Tabla 2.12 Relación con semejanza de Froude	34
Tabla 3.1 Parámetros considerados para el diseño	40
Tabla 3.2 Información rejillas paralelas	42
Tabla 3.3 Información rejillas perpendiculares rectangulares	43
Tabla 3.4 Información rejillas perpendiculares circulares	44
Tabla 3.5 Información de todas las rejillas	45
Tabla 3.6 Desnivel necesario por pendiente	47
Tabla 3.7 Detalle de barras necesarias	50
Tabla 4.1 Gastos reales finales del proyecto	55
Tabla 7.1 Relación entre caudales	74
Tabla 7.2 Resultados rejilla N°1	77
Tabla 7.3 Diferencias porcentuales obtenidos con autores	87
Tabla 9.1 Estadísticas de regresión en rejilla paralela para coeficiente de descarga	105
Tabla 9.2 Estadísticas de regresión en rejilla perpendicular rectangular para coeficiente de descarga	106
Tabla 9.3 Estadísticas de regresión en rejilla perpendicular circular para coeficiente de descarga	108
Tabla 9.4 Ecuaciones obtenidas en laboratorio	109
Tabla 9.5 Parámetros de entrada rejilla paralela	110
Tabla 9.6 Estadísticas de regresión en rejilla paralela para descarga de caudal	110
Tabla 9.7 Parámetros de entrada rejilla perpendicular rectangular	112
Tabla 9.8 Estadísticas de regresión en rejilla perpendicular rectangular para descarga de caudal	112
Tabla 9.9 Parámetros de entrada rejilla perpendicular circular	114
Tabla 9.10 Estadísticas de regresión en rejilla perpendicular circular para descarga de caudal	114

Tabla 10.1 Resultados rejilla N°6 en ejemplo	124
Tabla 10.2 Resultados rejilla N°11 en ejemplo	124
Tabla 13.1 Características rejilla N°1	131
Tabla 13.2 Características rejilla N°2	131
Tabla 13.3 Características rejilla N°3	132
Tabla 13.4 Características rejilla N°4	132
Tabla 13.5 Características rejilla N°5	133
Tabla 13.6 Características rejilla N°6	133
Tabla 13.7 Características rejilla N°7	134
Tabla 13.8 Características rejilla N°8	134
Tabla 13.9 Características rejilla N°9	135
Tabla 13.10 Características rejilla N°10	135
Tabla 13.11 Características rejilla N°11	136
Tabla 13.12 Características rejilla N°12	136
Tabla 13.13 Características rejilla N°13	137
Tabla 13.14 Características rejilla N°14	137
Tabla 13.15 Características rejilla N°15	138
Tabla 13.16 Presupuesto inicial detallado	139
Tabla 13.17 Gastos finales detallados	140
Tabla 13.18 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°1	142
Tabla 13.19 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°2	143
Tabla 13.20 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°3	143
Tabla 13.21 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°4	143
Tabla 13.22 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°5	144
Tabla 13.23 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°6	144
Tabla 13.24 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°7	145
Tabla 13.25 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°8	145
Tabla 13.26 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°9	145
Tabla 13.27 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°10	146
Tabla 13.28 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°11	146
Tabla 13.29 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°12	147
Tabla 13.30 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°13	147
Tabla 13.31 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°14	148
Tabla 13.32 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°15	148
Tabla 13.33 Coeficiente de descarga propuestos por autores (1)	157
Tabla 13.34 Coeficiente de descarga propuestos por autores (2)	161
Tabla 13.35 Porcentaje de error obtenido con autores	166
Tabla 13.36 Sensibilidad en altura inicial, rejilla N°1	170
Tabla 13.37 Sensibilidad en altura final, rejilla N°1	171
Tabla 13.38 Variaciones porcentuales del coeficiente de descarga, rejilla N°1	171
Tabla 13.39 Sensibilidad en altura inicial, rejilla N°11	172

Tabla 13.40 Sensibilidad en altura final, rejilla N°11	172
Tabla 13.41 Variaciones porcentuales del coeficiente de descarga, rejilla N°11	172
Tabla 13.42 Mediciones para porcentaje de caudal descargado, rejilla N°1	173
Tabla 13.43 Mediciones para porcentaje de caudal descargado, rejilla N°2	174
Tabla 13.44 Mediciones para porcentaje de caudal descargado, rejilla N°6	174
Tabla 13.45 Mediciones para porcentaje de caudal descargado, rejilla N°11	175
Tabla 13.46 Mediciones para porcentaje de caudal descargado, otras rejillas	175
Tabla 13.47 Comparación porcentaje de caudal descargado en rejillas paralelas	177
Tabla 13.48 Comparación porcentaje de caudal descargado en perpendiculares rectangulares	177
Tabla 13.49 Comparación porcentaje de caudal descargado en rejillas perpendiculares circulares	178
Tabla 13.50 Comparación caudal descargado en rejillas paralelas	181
Tabla 13.51 Comparación caudal descargado en rejillas perpendiculares	181
Tabla 13.52 Parámetros rejillas paralelas	183
Tabla 13.53 Parámetros rejillas perpendiculares de orificios rectangulares	184
Tabla 13.54 Parámetros rejillas perpendiculares de orificios circulares	187

1. INTRODUCCIÓN

El laboratorio de hidráulica del Departamento de Obras Civiles en el Campus San Joaquín cuenta con una amplia gama de equipos e implementos con el fin de ser un apoyo constante en la investigación y enseñanza dentro de la Universidad Técnica Federico Santa María. Estos equipos abarcan la mayoría de los tópicos comprendidos dentro de la rama de hidráulica en la carrera de Ingeniería Civil, ya sea escurrimientos a superficie libre, flujos a presión, diversos tipos de bombas, turbinas, entre otros.

Dentro de los equipos del laboratorio en los cuales se puede estudiar e investigar sobre el escurrimiento de agua a superficie libre, el laboratorio cuenta actualmente con dos canales para la modelación física de estos fenómenos. Estos canales son el canal S6MKII presentado en la Figura 1.1 y el canal S8MKII presentado en la Figura 1.2.

- Canal S6MKII:

Canal de flujo autónomo de 5 [m] de largo y 30 [cm] de ancho, el cual tiene una capacidad máxima de un caudal de 27 [l/s], cuenta con la opción de variar pendiente entre un -0.5% y un 2.5%. Adicionalmente posee una gran cantidad de implementos para simular singularidades, tales como varios tipos de vertederos frontales de pared gruesa y delgada, compuerta frontal, cambio de rugosidad de fondo, entre otros.



Figura 1.1 Canal S6MKII

- Canal S8MKII:

Canal de demostración de transporte de sedimentos de 2 [m] de largo y 8 [cm] de ancho, el cual tiene una capacidad máxima de un caudal de 1 [l/s], posee la opción de variar pendiente entre un -0.5% y un 10%. Adicionalmente cuenta con implementos para simular socavación de cepas e incluir compuerta y vertedero frontal.



Figura 1.2 Canal S8MKII

Esta memoria de título nace como un proyecto para reforzar el Laboratorio de Hidráulica del Campus San Joaquín, dotándolo de un nuevo canal para modelaciones físicas de escurrimientos a superficie libre, el cual será diseñado, construido, calibrado y puesto en marcha íntegramente por tres memoristas de la carrera de Ingeniería Civil, logrando de esta manera un equipo con la capacidad de ser utilizado tanto como para investigación como fines docentes, junto con un ahorro significativo de dinero para el Departamento de Obras Civiles, en comparación con la adquisición del equipo por medio de empresas especializadas.

Este nuevo canal espera cubrir los fenómenos hidráulicos de escurrimientos a superficie libre que actualmente no pueden ser simulados con las condiciones de los canales S6MKII y S8MKII. Los principales fenómenos hidráulicos no cubiertos por estos canales consisten en el cambio de la cantidad de caudal a lo largo del canal, ya sea adición o disminución de éste. Luego de analizar la aplicabilidad de estos casos mencionados y su apoyo dentro de los cursos del área de Hidráulica dictados en la Universidad, se toma la decisión de construir un canal en el cual sea posible generar una disminución del caudal que circula a través de éste. Esta disminución de caudal se generará mediante la desviación de caudal utilizando tres obras hidráulicas, las cuales son una compuerta lateral, vertedero lateral o rejillas de infiltración en el fondo.

El canal será de 4 [m] de largo, 15 [cm] de ancho, con una capacidad máxima de un caudal de 10 [l/s] y poseerá la opción de variar pendiente entre un -1% y 5%.

Este proyecto se diseña y construye en conjunto con otros memoristas, pero cada uno se enfoca en el análisis de una de las singularidades a estudiar. Esta memoria se encarga de las rejillas de infiltración de fondo, las cuales generan una pérdida de caudal por la parte inferior del canal. Se cuenta con 15 tipos distintos de rejillas intercambiables y deja abierta la opción de en el futuro generar más tipos de rejillas. Éstas cuentan con distintas formas, tamaño y cantidad de sus aberturas por las cuales pasara el agua, logrando de esta manera un material de investigación y académico con una gran cantidad de variaciones y posibilidades.

1.1 Objetivos generales

El Departamento de Obras Civiles de la Universidad Técnica Federico Santa María tiene como visión “Ser un Departamento académico líder en Chile y reconocido a nivel internacional, en el área de las Obras Civiles” y como misión “Contribuir a la generación de conocimientos y crear un ambiente de aprendizaje que permita, a través de la docencia, investigación y extensión, formar profesionales de excelencia, capaces de aportar al desarrollo de la sociedad, en el ámbito de las Obras Civiles”. Teniendo en consideración lo anterior, el objetivo del presente proyecto es contribuir a la docencia e investigación de la carrera en el área de Recursos Hidráulicos y Medioambiente, mediante la construcción e implementación de un nuevo equipo para el Laboratorio de Hidráulica. Este equipo permitirá a los alumnos una mayor comprensión de ciertos fenómenos que son estudiados en ramos como Hidráulica Teórica, Hidráulica Aplicada y Máquinas y Sistemas Hidráulicos. El equipo corresponderá a un canal que permitirá estudiar los fenómenos ocurridos ante la presencia de un vertedero lateral, una compuerta lateral y rejillas de infiltración. El fin es aportar a un ambiente de aprendizaje más lúdico, que permita un mayor y cabal entendimiento de los fenómenos estudiados en teoría en las aulas de clases, de tal manera de aportar de manera trascendente al desarrollo de los alumnos de ingeniería civil de la universidad, al mismo tiempo que al área de investigación y a la docencia.

1.2 Objetivos específicos

El proyecto cumple con 2 objetivos principales. El primero es que a partir del desarrollo de la actividad los alumnos que la han de llevar a cabo puedan optar a obtener su título de ingenieros civiles al desarrollar un proyecto de ingeniería en su totalidad, desde la etapa de concepción, análisis y diseño del equipo, hasta su construcción y posterior puesta en marcha dentro del laboratorio. Todo esto hace necesario no solo poner en práctica los conocimientos de la disciplina de hidráulica adquiridos, sino que también conocimientos de planificación, gestión y finanzas. Por lo tanto, esto corresponde a la realización de un proyecto completo de ingeniería a una escala menor. En segundo lugar, la actividad tiene como objetivo aportar al desarrollo educacional en el Área Recursos Hidráulicos y Medioambiente del laboratorio, implementando un equipo que permita una mejor comprensión de fenómenos estudiados de forma teórica en los diferentes ramos, y que estos puedan ser un aporte en el tiempo no solo para alumnos, sino también para la investigación y para los mismos docentes.

1.3 Alcances

Como resultado final del proyecto se espera contar con un canal hidráulico nuevo en el laboratorio, el cual permita realizar mediciones de flujo para tres situaciones, las cuales actualmente no pueden ser simuladas con los equipos que forman parte del laboratorio. Este canal permitirá realizar nuevas experiencias de laboratorio para la asignatura de “Hidráulica teórica y laboratorio”, permitiendo a los alumnos conocer y experimentar fenómenos hidráulicos que actualmente solo cuentan con la teoría.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Flujo en un canal

El flujo de un canal se produce primordialmente por la acción de la fuerza de gravedad. Su principal característica es que corresponde a un flujo a superficie libre y presión atmosférica, lo que lo diferencia completamente del estudio en flujos en conducciones cerradas como es el caso de tuberías. El flujo analizado corresponde a un líquido, siendo éste la mayoría de las veces agua.

El movimiento de este líquido a superficie libre se ve afectado por fuerzas similares a las que intervienen en el caso de un flujo en conductos cerrados:

- Fuerza de gravedad, siendo ésta la más importante para el movimiento.
- Resistencia ocasionada en las fronteras rígidas por la fricción.
- Presión que ejerce el flujo sobre las fronteras del canal.
- Viscosidad del líquido.
- Tensión superficial.

2.1.1 Geometría de un canal

La principal característica que define la geometría de un canal, corresponde en sentido longitudinal a la pendiente (S) de éste, la cual se define como el cociente entre el desnivel entre dos puntos del canal y la distancia horizontal que separa estos puntos. En canales naturales esta definición equivale a la pendiente media entre dichos puntos.

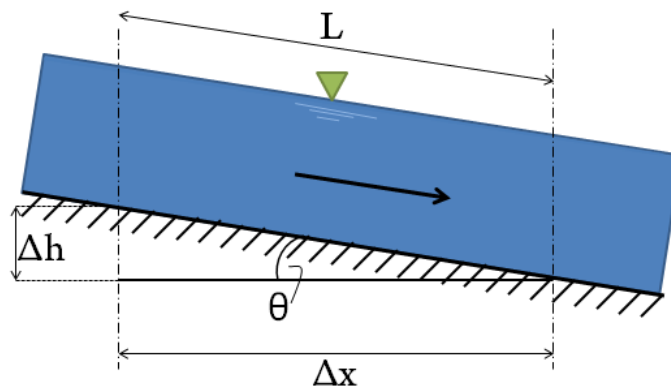


Figura 2.1 Esquema lateral de un canal

Donde θ corresponde al ángulo de inclinación del canal con respecto a la horizontal. En la práctica es común que este ángulo tenga valores pequeños (Chow, 1994), por lo que usualmente se utiliza $\Delta x \approx L$ y también $S = \tan(\theta) = \sin(\theta)$.

$$S = \frac{\Delta h}{L} = \tan(\theta)$$

Por otro lado, se define la sección transversal del canal como la sección perpendicular al fondo de éste.

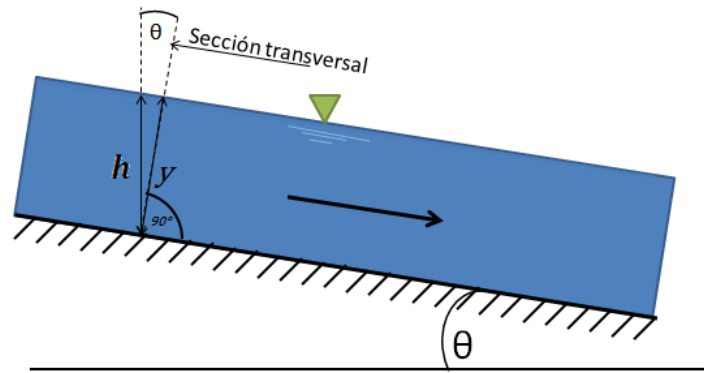


Figura 2.2 Esquema lateral de un canal, sección transversal

Donde la relación entre h e y es la siguiente:

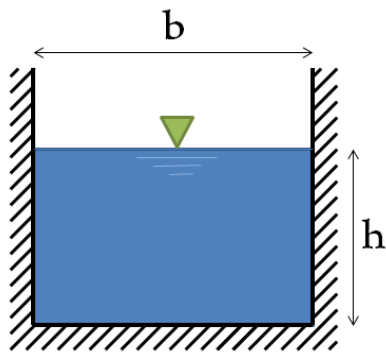
$$y = h \cos(\theta)$$

Para ángulos pequeños es posible asumir que $y \approx h$ (Sotelo Ávila, 2002).

Los elementos más importantes de esta sección se describen a continuación:

- **Altura:** es la distancia vertical entre la superficie libre y el punto más bajo de la sección, es decir, la profundidad del escurrimiento.
- **Ancho superficial:** es el ancho de la superficie libre del canal.
- **Área hidráulica:** es el área ocupada por el flujo en la sección transversal.
- **Perímetro mojado:** es la longitud de la línea de contacto entre el flujo y las paredes del canal.
- **Radio hidráulico:** es el cociente entre el área hidráulica y el perímetro mojado.

Para una sección rectangular estos se presentan de la siguiente manera:



Donde:

- $h = \text{altura}$
- $b = \text{ancho superficial}$
- $A_h = \text{área hidráulica} = b \cdot h$
- $P_m = \text{perímetro mojado} = b + 2h$
- $R_h = \text{radio hidráulico} = \frac{A_h}{P_m}$

Figura 2.3 Sección transversal de un canal

2.1.2 Energía y altura de escurrimiento

Se define la ecuación de Bernoulli, la cual representa la energía de una sección de escurrimiento por unidad de peso del fluido:

$$Cte = \alpha \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z \quad (2.1)$$

Donde: p : Presión en el centro de gravedad de la sección.
 z : Nivel del centro de gravedad medido desde un nivel de referencia.
 α : Coeficiente de Coriolis.

Al considerar flujo turbulento, que es lo que ocurre en la mayoría de los casos, es posible decir que $\alpha = 1$ (Rocha, 2007). Por otro lado, considerando las líneas de corriente paralelas al fondo del canal, es posible determinar la presión en el centro de gravedad del escurrimiento por medio de la ley hidrostática, por lo que la ecuación (2.1) se reescribe como:

$$H = \frac{v^2}{2g} + h + z \quad (2.2)$$

Esto se representa en la siguiente figura:

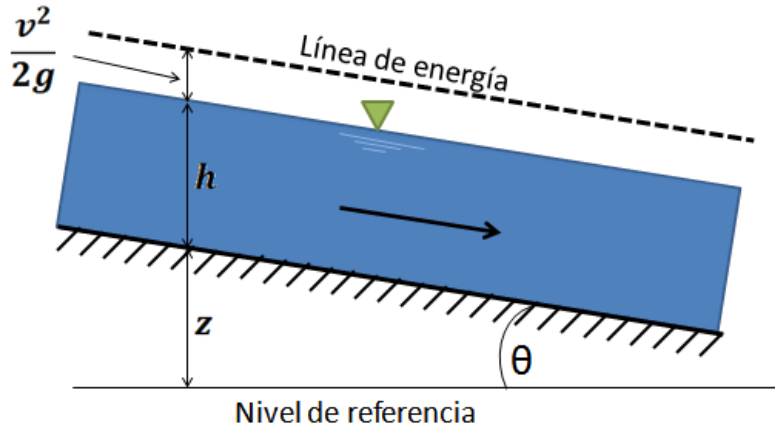


Figura 2.4 Esquema de energía en un canal

Luego se define la energía específica, al considerar el Bernoulli desde la cota de fondo del canal:

$$E = \frac{v^2}{2g} + h \quad (2.3)$$

En esta expresión se desprecia el efecto de la pendiente, lo cual es válido para canales de pendiente baja (menor a 6° o 13.3%), lo que ocurre en la mayoría de los casos (Chow, 1994).

2.1.2.1 Energía y altura crítica en canales rectangulares

Se define la energía crítica como la mínima energía específica que puede poseer cierta sección de escurrimiento para las condiciones dadas de caudal y geometría de la sección. Para dicha energía crítica se define la altura crítica, la cual corresponden a la altura de escurrimiento para la cual se tiene la mínima energía específica posible. Es posible obtener dicha altura al minimizar la ecuación de energía específica para el caso de sección rectangular (2.3):

$$E = \frac{v^2}{2g} + h = \frac{Q^2}{(bh)^2 2g} + h$$

$$\frac{dE}{dh} = -2 \frac{Q^2}{b^2 h_c^3 2g} = 0$$

Por lo que se obtiene que la altura crítica sea representada por la siguiente expresión:

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}} \quad (2.4)$$

Luego al evaluar en la ecuación de energía, es posible obtener la energía crítica en un canal de sección rectangular:

$$E_c = \frac{Q^2}{\left(b^3 \sqrt{\frac{Q^2}{b^2 g}}\right)^2 2g} + \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}}$$

$$E_c = \frac{Q^{2-\frac{2}{3}}}{b^{2-\frac{2}{3}} 2g^{1-\frac{2}{3}}} + \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}}$$

$$E_c = \frac{Q^{\frac{2}{3}}}{b^{\frac{2}{3}} 2g^{\frac{1}{3}}} + \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}}$$

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}} + \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}}$$

$$E_c = \frac{3}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}}$$

$$E_c = \frac{3}{2} \cdot h_c \quad (2.5)$$

Finalmente se obtiene la curva específica en canales rectangulares, la cual muestra la relación entre h/h_c y E/E_c , independientemente del ancho y caudal que exista en el canal:

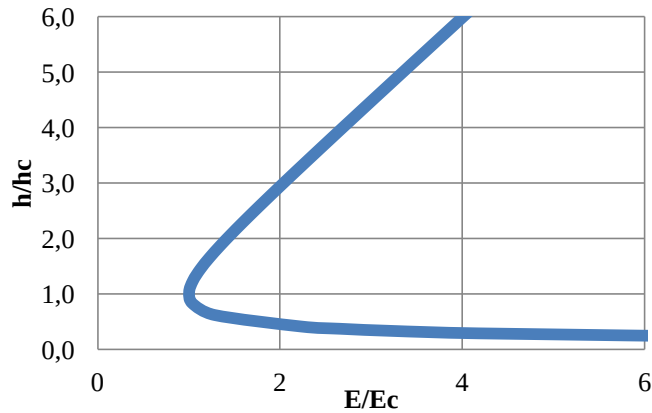


Figura 2.5 Curva específica en canales rectangulares

En esta curva se aprecian dos tipos de tendencias, siendo el límite de éstas para el valor $\frac{h}{h_c} = 1$, sobre este valor los valores de E/E_c tienen una tendencia creciente y bajo este valor tienen una tendencia decreciente. Este límite divide dos tipos de régimen de flujo distintos, los cuales serán explicados en la sección 2.1.4.

2.1.2.2 Pérdidas de energía

El concepto de pérdidas en la ecuación de energía es similar a lo utilizado en el cálculo de tuberías a presión, pues en canales abiertos también existen pérdidas por fricción y locales. Las diferencias existentes se generan a partir de diferencias en el escurrimiento, ya que en tuberías a presión la pérdida de energía producto de la fricción es constante para tramos largos de un mismo diámetro, donde al ser constante este último, la velocidad también lo es. En cambio, en un canal, aun teniendo una sección transversal y rugosidad constante (lo cual es sumamente difícil), el flujo puede ser variado, lo que genera que las pérdidas por fricción en este caso cambien continuamente y no se mantengan constantes como en el caso anterior. Únicamente cuando se tiene un flujo completamente uniforme es posible afirmar que las pérdidas de energía son constantes, es decir, la inclinación del canal, superficie libre y la línea de energía mantienen la misma inclinación. Por estas razones es común asociar la pérdida por fricción de un tramo con la pendiente media de éste (Sotelo Ávila, 2002).

El balance de energía entre un punto inicial y otro punto ubicado aguas abajo, se puede expresar de la siguiente manera:

$$E = E(x) + J \cdot x$$

Donde:

- E : Energía específica inicial
- $E(x)$: Energía específica a una distancia x
- J : Pérdida de energía unitaria
- x : Distancia entre puntos

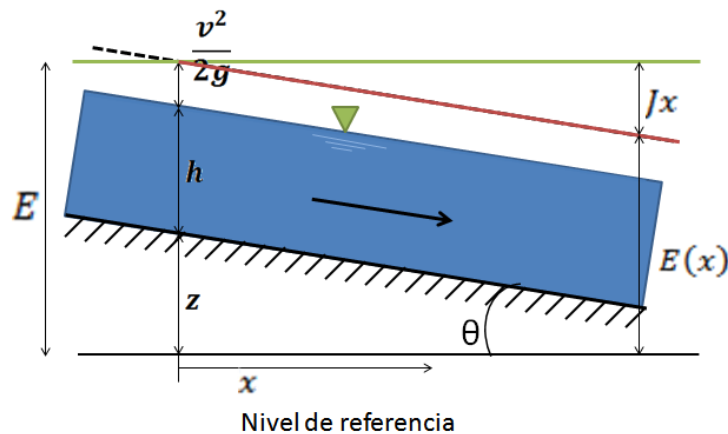


Figura 2.6 Esquema de pérdidas de energía

2.1.2.3 Ecuación de Manning

En la actualidad existe un gran número de ecuaciones de flujo uniforme para cálculos de flujos en canales abiertos. La ecuación de Manning se destaca siendo la más utilizada en este ámbito debido a su simplicidad y los resultados satisfactorios que entrega en aplicaciones prácticas (Chow, 1994). Esta ecuación fue presentada por el ingeniero irlandés Robert Manning en 1889 por primera vez. Fue desarrollada en base a siete ecuaciones diferentes, basada en datos experimentales de Bazin y verificada mediante 170 observaciones (Chow, 1994). Nació principalmente como una evolución de la fórmula de Chézy, siendo esta la siguiente ecuación:

$$V = C \sqrt{R_h \cdot S}$$

Donde C corresponde al denominado coeficiente de Chézy, para el cual distintos autores proponen la manera de calcularlo:

Tabla 2.1 Coeficientes de Chézy (Sotelo Ávila, 2002)

Autor	Ecuación	Observaciones
Ganguillet y Kutter	$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{S}}{1 + (23 + \frac{0.00155}{S}) \frac{n}{\sqrt{R_h}}}$	Aconsejable en canales naturales, para los que usualmente conduce a resultados satisfactorios. Es compleja y tiene la desventaja de que ocurren cambios grandes en C para cambios pequeños en n . Este coeficiente depende de la rugosidad del canal.
Kutter	$C = \frac{100\sqrt{R_h}}{m + \sqrt{R_h}}$	Es una simplificación de la de Ganguillet y Kutter, m es un coeficiente de rugosidad.
Bazin	$C = \frac{87}{1 + \frac{N_s}{\sqrt{R_h}}}$	Está basada en una buena cantidad de experimentos y es relativamente sencilla. N_s es un coeficiente de rugosidad.
Kozeny	$C = 20 \log\left(\frac{A}{T}\right) + N_k$	Es análoga a la de los conductos a presión y fue obtenida con base en los resultados experimentales de Von Misses y Bazin. N_k es un coeficiente de rugosidad.
Martínez	$C = 17.7 \log\left(\frac{R_h}{d_m}\right) + 13.6$	Se obtuvo de muchas mediciones en ríos de la ex Unión Soviética. d_m es el diámetro medio del grano de material en el fondo del río en metros. Es válida cuando $0.15 < R_h < 2.25 [m]$, $0.00004 < S < 0.0039$ y $0.004 < d_n < 0.25 [m]$.
Manning	$C = \frac{R_h^{1/6}}{n}$	Originalmente fue obtenida a partir de siete ecuaciones diferentes basadas en ensayos de Bazin, y posteriormente verificada por observaciones. Es una de las más utilizadas por su sencillez. n es el mismo coeficiente que utilizó Ganguillet y Kutter.
Pavlovski	$C = \frac{R_h^2}{n}$	Considera que el exponente en la ecuación de Manning no es constante, sino que varía con la forma del canal y rugosidad, como sigue: $z = 1.5 \sqrt{n}$, para $R_h < 1 [m]$ y $z = 1.3 \sqrt{n}$, para $R_h > 1 [m]$. El valor de n es el mismo que el de Manning.

Al combinar el coeficiente de Chézy expuesto por Manning con la ecuación de Chézy se obtiene la ecuación de Manning utilizada actualmente:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Donde al reordenar términos se tiene la expresión comúnmente utilizada:

$$\frac{Q \cdot n}{\sqrt{S}} = \frac{A^{\frac{5}{3}}}{P_m^{\frac{2}{3}}}$$

En la ecuación de Manning se encuentra el factor n , el cual corresponde al coeficiente de rugosidad de Manning y representa la mayor dificultad al aplicar este método, ya que no existe un método exacto para la selección de este valor, siendo éste muy variable y con muchos factores que lo modifican. Chow (1994) presenta un método estimativo para calcular este coeficiente, junto con una tabla con los principales materiales y los coeficientes mínimos, medios y máximos asociados a estos materiales.

Cuando un flujo se encuentra en su estado uniforme, se dice que la altura obtenida mediante la ecuación de Manning corresponde a la altura normal (h_n).

2.1.3 Conservación de Momentum

En la hidráulica de canales es común asumir que la energía se conserva para ciertos fenómenos hidráulicos, sin embargo, en algunos casos no es correcto tomar esta consideración ya que la pérdida de energía deja de ser nula o despreciable. Los casos más conocidos donde ocurre esto son resalto hidráulico y adición de caudal. Para estos casos mencionados y otros más es necesario recurrir a otros métodos para poder analizar lo sucedido. El momentum o cantidad de movimiento es comúnmente utilizado para estas situaciones.

Considerando un canal de flujo permanente y un volumen de control limitado por dos secciones transversales (1 y 2), la superficie libre y el fondo del canal tal como lo muestra la siguiente figura:

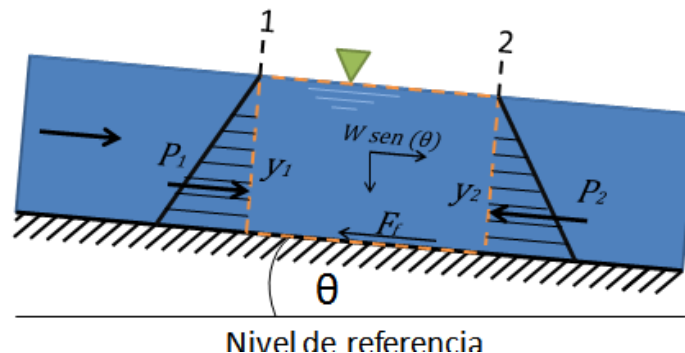


Figura 2.7 Fuerzas involucradas en el volumen de control

Aplicando el teorema de la cantidad de movimiento (Segunda Ley de Newton) entre las secciones 1 y 2 en dirección paralela al fondo del canal, se obtiene lo siguiente:

$$\rho Q(\beta_2 v_2 - \beta_1 v_1) = P_1 - P_2 + W \sen(\theta) - F_f$$

Donde ρ es la densidad del fluido, β el coeficiente de Boussinesq, P la fuerza hidrostática, W el peso y F_f la fuerza debido a la fricción.

En esta ecuación se considera una distribución hidrostática de presiones, lo que es válido para movimiento uniforme y aproximadamente válido para movimiento gradualmente variado (Rocha, 2007), es por esto que las secciones transversales 1 y 2 deben seleccionarse de tal manera que en ellas sea aplicable la ley hidrostática.

Al evaluar la fuerza hidrostática $P = \gamma y_g A$, donde y_g representa la profundidad desde el pelo de agua hasta el centro de gravedad de la sección. La ecuación obtenida es la siguiente:

$$\frac{\beta_1 Q^2}{g A_1} + y_{g1} A_1 \cos \theta = \frac{\beta_2 Q^2}{g A_2} + y_{g2} A_2 \cos \theta$$

Donde luego se define la ecuación de momentum como:

$$M = \frac{\beta Q^2}{g A} + y_g A \cos \theta$$

El primer término de la ecuación corresponde a la cantidad de movimiento del flujo a través de una sección del canal, el segundo corresponde al empuje debido a la presión sobre el área de la sección.

Si la pendiente del canal es suficientemente pequeña y existe una distribución uniforme de velocidad, es posible considerar $\cos(\theta) \approx 1$ y $\beta \approx 1$ (Rocha, 2007). De este modo la función momentum se simplifica a la siguiente manera:

$$M = \frac{Q^2}{g A} + y_g A$$

Para un canal rectangular se tiene lo siguiente:

$$M = \frac{Q^2}{g h b} + \frac{h^2}{2} b$$

La ecuación de momentum involucra las fuerzas exteriores, a diferencia de la ecuación de energía en la cual se expresa la disipación de energía interna.

2.1.4 Tipos de flujo

A continuación, se presentan los distintos tipos de flujo, los cuales se diferencian en la manera de analizar este comportamiento hidráulico.

2.1.4.1 Flujo permanente y no permanente

Esta clasificación obedece a la utilización del tiempo como criterio, ya que se tiene un flujo permanente cuando la velocidad media en una sección dada se mantiene constante en el tiempo. Por el contrario, se califica como no permanente cuando no se mantiene constante esta velocidad.

- Flujo permanente: $\frac{dv}{dt} = 0$
- Flujo no permanente: $\frac{dv}{dt} \neq 0$

2.1.4.2 Flujo laminar y turbulento

Esta clasificación se genera en base al efecto que genera la viscosidad en el flujo, pudiendo ser un flujo laminar, de transición o turbulento. La importancia de la fuerza de inercia respecto a la viscosidad se mide con el número de Reynolds, en el caso de canales este número se representa con la siguiente ecuación:

$$R_e = \frac{v \cdot R_h}{\nu}$$

Donde:

- R_h : Radio hidráulico de la sección
- v : Velocidad media en la sección
- ν : Viscosidad cinemática del agua

En base a este número se han realizado diversos experimentos, llegando a los siguientes valores (Sotelo Ávila, 2002):

- Flujo laminar: $R_e \leq 500$
- Flujo de transición: $500 < R_e < 12.500$
- Flujo turbulento: $R_e \geq 12.500$

El límite para flujo turbulento se encuentra aún en discusión, algunos autores como Chanson (2004) proponen valores de 5.000 para este límite.

Las diferencias existentes entre estos valores y los que se manejan en conductos cerrados se deben a la manera de definir el número de Reynolds, ya que, en tuberías, éste se define con el diámetro en lugar del radio hidráulico, siendo este último $R_h = D/4$.

En canales ocurre muy rara vez el flujo laminar, ya que las dimensiones son relativamente grandes y el agua posee una baja viscosidad cinemática ($1,003 \cdot 10^{-6} m^2/s$ a $20^\circ C$). El flujo laminar puede ocurrir en láminas muy delgadas y con poca velocidad, en el resto de los casos en general se tendrá flujo turbulento.

2.1.4.3 Flujo permanente uniforme y permanente variado

Esta clasificación se basa en la utilización del espacio como criterio, donde la velocidad es el marco de comparación, ya que el flujo uniforme se presenta cuando la velocidad media permanece constante en cualquier sección del canal. Esto quiere decir que la altura de escurrimiento también es constante a lo largo del canal. Por otro lado, en un flujo variado ocurre lo contrario, la velocidad no se mantiene constante a lo largo de éste y por lo tanto la altura tampoco.

Los flujos uniformes son imposibles de encontrar en cauces reales, ya que, debido a las distintas secciones, pendiente e interferencias en el cauce es imposible contar con velocidades constantes. Este flujo es solo apreciable en canales prismáticos artificiales largos y de pendiente, geometría y rugosidad constante, donde es posible mantener una velocidad constante debido a la uniformidad de las secciones de éste. Contar con un flujo uniforme es de mucha utilidad, ya que ayuda a simplificar el análisis de lo que ocurre.

En un flujo variado el análisis tiene una complejidad mayor en comparación al caso anterior. Aquí se producen cambios de velocidad en el cual se acelera o desacelera el flujo, ya sea debido a un cambio de pendiente, geometría o alguna interferencia externa que se interponga en la línea de flujo. En estos casos la línea de energía, la altura de agua y el fondo del canal tienen inclinaciones distintas entre sí. Este tipo de flujo tiene distintas clasificaciones:

- Gradualmente variado: la altura de agua cambia gradualmente a lo largo del canal.
- Rápidamente variado: ocurre lo contrario al caso anterior, la altura cambia rápidamente, como por ejemplo en el caso de un resalto hidráulico.
- Espacialmente variado: en este tipo de flujo se presenta cambios en el caudal a lo largo del canal o en un tramo de éste.

2.1.4.4 Flujo subcrítico o supercrítico

Esta clasificación relaciona la fuerza de inercia respecto a la fuerza de gravedad que actúa sobre el fluido, definiéndose está a través del número de Froude:

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$$

Donde:

- v : Velocidad media en la sección
- g : Aceleración de gravedad
- h : Altura de escurrimiento

Para lo cual se tendrá que:

- $F_r > 1$: la fuerza de inercia domina sobre la gravedad y el flujo se encuentra en régimen supercrítico.
- $F_r = 1$: la fuerza de inercia se iguala a la de gravedad y el flujo se encuentra en régimen crítico.
- $F_r < 1$: la fuerza de inercia es inferior a la de gravedad y el flujo se encuentra en régimen subcrítico.

Este número es uno de los parámetros más utilizados en flujos a superficie libre para clasificar el estado de éste.

2.2 Flujo espacialmente variado

El flujo espacialmente variado, corresponde a un caudal no uniforme producto de la adición o disminución de caudal a lo largo del recorrido del flujo. Esta adición o disminución de caudal puede causar variaciones en la cantidad de energía o momentum del flujo, y producto de esto se tiene un comportamiento hidráulico más complejo que el de un flujo de caudal constante. Los flujos con caudal creciente y decreciente tienen comportamientos distintos, por lo que su estudio se realiza de forma independiente.

La deducción de las ecuaciones de flujo espacialmente variado cuenta con las siguientes suposiciones:

- Flujo unidireccional
- Distribución de velocidades constante
- La presión en el flujo es hidrostática
- Pendiente pequeña del canal
- Se utiliza Manning para evaluar pérdidas por fricción
- El efecto de atrapamiento de aire es insignificante

2.2.1 Flujo con caudal creciente

Este tipo de flujo espacialmente variado se caracteriza por la considerable pérdida de energía que se genera producto de la mezcla turbulenta entre el caudal que circula a través del canal y el caudal añadido, lo que se puede ver en la Figura 2.8. Debido a la alta incertidumbre de lo que ocurre en esta mezcla, es más conveniente la utilización de ecuaciones de momentum en comparación con la ecuación de energía para solucionar este tipo de problemas.

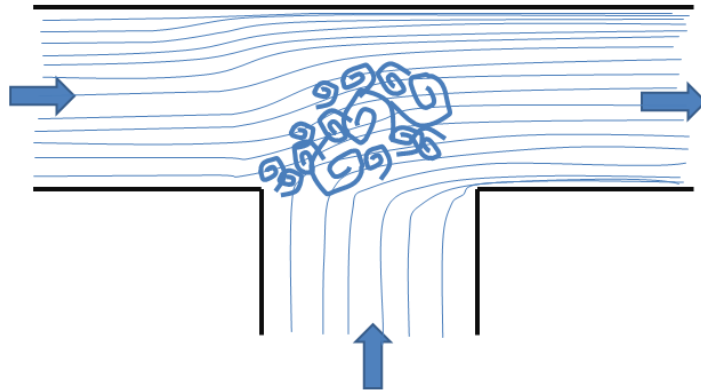


Figura 2.8 Líneas de flujo para caudal creciente

Debido a que en este proyecto no se estudia el caso de flujo con caudal creciente, no se profundiza en este tópico.

2.2.2 Flujo con caudal decreciente

Este tipo de flujo es posible de considerarlo como una desviación de caudal sin afectar la altura de energía existente, debido a la baja turbulencia que se genera, tal como lo muestra la Figura 2.9. Lo anterior ha sido verificado mediante experimentos y teoría (Chow, 1994). Dado esto, es posible la utilización de las ecuaciones de energía para resolver estos problemas.

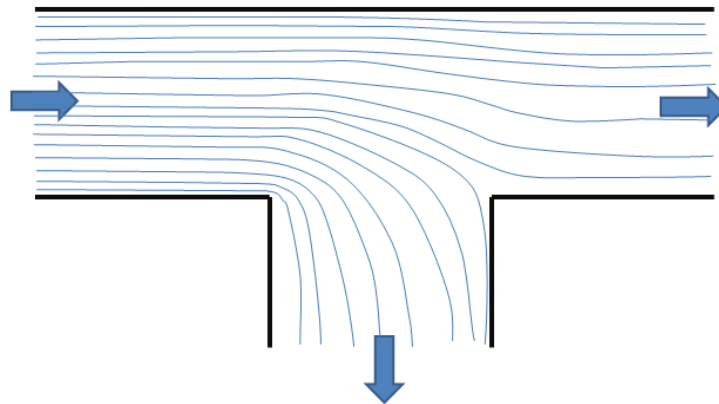


Figura 2.9 Líneas de flujo para caudal decreciente

El fenómeno que se espera analizar en este proyecto corresponde a un flujo espacialmente variado, donde se tiene un caudal decreciente en el canal producto de la desviación de flujo que se genera por la rejilla instalada en el fondo, la cual desvía parte o la totalidad del caudal existente. Estas rejillas se utilizan comúnmente para el desvío de aguas con distintas aplicaciones, como bocatomas en canales revestidos, sumideros en caminos, etc.

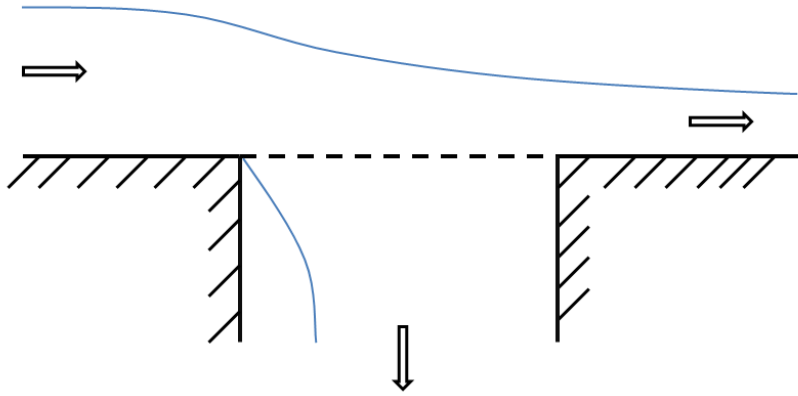


Figura 2.10 Esquema de flujo en rejilla de fondo

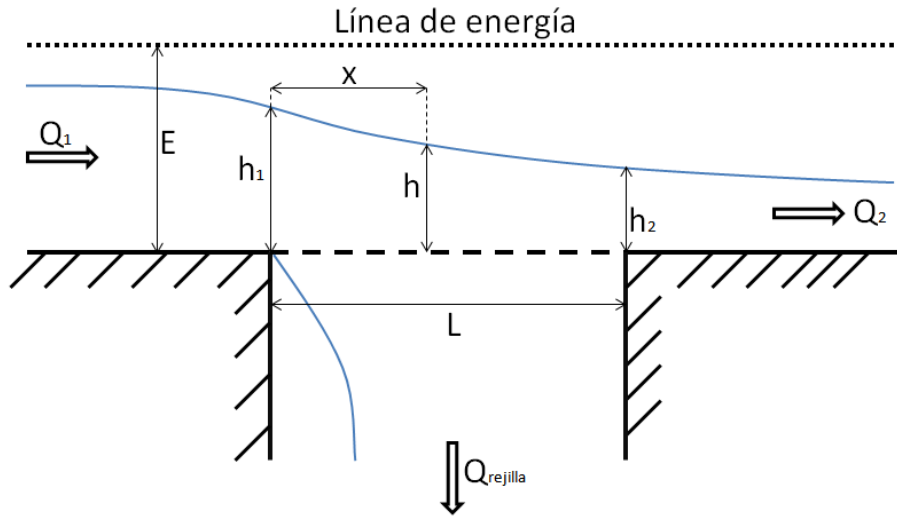


Figura 2.11 Esquema de energía en rejilla de fondo

En este tipo de flujo, donde se tiene un caudal decreciente, es posible considerar la energía específica como constante a lo largo del canal (Chow, 1994). La energía específica para una sección cualquiera del canal rectangular, puede escribirse de la siguiente manera:

$$E = h + \frac{v^2}{2g} = h + \frac{1}{2g} \frac{Q^2}{A(h)^2} \quad (2.6)$$

Al considerar constante la energía se tiene que $dE/dx = 0$, por lo tanto:

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dx} &= \frac{dh}{dx} + \frac{1}{2g} \frac{d}{dx} \left(\frac{Q^2}{A(h)^2} \right) \\ 0 &= \frac{dh}{dx} + \frac{1}{2g} \left(\frac{2Q}{A(h)^2} \frac{dQ}{dx} - 2 \frac{Q^2}{A(h)^3} \frac{dA(x)}{dx} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
0 &= \frac{dh}{dx} + \frac{1}{2g} \left(\frac{2Q}{A(h)^2} \frac{dQ}{dx} - 2 \frac{Q^2}{A(h)^3} \frac{dA(x)}{dh} \frac{dh}{dx} \right) \\
0 &= \frac{dh}{dx} + \frac{1}{2g} \left(\frac{2Q}{A(h)^2} \frac{dQ}{dx} - 2 \frac{Q^2}{A(h)^3} b \frac{dh}{dx} \right) \\
0 &= \frac{dh}{dx} + \frac{1}{2g} \frac{2Q}{A(h)^2} \frac{dQ}{dx} - \frac{1}{2g} 2 \frac{Q^2}{A(h)^3} b \frac{dh}{dx} \\
\frac{dh}{dx} - \frac{1}{g} \frac{Q^2}{A(h)^3} b \frac{dh}{dx} &= -\frac{1}{g} \frac{Q}{A(h)^2} \frac{dQ}{dx} \\
\frac{dh}{dx} \left(1 - \frac{b}{g} \frac{Q^2}{A(h)^3} \right) &= \frac{1}{g} \frac{Q}{A(h)^2} \left(-\frac{dQ}{dx} \right) \\
\frac{dh}{dx} &= \frac{\frac{1}{g} \frac{Q}{A(h)^2} \left(-\frac{dQ}{dx} \right)}{\left(1 - \frac{b}{g} \frac{Q^2}{A(h)^3} \right)}
\end{aligned}$$

Luego, como se tiene canal rectangular: $A(h) = bh$

$$\begin{aligned}
\frac{dh}{dx} &= \frac{\frac{1}{g} \frac{Q}{b^2 h^2} \left(-\frac{dQ}{dx} \right)}{\left(1 - \frac{b}{g} \frac{Q^2}{b^3 h^3} \right)} = \frac{\frac{1}{g} \frac{Q}{b^2 h^2} \left(-\frac{dQ}{dx} \right)}{\left(1 - \frac{1}{g} \frac{Q^2}{b^2 h^3} \right)} = \frac{\frac{1}{g} \frac{Q}{b^2 h^2} \left(-\frac{dQ}{dx} \right)}{\frac{g b^2 h^3 - Q^2}{g b^2 h^3}} \\
\frac{dh}{dx} &= \frac{Qh \left(-\frac{dQ}{dx} \right)}{g b^2 h^3 - Q^2} \tag{2.7}
\end{aligned}$$

Donde $-dQ/dx$ representa el caudal desviado a lo largo de la longitud dx de la rejilla.

Es posible determinar el caudal que se descarga a través de la rejilla de fondo conociendo las alturas de agua antes y después de ésta, ya que al despejar el caudal de la ecuación (2.6) se obtiene lo siguiente:

$$\begin{aligned}
E &= h + \frac{v^2}{2g} = h + \frac{1}{2g} \frac{Q^2}{A(h)^2} = h + \frac{1}{2g} \frac{Q^2}{b^2 h^2} \\
Q^2 &= 2g b^2 h^2 (E - h) \\
Q &= bh \sqrt{2g(E - h)} \tag{2.8}
\end{aligned}$$

Como las pérdidas de energía se consideran despreciables a lo largo del canal, es posible obtener el caudal inicial y final utilizando la ecuación anterior:

$$Q_1 = bh_1 \sqrt{2g(E - h_1)}$$

$$Q_2 = bh_2 \sqrt{2g(E - h_2)}$$

Por continuidad es posible obtener el caudal que se descarga:

$$Q_1 = Q_{rejilla} + Q_2$$

$$Q_{rejilla} = Q_1 - Q_2$$

$$Q_{rejilla} = Q_1 - Q_1 \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$Q_{rejilla} = Q_1 - Q_1 \frac{bh_2 \sqrt{2g(E - h_2)}}{bh_1 \sqrt{2g(E - h_1)}}$$

$$Q_{rejilla} = Q_1 - Q_1 \frac{\frac{h_2}{E^2} \sqrt{E - h_2}}{\frac{h_1}{E^2} \sqrt{E - h_1}}$$

$$Q_{rejilla} = Q_1 - Q_1 \frac{h_2 \sqrt{\left(1 - \frac{h_2}{E}\right)}}{h_1 \sqrt{\left(1 - \frac{h_1}{E}\right)}}$$

$$Q_{rejilla} = Q_1 \left[1 - \frac{h_2 \sqrt{1 - \frac{h_2}{E}}}{h_1 \sqrt{1 - \frac{h_1}{E}}} \right] \quad (2.9)$$

Donde se puede obtener el caudal que pasa a través de la rejilla al conocer el caudal inicial del canal y las alturas antes y después de la rejilla.

Para encontrar la expresión que determina la altura del agua en el punto final de la rejilla es necesario seguir trabajando las ecuaciones de energía y de descarga. Estudios han demostrado que el caudal a través de la rejilla depende de la altura efectiva sobre ésta, la cual tiene distintos valores según los dos siguientes casos:

2.2.2.1 *Rejilla paralela al flujo*

En este caso el flujo cae directamente sin sufrir pérdidas importantes de energía (Chow, 1994), y por lo tanto, la altura efectiva sobre la rejilla corresponde a la energía específica.

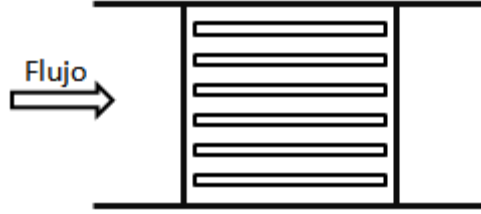


Figura 2.12 Flujo paralelo a rejilla

Debido a esto, el caudal que sale a través de una longitud dx de rejilla puede expresarse de la siguiente manera:

$$-dQ = e C_d dA \sqrt{2gE}$$

$$-dQ = e C_d b dx \sqrt{2gE}$$

$$-\frac{dQ}{dx} = e C_d b \sqrt{2gE} \quad (2.10)$$

Donde e es la relación entre el área de aberturas y el área total de la superficie de la rejilla, y C_d es el coeficiente de descarga a través de los agujeros, tal como se explica en las secciones 2.2.2.4 y 2.2.2.5 respectivamente. Reemplazando las ecuaciones (2.8) y (2.10) en la ecuación (2.7) se obtiene lo siguiente:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{Qh \left(-\frac{dQ}{dx} \right)}{gb^2h^3 - Q^2}$$

$$\frac{dh}{dx} = \frac{bh \sqrt{2g(E-h)} h(eC_d b \sqrt{2gE})}{gb^2h^3 - (bh \sqrt{2g(E-h)})^2}$$

$$\frac{dh}{dx} = \frac{2g C_d e b^2 h^2 \sqrt{E(E-h)}}{gb^2h^3 - b^2 h^2 2g (E-h)}$$

$$\frac{dh}{dx} = \frac{2eC_d \sqrt{E(E-h)}}{h - 2(E-h)}$$

$$\frac{dh}{dx} = \frac{2eC_d \sqrt{E(E-h)}}{3h - 2E}$$

Integrando esta expresión es posible obtener la ecuación del perfil de flujo:

$$\begin{aligned}
\int dx &= \int \frac{dx}{dh} dh \\
x &= \int \frac{3h - 2E}{2eC_d \sqrt{E(E-h)}} dh \\
x &= -\frac{1}{2C_d e E} \left(2E \sqrt{E^2 - Eh} - \frac{2}{E} \sqrt{E^2 - Eh} (E^2 - Eh) \right) + C_o \\
x &= -\frac{1}{2C_d e E} \left(2E \sqrt{E^2 - Eh} - \frac{2}{E} E^2 \sqrt{E^2 - Eh} + \frac{2}{E} Eh \sqrt{E^2 - Eh} \right) + C_o \\
x &= -\frac{1}{2C_d e E} \left(2h \sqrt{E^2 - Eh} \right) + C_o \\
x &= -\frac{1}{C_d e E} \left(h E \sqrt{1 - \frac{h}{E}} \right) + C_o \\
x &= -\frac{E}{eC_d E} h \sqrt{1 - \frac{h}{E}} + C_o \tag{2.11}
\end{aligned}$$

Al realizar la integral aparece una constante de integración C_o . Ésta es posible conocerla al evaluar la ecuación (2.11) para $h = h_1$ y $x = 0$, lo que corresponde a las condiciones iniciales del flujo. Mediante esto es posible obtener dicha constante:

$$C_o = \frac{E}{eC_d E} h_1 \sqrt{1 - \frac{h_1}{E}}$$

Donde h_1 es la altura de escurrimiento a la entrada de la rejilla. Luego la ecuación queda:

$$x = \frac{E}{eC_d} \left(\frac{h_1}{E} \sqrt{1 - \frac{h_1}{E}} - \frac{h}{E} \sqrt{1 - \frac{h}{E}} \right) \tag{2.12}$$

Adicionalmente, es posible obtener el largo de la rejilla necesario para evacuar completamente el flujo principal a través de ésta. Esto se consigue al evaluar la ecuación anterior considerando que no queda agua en el canal, es decir, evaluando para una altura $h = 0$:

$$L = \frac{E}{eC_d} \left(\frac{h_1}{E} \sqrt{1 - \frac{h_1}{E}} \right) \tag{2.13}$$

2.2.2.2 *Rejilla perpendicular al flujo*

En este caso el flujo golpea contra el lado opuesto de los agujeros, generando un cambio en la dirección del flujo desde inclinado hasta vertical, lo que produce una pérdida de energía, siendo ésta similar a la altura de velocidad que tiene el flujo. Por lo tanto, la altura efectiva para este caso corresponde únicamente a la altura (Chow, 1994). Las perforaciones puntuales pertenecen a este tipo de flujo también, ya que el flujo golpea contra los lados de los orificios disipando energía.

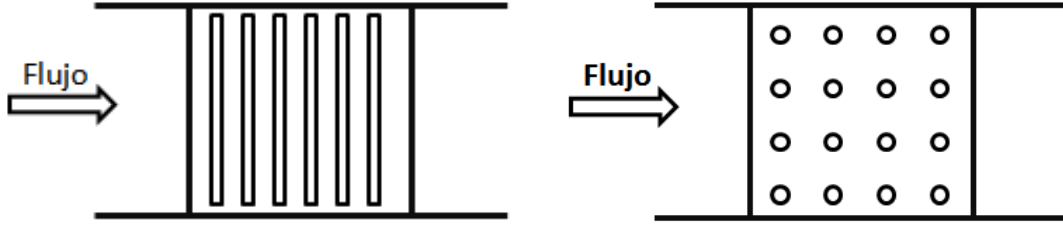


Figura 2.13 Flujo perpendicular a rejilla y orificios

Para este caso, el caudal a través de una longitud dx de rejilla se puede expresar de la siguiente manera:

$$-\frac{dQ}{dx} = eC_d b \sqrt{2gh}$$

Sustituyendo en las ecuaciones derivadas a partir de la ecuación de energía:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{Qh \left(-\frac{dQ}{dx} \right)}{gb^2 h^3 - Q^2}$$

$$\frac{dh}{dx} = \frac{bh \sqrt{2g(E-h)} h(eC_d b \sqrt{2gh})}{gb^2 h^3 - (bh \sqrt{2g(E-h)})^2}$$

$$\frac{dh}{dx} = \frac{2g C_d e b^2 h^2 \sqrt{h(E-h)}}{gb^2 h^3 - b^2 h^2 2g (E-h)}$$

$$\frac{dh}{dx} = \frac{2eC_d \sqrt{h(E-h)}}{h - 2(E-h)}$$

$$\frac{dh}{dx} = 2eC_d \frac{\sqrt{h(E-h)}}{3h - 2E}$$

Integrando esta ecuación se obtiene:

$$\begin{aligned}
\int dx &= \int \frac{dx}{dh} dh \\
x &= \int \frac{3h - 2E}{2eC_d\sqrt{h(E-h)}} dh \\
x &= \frac{1}{2C_d e} \left(\frac{3h(h-E) - E\sqrt{h(E-h)} \tan^{-1}\left(\sqrt{\frac{h}{E-h}}\right)}{\sqrt{h(E-h)}} \right) + C_o \\
x &= \frac{1}{2C_d e} \left(\frac{-3h(E-h)}{\sqrt{h(E-h)}} + \frac{-E\sqrt{h(E-h)} \tan^{-1}\left(\sqrt{\frac{h}{E-h}}\right)}{\sqrt{h(E-h)}} \right) + C_o \\
x &= \frac{1}{2C_d e} \left(\frac{-3h(E-h)}{\sqrt{h(E-h)}} \frac{\sqrt{h(E-h)}}{\sqrt{h(E-h)}} - E \tan^{-1}\left(\sqrt{\frac{h}{E-h}}\right) \right) + C_o \\
x &= \frac{1}{2C_d e} \left(\frac{-3\sqrt{h}(E-h)^{\frac{3}{2}}}{E-h} + \frac{E}{2} \text{sen}^{-1}\left(1 - \frac{2h}{E}\right) \right) + C_o \\
x &= \frac{1}{2C_d e} \left(-3\sqrt{h}\sqrt{E-h} + \frac{E}{2} \text{sen}^{-1}\left(1 - \frac{2h}{E}\right) \right) + C_o \\
x &= \frac{1}{2C_d e} \left(-3E\sqrt{\frac{h}{E}\left(1 - \frac{h}{E}\right)} + \frac{E}{2} \text{sen}^{-1}\left(1 - \frac{2h}{E}\right) \right) + C_o \\
x &= \frac{E}{eC_d} \left[\frac{1}{4} \text{sen}^{-1}\left(1 - \frac{2h}{E}\right) - \frac{3}{2} \sqrt{\frac{h}{E}\left(1 - \frac{h}{E}\right)} \right] + C_o \tag{2.14}
\end{aligned}$$

La constante de integración C_o , puede calcularse mediante la condición de $h = h_1$ y $x = 0$ en la ecuación (2.14), teniendo el siguiente resultado:

$$C_o = -\frac{E}{eC_d} \left[\frac{1}{4} \operatorname{sen}^{-1} \left(1 - \frac{2h_1}{E} \right) - \frac{3}{2} \sqrt{\frac{h_1}{E} \left(1 - \frac{h_1}{E} \right)} \right]$$

Obteniendo de esta forma la ecuación que modela el perfil de flujo:

$$x = \frac{E}{eC_d} \left[\frac{1}{4} \operatorname{sen}^{-1} \left(1 - \frac{2h}{E} \right) - \frac{3}{2} \sqrt{\frac{h}{E} \left(1 - \frac{h}{E} \right)} \right] - \frac{E}{eC_d} \left[\frac{1}{4} \operatorname{sen}^{-1} \left(1 - \frac{2h_1}{E} \right) - \frac{3}{2} \sqrt{\frac{h_1}{E} \left(1 - \frac{h_1}{E} \right)} \right] \quad (2.15)$$

Adicionalmente, evaluando en $h = 0$, es posible obtener la longitud de rejilla requerida para el desvío completo del flujo principal a través de la rejilla:

$$L = \frac{E}{eC_d} \left[\frac{3}{2} \sqrt{\frac{h_1}{E} \left(1 - \frac{h_1}{E} \right)} - \frac{1}{4} \operatorname{sen}^{-1} \left(1 - \frac{2h_1}{E} \right) + \frac{\pi}{8} \right] \quad (2.16)$$

Con las ecuaciones (2.13) y (2.16) obtenidas para los dos casos existentes de disminuciones de caudal producto de rejillas de fondo, es posible obtener la altura de escurrimiento del flujo para distintos tipos de rejillas y longitudes de éstas. Dichas ecuaciones dependen de dos coeficientes, la relación de abertura y el coeficiente de descarga, los cuales varían según la rejilla utilizada.

2.2.2.3 Tipos de flujo sobre rejillas

Estudios de Subramanya (2009) definen distintos tipos de flujo sobre las rejillas, los cuales modifican los coeficientes de descarga que se obtienen. Los tipos existentes son los A1, A2, A3, B1 y B2, los cuales se explican a continuación:

Tabla 2.2 Tipos de flujo sobre rejillas

Tipo	Flujo que llega	Flujo sobre la rejilla
A1	Subcrítico	Supercrítico
A2	Subcrítico	Parcialmente supercrítico
A3	Subcrítico	Subcrítico
B1	Supercrítico	Supercrítico
B2	Supercrítico	Parcialmente supercrítico

Mencionando también que los tipos que se observan con mayor recurrencia son el A1, A3 y B1.

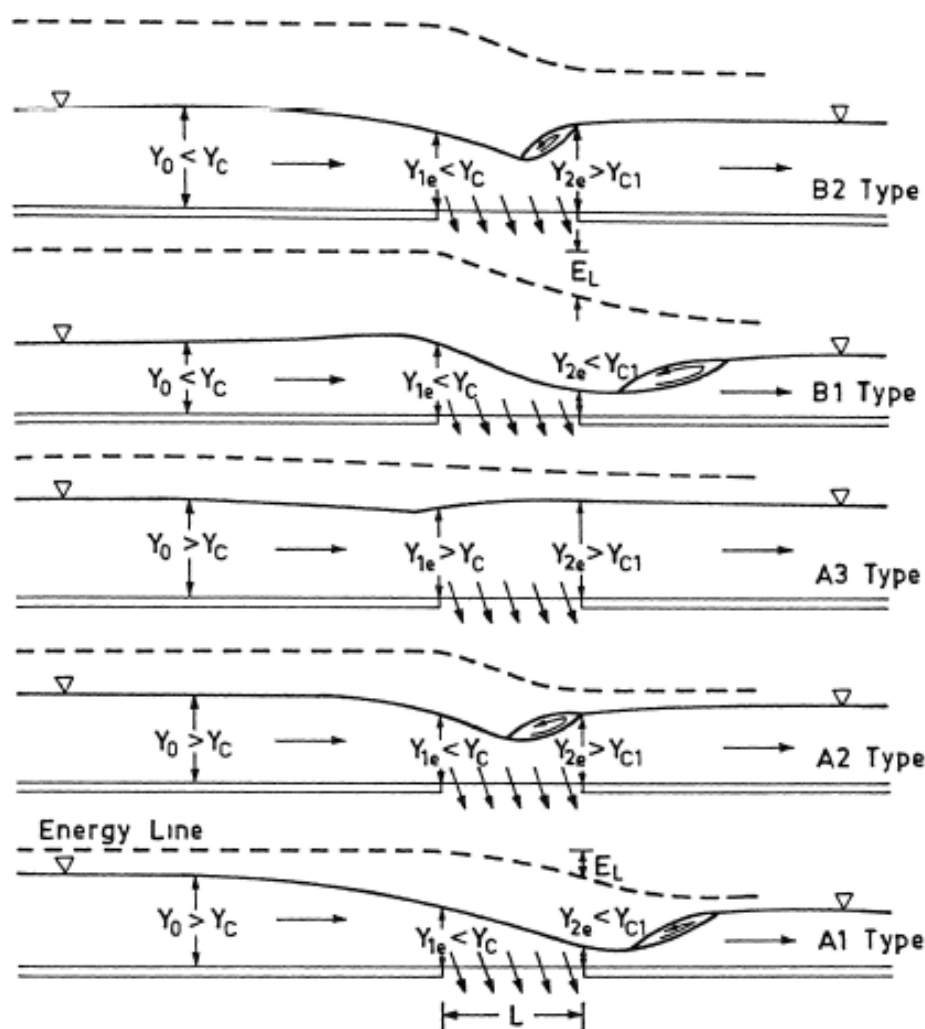


Figura 2.14 Tipos de flujo sobre rejillas (Subramanya, 2009)

Donde Y_o , Y_c , Y_{1e} , Y_{2e} , Y_{c1} , E_L y L representan la altura de agua aguas arriba de la rejilla de fondo, altura crítica aguas arriba, altura de agua en la entrada de la rejilla, altura de agua al final de la rejilla, altura crítica aguas debajo de la rejilla, pérdida de energía y largo de la rejilla respectivamente.

Se debe mencionar también, que los resaltos que aparecen aguas abajo en los tipos de flujo B1 y A1, no necesariamente ocurren, ya que no es una condición para clasificar el flujo y dependerán de las condiciones existentes aguas abajo en cada momento, no así los flujos B2 y A2 donde los resaltos deben existir para que sea dicho tipo de flujo.

2.2.2.4 Relación de abertura

Corresponde a una relación entre el área total de aberturas de fondo y el área total de la superficie de la rejilla. Representa qué porcentaje de la superficie de la rejilla está disponible para que el caudal atraviese a través de ésta.

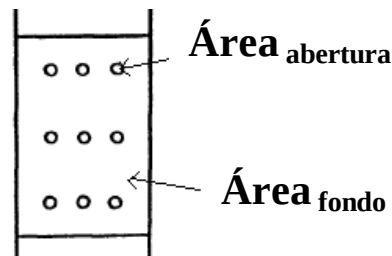


Figura 2.15 Áreas implicadas en el coeficiente

$$e = \frac{\text{Área}_{abertura} \cdot N^{\circ}_{aberturas}}{\text{Área}_{fondo}}$$

El área de fondo corresponde al producto del ancho del canal por el largo efectivo de la rejilla. Este largo efectivo corresponde a la distancia desde donde comienza la primera abertura de la rejilla hasta donde terminar la última abertura.

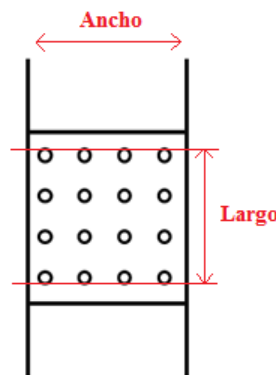


Figura 2.16 Ancho y largo de una rejilla

Mientras más grande sea la relación de abertura, más capacidad de desviar caudal poseerá la rejilla en relación a su tamaño.

2.2.2.5 Coeficiente de descarga

Corresponde a un parámetro que indica la capacidad de descargar caudal a través de las aberturas que posee la rejilla. Depende de cada rejilla y se determina de forma experimental. Según ciertos autores éste posee un valor constante (Garot, de Marchi, Bouvard, Mostkow, Brunella) y en otros casos, como una función variable (Nosedá, Righetti y Lazoni). A continuación, se presenta una recopilación de los coeficientes de descarga propuestos por distintos autores, realizada por Castillo y Lima (2010).

Tabla 2.3 Coeficientes de descarga según distintos autores. (Castillo & Lima, 2010)
Modificada para mostrar solo las ecuaciones que se conocen todas las variables

Autor	Año	Coeficiente de descarga	Comentarios	Notación
Garot	1939	$C_d = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{b_1}{(b_1 + b_w)}\right)^2 \cdot \beta \cdot \left(\frac{b_w}{b_1}\right)^{\frac{4}{3}}}}$	Coeficiente de forma β determinado a partir de pérdidas de presión en rejillas casi verticales $0.76 < \beta < 2.42$	β = Coeficiente de forma b_1 = Ancho orificios b_w = Ancho barras
Nosedá	1956	Subcrítico: $C_d = 0.66 \cdot m^{-0.16} \cdot \left(\frac{h}{x}\right)^{-0.13}$ Supercrítico: $C_d = 0.78 \cdot \left(\frac{h}{x}\right)^{-0.13}$	No considera inclinación de reja y las barras son tipo T	$m = \frac{b_1}{b_1 + b_w}$ h = Altura de agua x = Posición
Mostkow	1957	Rejilla horizontal: $0.497 < C_d < 0.609$ Rejilla inclinada 20%: $0.435 < C_d < 0.519$	Barras rectangulares	
Frank	1959	$C_d = 1.22 \cdot C_{\text{Nosedá}}$	Utiliza datos de Nosedá	$C_{\text{Nosedá}}$ = Coeficiente de descarga obtenido con la ecuación de Nosedá (1956)
Dagan	1963	$C_d = C \cdot m \cos(\alpha) \cdot \frac{x}{E_o} \quad C = \text{cte}$	Validado con datos de Nosedá, barras tipo T	E_o = Energía inicial α = Ángulo de inclinación
Krochin	1978	$C_d = C_o - 0.325 \tan(\alpha)$ $C_o = 0.6 \quad \text{para } m \geq 4$ $C_o = 0.5 \quad \text{para } m < 4$	Barras rectangulares	$m = \frac{b_1}{b_1 + b_w}$ α = Ángulo de inclinación
Vente Chow	1994	Rejilla horizontal: $C_d = 0.497$ Rejilla inclinada 20%: $C_d = 0.435$	Parámetros obtenidos de Mostkow	
Righetti et al.	2000	$C_d = \sin(\alpha)$ $0.5 < C_d < 0.7$	Barras semi-circulares y semi-rectangulares	α = Ángulo de inclinación
Brunella et al.	2003	$m = 0.35 \rightarrow C_d = 1.1$ $m = 0.664 \rightarrow C_d = 0.87$	Barras circulares	

Es posible observar que estos coeficientes propuestos no dependen de la geometría de la rejilla y en su mayoría son constantes o dependen de las condiciones de escurrimiento existentes. A continuación se presentan otros coeficientes los cuales dependen de las características individuales de cada rejilla.

Shafaibejistan (2008) recopila información de algunas publicaciones y muestra lo siguiente:

- Nosedá, en 1956 propone la siguiente ecuación para calcular el coeficiente de descarga:

$$C_d = 0.66 \left(\frac{s}{m}\right)^{-0.16} \left(\frac{m}{h}\right)^{0.13}$$

Donde s es el espaciamiento entre barras, m la distancia entre dos centros de barra consecutivos y h es la altura de escurrimiento previa a la rejilla.

- Subramanya y Sengupta, en 1981 proponen la siguiente ecuación para flujo subcrítico:

$$C_d = K_1[1.3 - 0.2F_r]$$

Donde K_1 depende de la relación de abertura y la relación s/L , donde s es el espaciamiento entre barras, L el largo de la rejilla y F el número de froude.

- Subramanya y Shukla, en 1985 proponen la siguiente ecuación para un flujo del tipo A1, es decir flujo subcrítico previo a la rejilla y supercrítico sobre la rejilla:

$$C_d = 0.53 + 0.4 \log \frac{D}{s} - 0.61 S$$

Donde D es el diámetro de las barras, s el espaciamiento entre barras y S la pendiente de la rejilla.

- Shafaibejistan y Shakouhirad, en 1997 obtuvo la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de descarga:

$$C_d = 0.223 e^{-0.79F_r^{-0.295}} \left(\frac{s}{L}\right)^{0.054}$$

Donde e , F_r , s y L son el coeficiente de abertura, el número de froude, separación entre barras y el largo de la rejilla, respectivamente.

- Ghosh y Ahmad, en 2005 propusieron la siguiente relación para barras paralelas al flujo:

$$C_d = 0.1296 \left(\frac{t}{s} \right) - 0.4284 S^2 + 0.1764$$

Donde t , s y S , son el espesor de la rejilla, espaciamento entre barras y la pendiente de la rejilla, respectivamente.

Por otro lado, Subramanya (2009) presenta en su libro las siguientes ecuaciones para obtener el coeficiente de descarga en distintas rejillas, las cuales dependen de D/s , S , n_E , t y el tipo de flujo, donde D es el diámetro de las barras u orificios, s el espaciamento entre barras u orificios, S la pendiente longitudinal, n_E un parámetro dependiente del flujo y t el espesor de la rejilla, el cual se calcula de la siguiente manera:

$$n_E = \frac{v^2}{2gE} = \frac{F_r^2}{2 + F_r^2}$$

Las ecuaciones son las siguientes:

- Rejilla paralela al flujo:

Tabla 2.4 Coeficientes de descarga para rejillas paralelas inclinadas

Tipo de flujo	Coeficiente de descarga
A1	$0.53 + 0.4 \log(D/s) - 0.61 S$
B1	$0.39 + 0.27 \log(D/s) - 0.8 n_E - 0.5 \log(S)$

Tabla 2.5 Coeficientes de descarga para rejillas paralelas horizontales

Tipo de flujo	Coeficiente de descarga
A1	$0.601 + 0.2 \log(D/s) - 0.247 n_E$
A3	$0.752 + 0.28 \log(D/s) - 0.565 n_E$
B1	$1.115 + 0.36 \log(D/s) - 1.084 n_E$

- Rejillas con orificios circulares:

Tabla 2.6 Coeficientes de descarga para rejillas perforadas

Tipo de flujo	Condición	Coeficiente de descarga
A1	$b/L \geq 2.0$	$0.292 - 0.03 \frac{D}{s} + 0.0083 \frac{D}{t} + 0.058 \frac{b}{L}$
	$b/L < 1.78$	$0.41 - 0.03 \frac{D}{s} + 0.0083 \frac{D}{t}$
B1	-	$F_r(0.26 - 0.28 n_E)$

Finalmente, Zagade (1987) realizó un gran número de mediciones para obtener expresiones para calcular el coeficiente de descarga, ensayando distintos espesores de rejilla, diámetros, separaciones, anchos, largos etc. A continuación, se presenta un resumen de los resultados más relevantes obtenidos en este estudio, los cuales únicamente fueron realizados para los tipos de flujo A1 y B1.

En los flujos del tipo A1, el coeficiente de descarga tanto en rejillas paralelas como perpendiculares está en función de las relaciones D/s , D/t y b/L , y es independiente del parámetro de flujo n_E . Se tiene que el coeficiente de descarga disminuye cuando aumenta D/s , siendo esto en mayor medida para las rejillas perpendiculares, donde en ésta última también se obtuvo una mayor dispersión de los resultados. Por otro lado, el aumento del coeficiente de descarga cuando aumentan D/t y b/L es mayor para rejillas perpendiculares que rejillas paralelas. Finalmente se observó que para relaciones $b/L < 1.78$ los coeficientes de descarga son independientes a b/L .

Para el tipo de flujo B1 se observó que tanto para rejillas paralelas como para rejillas perpendiculares existe una gran dependencia con respecto al parámetro de flujo n_E , pero por otro lado los efectos de las relaciones D/s , D/t y b/L son insignificantes.

Las ecuaciones obtenidas para estos son las siguientes:

- Rejilla paralela al flujo:

Tabla 2.7 Coeficientes de descarga para rejillas paralelas

Tipo de flujo	Condición	Coeficiente de descarga
A1	$b/L > 1.78$	$0.375 - 0.02 \frac{D}{s} + 0.005 \frac{D}{t} + 0.025 \frac{b}{L}$
	$b/L < 1.78$	$0.325 - 0.02 \frac{D}{s} + 0.005 \frac{D}{t}$
B1	-	$0.7 - 0.642 n_E$

- Rejilla perpendicular al flujo:

Tabla 2.8 Coeficientes de descarga para rejillas perpendicular

Tipo de flujo	Condición	Coeficiente de descarga
A1	$b/L > 1.78$	$0.425 - 0.03 \frac{D}{s} + 0.0083 \frac{D}{t} + 0.058 \frac{b}{L}$
	$b/L < 1.78$	$0.41 - 0.03 \frac{D}{s} + 0.0083 \frac{D}{t}$
B1	-	$F_r(0.26 - 0.58 n_E)$

2.2.2.6 Porcentaje de caudal descargado

Un aspecto sumamente importante a la hora de diseñar rejillas de infiltración es conocer el porcentaje de caudal que será desviado por la rejilla.

Algunos autores han estudiado este tema, mencionándose principalmente los que trabajaron junto con Subramanya. Los resultados y conclusiones obtenidas por éstos se presentan a continuación:

- Shukla (1987) realiza un gran número de experimentos para flujos de los tipos A1 y B1 en rejillas horizontales, donde relaciona el porcentaje de caudal desviado con las características del flujo y la rejilla. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 2.9 Porcentaje de caudal descargado según Shukla

Tipo de flujo	Porcentaje de caudal descargado
A1	$\left[0.51 - 0.41 \log\left(\frac{D}{s}\right)\right] L/h_c$
B1	$\left[0.36 - 0.26 \log\left(\frac{D}{s}\right)\right] L/h_c$

Estos experimentos fueron realizados para una relación de $b/L = 2$ y para cuatro valores distintos de D/s (1.17, 1.89, 3.33 y 5.50). Estudios del mismo autor llegan a la conclusión que la relación B/L no condiciona los resultados.

- Zagade (1987) realiza un gran número de experimentos para flujos de los tipos A1 y B1, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 2.10 Porcentaje de caudal descargado según Zagade

Tipo de flujo	Porcentaje de caudal descargado
A1	$m_1 L/h_c$
B1	$0.7 \frac{D}{s} L/(h_o F_o)$

Estos experimentos fueron realizados para una relación de $b/L = 2$, para cuatro valores distintos de D/s (0.5, 1.0, 2.0 y 4.0) y una relación $D/t = 2$.

- Singh (1988) realiza un gran número de experimentos con distintas pendientes para los flujos de los tipos A1 y B1. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 2.11 Porcentaje de caudal descargado según Singh

Tipo de flujo	Porcentaje de caudal descargado
A1	$\left(-0.052 \left(\frac{D}{s}\right) - 0.0444 S + 0.51\right) L/h_c$
B1	$\left(-0.046 \left(\frac{D}{s}\right) - 0.77 S + 0.47\right) L/h_c$

Estos experimentos fueron realizados para una relación de $b/L = 2$, para cuatro valores distintos de D/s (0.837, 1.548, 2.591 y 3.938) y tres pendientes distintas (1/8, 1/5 y 1/2.84).

En resumen, estos tres autores muestran que el caudal descargado depende principalmente de la geometría de la rejilla (ancho de orificios y espaciamiento de éstos), largo de la rejilla y condiciones del flujo. Se menciona que estos tres autores obtuvieron sus ecuaciones experimentando en el mismo canal.

2.3 Semejanza hidráulica

A la hora de realizar un modelo a escala es de suma importancia considerar la semejanza que éste tendrá con la realidad, ya que el prototipo debe simular situaciones existentes.

Algunas semejanzas comúnmente utilizadas son la geométrica, cinemática y dinámica. Esta última corresponde a la más utilizada, ya que es la que representa de mejor manera las condiciones hidráulicas producto de interacción de fuerzas en el flujo. Las semejanzas dinámicas más utilizadas en hidráulica, son la semejanza de Reynolds y de Froude.

2.3.1 Semejanza de Reynolds

La semejanza de Reynolds es utilizada para definir modelos a escala cuando la viscosidad es un factor importante, pero su importancia disminuye a medida que el contorno tiene menos relevancia. Lo anterior es el caso de grandes masas de agua o se tiene números de Reynolds muy elevados, lo cual indica que la viscosidad no tiene gran influencia en el problema de estudio.

Con la semejanza de Reynolds se espera mantener constante este número adimensional:

$$R_e = \frac{v R_h}{\nu} = cte$$

Debido que para el modelo construido en este proyecto no se utilizará esta semejanza, no se continuará profundizando la descripción de ésta.

2.3.2 Semejanza de Froude

La semejanza de Froude se utiliza cuando se tiene problemas con superficie libre donde las fuerzas predominantes son las gravitatorias (Potter & Wiggert, 2002), como son los problemas de oleaje, resaltos, canales, vertederos, etc.

Utilizando λ para expresar la relación geométrica entre las distancias del prototipo L y del modelo L' :

$$\lambda = \frac{L}{L'}$$

Luego continuando con la semejanza, se tiene que el número adimensional de Froude se mantiene constante entre prototipo y modelo:

$$F^2 = \frac{v^2}{g L} = \frac{v'^2}{g' L'} = cte \quad \rightarrow \quad \frac{v^2}{v'^2} = \frac{g L}{g' L'}$$

En lo cual la condición de gravedad se mantiene constante, lo que implica:

$$\frac{g}{g'} = 1 \quad \rightarrow \quad \frac{v^2}{v'^2} = \frac{L}{L'} = \frac{L}{\frac{L}{\lambda}} = \lambda \quad \rightarrow \quad \frac{v}{v'} = \sqrt{\lambda}$$

Conocida longitud y velocidad es posible determinar la relación para el tiempo:

$$t = \frac{L}{v} \quad \rightarrow \quad \frac{t}{t'} = \frac{\frac{L}{v}}{\frac{L'}{v'}} = \frac{\lambda}{\sqrt{\lambda}} = \sqrt{\lambda}$$

Luego el caudal es derivado de la longitud y el tiempo:

$$Q = \frac{L^3}{t} \quad \rightarrow \quad \frac{Q}{Q'} = \frac{\frac{L^3}{t}}{\frac{L'^3}{t'}} = \frac{\lambda^3}{\sqrt{\lambda}} = \sqrt{\lambda^5}$$

Adicionalmente:

$$\lambda^2 = \frac{L^2}{L'^2} = \frac{A}{A'}$$

$$R_e = \frac{v L}{\nu} \quad \rightarrow \quad \frac{R_e}{R_e'} = \frac{\frac{v L}{\nu}}{\frac{v' L'}{\nu'}} = \frac{v}{v'} \frac{L}{L'} \frac{\nu'}{\nu} = \sqrt{\lambda} \cdot \lambda \cdot 1 = \sqrt{\lambda^3}$$

Donde $\frac{\nu'}{\nu} = 1$ ya que el fluido es el mismo en ambos casos.

Resumiendo, las relaciones utilizadas serán las siguientes:

Tabla 2.12 Relación con semejanza de Froude

Variable	Relación
Longitud	λ
Área	λ^2
Velocidad	$\sqrt{\lambda}$
Tiempo	$\sqrt{\lambda}$
Caudal	$\sqrt{\lambda^5}$
Reynolds	$\sqrt{\lambda^3}$

Esta sección se incluye como referencia para futuros trabajos en el canal, con el fin de prestar ayuda a la hora de determinar qué situación de la realidad se está simulando con las distintas condiciones del canal.

3. DISEÑO

3.1 Pre Diseño

Como ya se ha explicado anteriormente, este proyecto consiste en un único canal para el cual se pueden realizar tres tipos de desviaciones de caudal. Inicialmente el proyecto consistía en tres canales independientes de menores dimensiones donde en cada uno se utilizaría únicamente para un tipo de desviación de caudal, ya sea rejilla de infiltración, vertedero lateral o compuerta lateral. A continuación, se presentan los primeros pasos de este proyecto y el porqué de sus modificaciones.

3.1.1 Dimensiones iniciales

En un comienzo se toma como base diseñar un canal similar al ya existente en el laboratorio (S8MKII), copiando su sistema de elevación, soporte, almacenamiento y recirculación de agua, pero aumentando levemente su capacidad de almacenar y circular agua.



Figura 3.1 Canal S8MKII a replicar

Se decide confeccionar un canal con una estructura metálica soportada sobre una mesa, la cual levantará un perfil de aluminio que será el fondo del canal. Junto a este perfil se dispondrán las caras laterales del canal, las cuales serán de acrílico de modo de poder ver de manera lateral el escurrimiento. La unión del perfil de aluminio con el acrílico será utilizando tornillos cada cierta distancia. Los recipientes que almacenan el agua serán de plástico y se ubicará uno al final del canal y otro bajo la zona de rejillas. El canal contará con un sistema de elevación de pendiente igual al canal actual, con un tornillo que permita elevar la parte trasera del canal, pivoteando de esta forma sobre la delantera y obteniendo la pendiente deseada.

Las principales características del canal son las siguientes:

- Largo total: 150 [cm]
- Largo zona rejilla: 50 [cm]
- Ancho canal: 12 [cm]
- Altura máxima: 15 [cm]
- Caudal de diseño: 1 [l/s]

Finalmente, el canal diseñado se presenta en la siguiente figura:

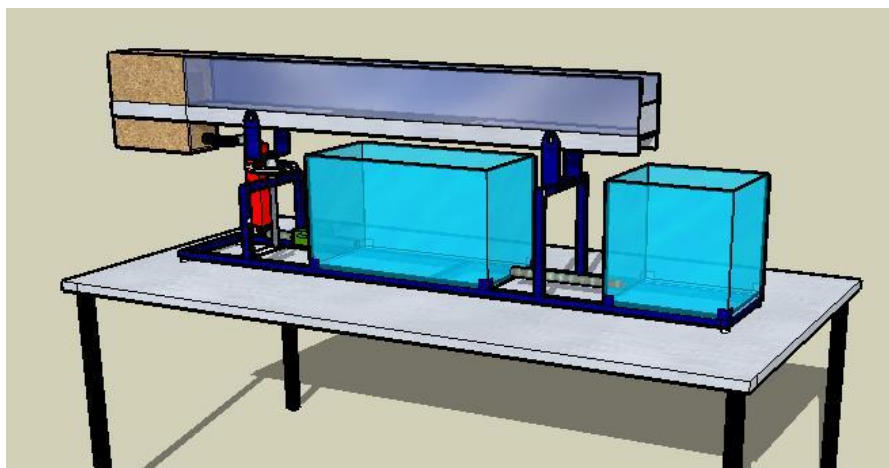


Figura 3.2 Primer diseño del canal

3.1.2 Cambio en el diseño

Antes de comenzar a construir el canal, se realizó una presentación del proyecto a una comisión en el Instituto Nacional de Hidráulica (INH). Dicho establecimiento se especializa en la construcción, desarrollo y medición de modelos físicos relacionados con el área de hidráulica, teniendo una gran experiencia sobre el tema a tratar en este proyecto. Luego de dicha presentación, la comisión presentó las siguientes sugerencias:

- El caudal de diseño es muy bajo, es posible que problemas de escala que se generan en modelos físicos distorsionen mucho las mediciones.
- El largo del canal es muy corto, es necesario tener un mayor largo de modo de poder contar con un flujo más estabilizado a la hora de llegar a la rejilla de infiltración, de esta forma se obtienen resultados más satisfactorios sin turbulencia que modifique estos.

Con dichas observaciones por parte de la comisión del INH, se toma la decisión de replantear el proyecto y realizar lo siguiente:

- Aumentar las dimensiones del canal (largo principalmente), de manera de obtener un flujo más estabilizado a la hora de realizar mediciones.
- Aumentar el caudal de diseño para minimizar los efectos de escala que se puedan producir. Si bien en este proyecto no se busca simular un caso real, con esto se deja abierta la opción de futuros estudios de situaciones reales, adicionalmente la reducción de estos efectos de escala permiten extrapolar los resultados obtenidos a canales de otras dimensiones.

Debido a que llevar estas dos acciones a cabo trae consigo un aumento considerable de los costos del proyecto, se toma la decisión de unir los tres proyectos que inicialmente eran independientes, en un solo canal el cual cuente con la capacidad de desviar caudal mediante rejillas de infiltración, vertedero lateral y compuerta lateral.

Esta unión del proyecto trae consigo una disminución de los costos, permitiendo tener un canal de mayores dimensiones y capacidad, pero al mismo tiempo se tiene un problema más complejo, mayores cargas, volúmenes de almacenamiento, etc.

3.2 Diseño definitivo

Con la decisión tomada de unir los tres proyectos en un único canal, se procede a realizar el nuevo diseño del canal.

3.2.1 Geometría principal

Los aspectos fundamentales a definir dentro de la geometría del canal, corresponden al largo y ancho que tendrá éste.

3.2.1.1 Ancho canal

Se estima en base a los canales existentes del laboratorio, los cuales tienen 8 [cm] y 30 [cm] de ancho el pequeño y grande respectivamente, considerando que cuentan con una capacidad para transportar caudales de un máximo de 1 [l/s] y 27 [l/s] cada canal respectivamente.

Como se espera transportar un caudal máximo de 10 [l/s] aproximadamente por el canal nuevo, se utiliza la ecuación obtenida en la Figura 3.3 para obtener un ancho preliminar del canal:

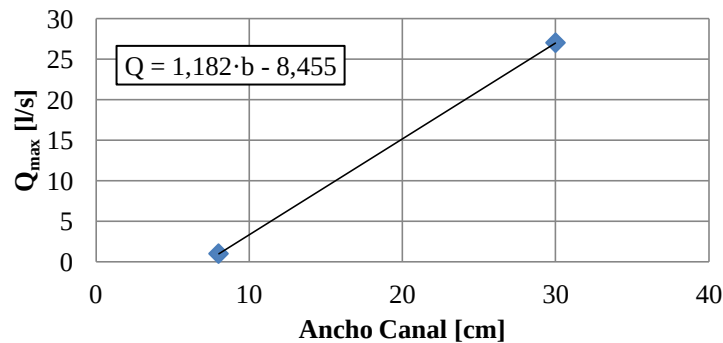


Figura 3.3 Relación entre ancho y caudal de los canales existentes

$$b = \frac{Q + 8.455}{1.182} = 15.6 \text{ [cm]}$$

Por lo que se decide determinar cómo ancho del nuevo canal 15 [cm] y altura máxima 25 [cm], tal como se presenta en la Figura 3.4.

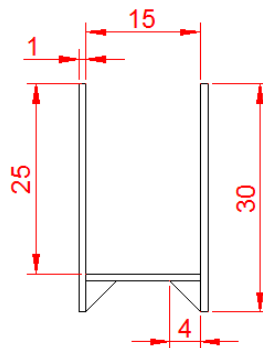


Figura 3.4 Diseño de sección transversal, medidas en [cm]

3.2.1.2 Largo canal

Para determinar el largo del canal se definen dos aspectos primordiales, siendo estos los siguientes:

- Longitud de entrada: esta longitud corresponde a la distancia que tendrá el agua para recorrer antes de encontrarse con la rejilla ubicada al centro del canal. Esta longitud debe ser lo suficientemente extensa para permitir una estabilización del flujo antes de ser afectado por los efectos de la rejilla. La longitud de entrada definida para el proyecto es de 200 [cm].
- Dimensión total y ubicación en el laboratorio: al contar con espacio limitado dentro del laboratorio, este aspecto pasa a ser un factor importante para determinar el largo total del canal. Actualmente el laboratorio de hidráulica cuenta con la siguiente configuración:

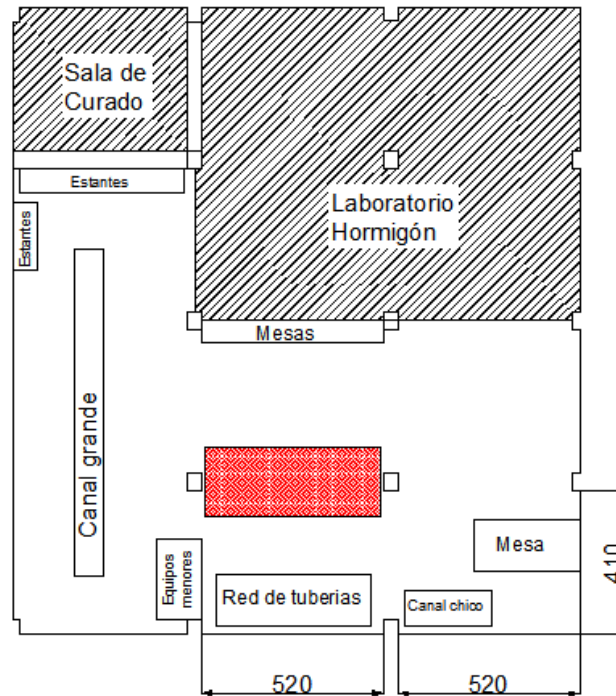


Figura 3.5 Configuración actual del laboratorio, medidas en [cm]

En ella se pueden apreciar los espacios disponibles en el laboratorio, para lo cual se cuenta con el área roja, que cuenta con espacio suficiente para albergar el canal ya que el espacio entre columnas es de 5.2 [m].

Es por estos factores que se determina realizar el canal de 4 [m] de largo, de manera de poder ubicarlo entre estas columnas teniendo la opción de ver desde ambos lados y sin la necesidad de modificar el resto del laboratorio.

3.2.2 Rejillas

Un aspecto sumamente importante en este proyecto es el dimensionamiento de la zona de rejillas ubicada en el canal. Esta debe poseer el largo suficiente para apreciar en su totalidad el fenómeno que ocurre, es por esto que se analizan distintas situaciones de manera de tener un comportamiento acorde a lo esperado.

3.2.2.1 Dimensionamiento zona rejillas

Para dimensionar esta zona se utilizan las ecuaciones (2.13) y (2.16) obtenidas por Mostkow (1957), en las cuales se considera una descarga total del caudal que pasa por el canal. Esto se realiza de manera de obtener un largo máximo para esta zona y no poseer luego un largo demasiado grande que evacue todo el caudal y no permita apreciar el fenómeno de manera correcta.

Conociendo las expresiones del largo requerido para obtener una descarga total del caudal, se evalúan estas de manera de obtener el largo necesario en función del coeficiente de descarga y la relación de abertura.

- **Rejilla paralela al flujo**

Considerando las siguientes condiciones hidráulicas, para un Coeficiente de Manning normal para el material según Chow (1994):

Tabla 3.1 Parámetros considerados para el diseño

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Caudal	l/s	5.00
Pendiente	%	1.00
Coeficiente de Manning	-	0.009
Altura	cm	3.54

Las que representan un caso común y corriente, junto con cuatro valores distintos de coeficiente de descarga (0.2, 0.4, 0.6 y 0.8) y coeficientes de abertura de hasta un 40%, lo que representa los valores esperados a tener. Se obtienen los siguientes resultados:

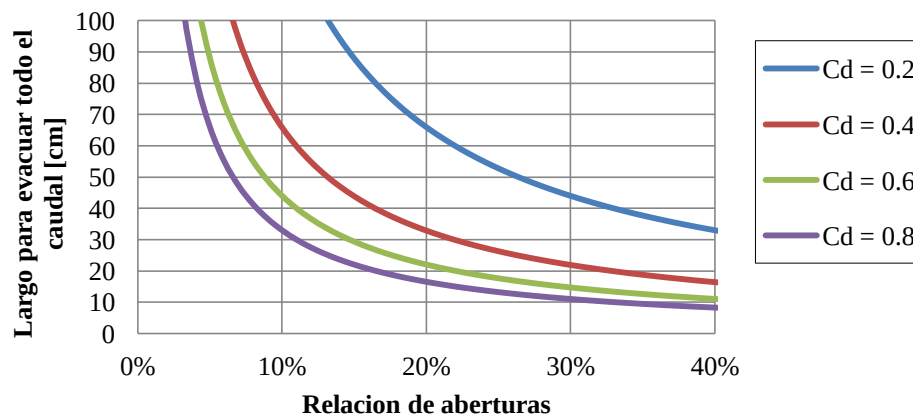


Figura 3.6 Largo necesario en rejillas paralelas para distintos C_d

Es posible observar que a medida que aumenta el coeficiente de abertura se necesita un menor largo para descarga todo el caudal, esto también ocurre al tener coeficientes de descarga mayores. Considerando un valor de coeficiente cercano a 0.5 (Chow, 1994) y que la relación de aberturas será mayor a un 15% para este tipo de rejillas, se tiene que con un largo de aproximadamente 35 [cm] o menor se puede descargar todo el caudal según el caso.

- **Rejilla perpendicular al flujo**

Considerando los mismos parámetros utilizados para el caso anterior, se obtienen los siguientes resultados para rejillas perpendiculares.

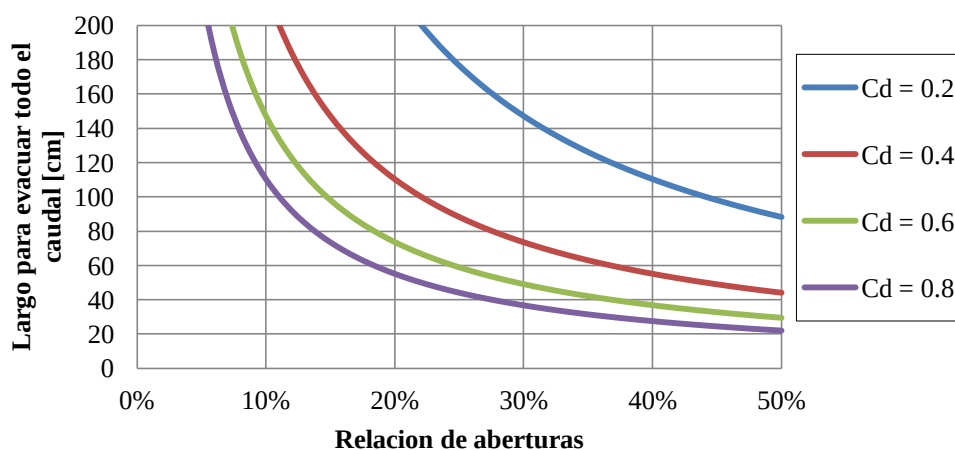


Figura 3.7 Largo necesario para rejillas perpendiculares para distintos C_d

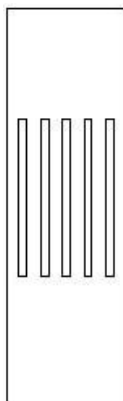
Para este tipo de rejillas se considera un coeficiente de descarga similar al anterior y una relación de aberturas desde un 10% como mínimo. Con esto se obtiene que con un largo de 160 [cm] para coeficiente de aberturas cercanos al 10%, 80 [cm] para valores de 20% y 60 [cm] para valores de 30%, se descarga todo el caudal.

Dados los resultados anteriores es que se realiza un diseño de la zona de rejillas de 50 [cm], de tal manera de no incurrir en la descarga total del caudal para el caso de las rejillas perpendiculares. Y al mismo tiempo tomando en consideración que las rejillas paralelas presentaran un mejor funcionamiento con condiciones de caudal superiores a las consideradas y relaciones de abertura bajas, ya que de no considerar esto es posible obtener descargas totales de caudal imposibilitando de esta manera una correcta apreciación del fenómeno ocurrido.

Las rejillas diseñadas son las siguientes, en las cuales se espera abarcar un gran número de formas, largos, ancho de orificios, etc.

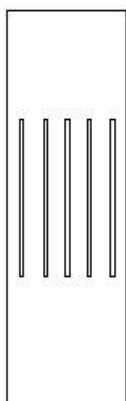
3.2.2.2 *Rejillas paralelas*

Dentro de las rejillas paralelas, se diseñan para dos largos y anchos distintos de orificios, siendo estos 20 y 40 [cm] de largo y 1 y 0.5 [cm] de ancho.

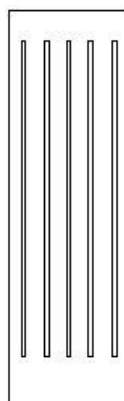


N°1

Figura 3.8 Rejilla paralela con ancho de orificio de 1 [cm]



N°2



N°3

Figura 3.9 Rejillas paralelas con ancho de orificio de 0.5 [cm]

En la siguiente tabla se presentan las características de cada una de estas rejillas:

Tabla 3.2 Información rejillas paralelas

Rejilla N°	Ancho apertura [cm]	Largo apertura [cm]	Cantidad de aperturas	e [%]
1	1.0	20.0	5	32.89
2	0.5	20.0	5	16.45
3	0.5	40.0	5	16.45

3.2.2.3 *Rejillas perpendiculares*

Dentro de las rejillas perpendiculares al flujo, se encuentran las con orificios rectangulares y las de orificios circulares.

- *Rejillas perpendiculares de orificios rectangulares*

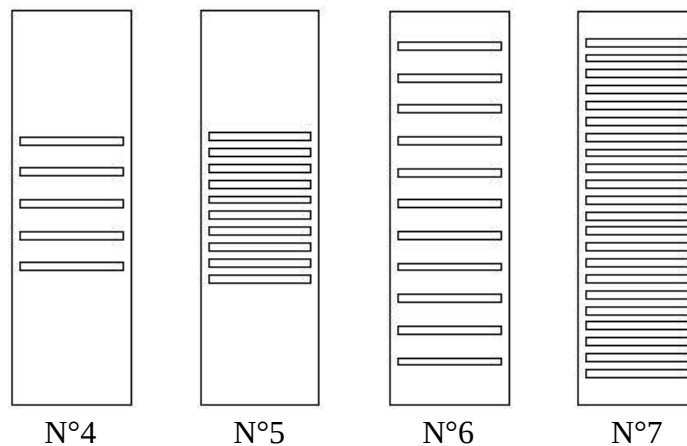


Figura 3.10 Rejillas perpendiculares con ancho de orificio 1 [cm]

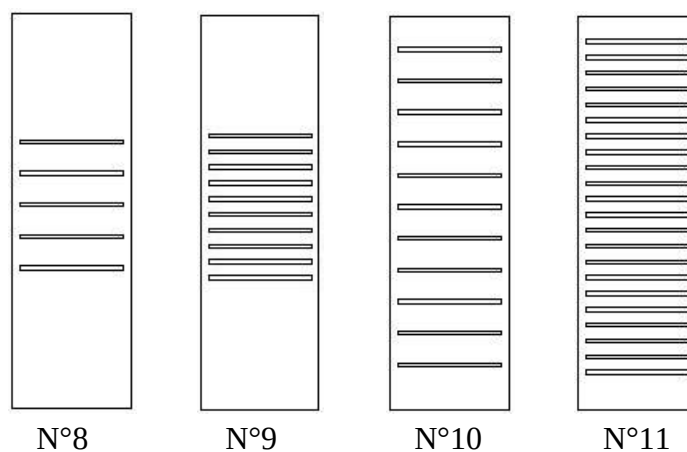


Figura 3.11 Rejillas perpendiculares con ancho de orificio 0.5 [cm]

Tabla 3.3 Información rejillas perpendiculares rectangulares

Rejilla N°	Ancho apertura [cm]	Largo total [cm]	Cantidad de aperturas	e [%]
4	1.0	17.0	5	25.15
5	1.0	19.0	10	45.01
6	1.0	41.0	11	22.95
7	1.0	43.0	22	43.76
8	0.5	16.5	5	12.96
9	0.5	18.5	10	23.12
10	0.5	40.5	11	11.61
11	0.5	42.5	22	22.14

- **Rejillas perpendiculares de orificios circulares**

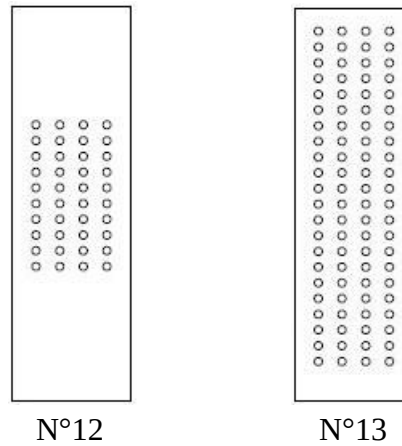


Figura 3.12 Rejillas perpendiculares con diámetro orificio 1 [cm]

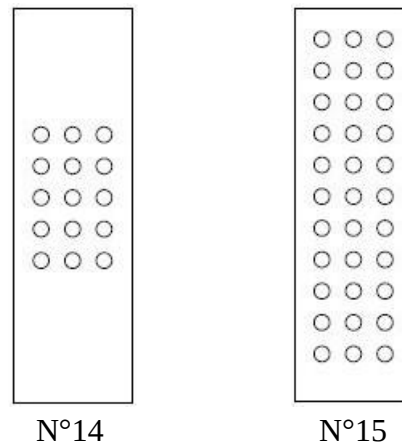


Figura 3.13 Rejillas perpendiculares con diámetro orificio 2 [cm]

Tabla 3.4 Información rejillas perpendiculares circulares

Rejilla N°	Diámetro orificios [cm]	Largo total [cm]	Cantidad de aperturas	e [%]
12	1.0	19.0	40	10.88
13	1.0	45.0	88	10.06
14	2.0	18.0	15	17.22
15	2.0	42.0	33	16.24

Finalmente se presenta una tabla resumen con la principal información de las 15 rejillas diseñadas.

Tabla 3.5 Información de todas las rejillas

Rejilla N°	Tipo de orificio	Ancho agujeros [cm]	Largo [cm]	Área agujeros [cm²]	e [%]
1	Para. Rect.	1,0	20,0	100,0	32,89%
2	Para. Rect.	0,5	20,0	50,0	16,45%
3	Para. Rect.	0,5	40,0	100,0	16,45%
4	Perp. Rect.	1,0	17,0	65,0	25,15%
5	Perp. Rect.	1,0	19,0	130,0	45,01%
6	Perp. Rect.	1,0	41,0	143,0	22,95%
7	Perp. Rect.	1,0	43,0	286,0	43,76%
8	Perp. Rect.	0,5	16,5	32,5	12,96%
9	Perp. Rect.	0,5	18,5	65,0	23,12%
10	Perp. Rect.	0,5	40,5	71,5	11,61%
11	Perp. Rect.	0,5	42,5	143,0	22,14%
12	Perp. Circ.	1,0	19,0	31,4	10,88%
13	Perp. Circ.	1,0	45,2	69,1	10,06%
14	Perp. Circ.	2,0	18,0	47,1	17,22%
15	Perp. Circ.	2,0	42,0	103,7	16,24%

Donde:

- Para. Rect.: Corresponde a rejillas de sentido paralelo al flujo y orificios rectangulares.
- Perp. Rect.: Corresponde a rejillas de sentido perpendicular al flujo y orificios rectangulares.
- Perp. Circ.: Corresponde a rejillas de sentido perpendicular al flujo y orificios circulares.

Más detalle respecto a las rejillas es posible encontrarlo en la sección 13.1 de los Anexos.

3.2.3 Bomba recirculadora

La elección de la bomba necesaria para el sistema de circulación del canal se basa en los requerimientos del canal, en el cual se espera un caudal máximo de aproximadamente 10 [l/s] (600 litros por minuto) y que por otro lado la altura necesaria no superará los 4[m] entre pérdidas de energía y desnivel estático.

Luego de buscar la bomba que más se adapte al canal, es posible apreciar que el común de las bombas se enfoca más en entregar mayor energía al sistema que en la elevación de mayor caudal. Aun así, se encuentran dos modelos adecuados a los requerimientos:

- Bomba centrífuga alto caudal HFM 6C - PEDROLLO:

Q [l/min]	0	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
H [m]	11.9	11.7	11.3	10.7	10.2	9.2	8	6.7	5	3

- Bomba centrífuga CS 150/2 – PENTAX:

Q [l/min]	0	100	200	300	400	500	600	800
H [m]	12.3	12.3	12.2	11.8	11	10.2	9.1	6

Finalmente se selecciona la bomba PENTAX ya que posee un rango de caudal más adecuado, además que monetariamente hablando la bomba PENTAX es notablemente más económica que la PEDROLLO. La conexión de la bomba seleccionada es de 2", la cual se acomoda bien con la conexión del caudalímetro y se trabajará en esta dimensión, la PEDROLLO cuenta con una conexión de mayor dimensión, la cual no es necesaria.

La curva característica de la bomba seleccionada se presenta en la Figura 3.14.

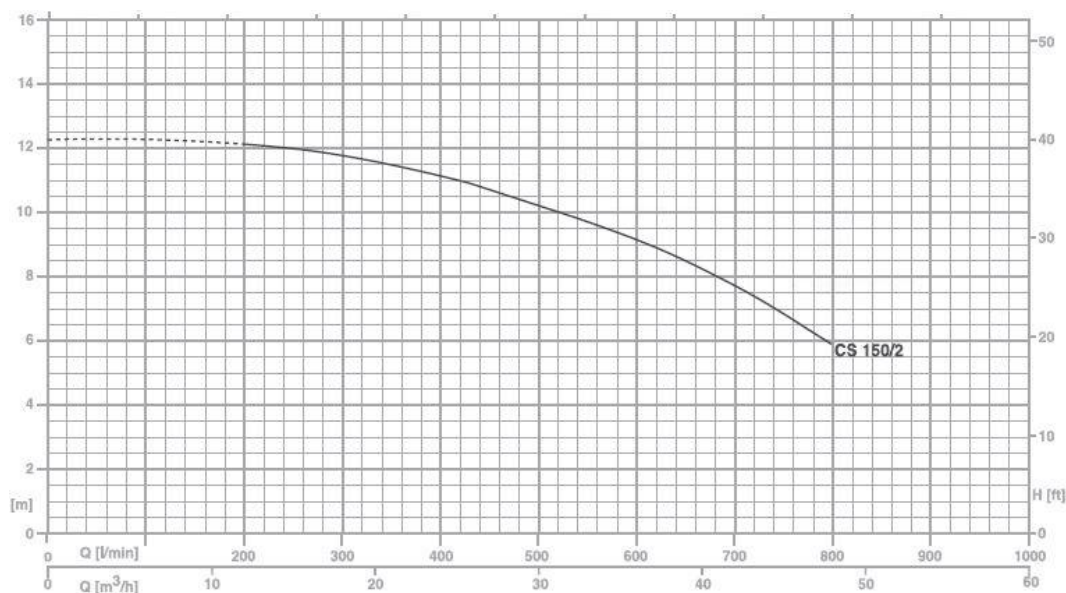


Figura 3.14 Curva característica de la bomba seleccionada, obtenida desde la página web del proveedor

Las pérdidas de carga que genera las distintas aperturas de la válvula a la salida de la bomba permite moverse dentro de la curva característica de la bomba hasta obtener el caudal necesario, caudales pequeños serán difícil de obtener con precisión debido a la horizontalidad de la curva en esa zona.

Adicionalmente, no se estudian la curva de eficiencia de la bomba debido a que en este proyecto no se busca trabajar la bomba con su mejor eficiencia, por el contrario, se busca hacer funcionar la bomba en todo su rango de capacidad. La altura de succión neta requerida tampoco fue estudiada a fondo, ya que la bomba se instala a centímetros de la base del estanque, por lo que no se requiere mayor análisis.

3.2.4 Pendiente

Se contará con un mecanismo diseñado para poder darle pendiente al canal. Esto se basa en la elevación de uno de sus dos apoyos, generando de esta manera un desnivel entre ambos, lo que produce pendiente en el canal. La separación existente entre los apoyos principales del canal es de 3 [m], por lo tanto, cada 3 [cm] de desnivel que se genere, se aumenta la pendiente en un 1%.

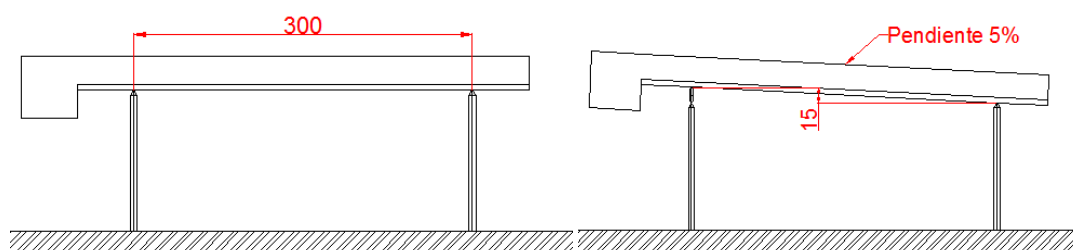


Figura 3.15 Esquema de elevación del canal, medidas en [cm]

Se presenta la siguiente tabla con la elevación que es necesaria dar al apoyo posterior, para obtener los distintos grados de pendiente, mencionando también que estas no son las únicas pendientes posibles, ya que se pueden utilizar valores intermedios a estos:

Tabla 3.6 Desnivel necesario por pendiente

Desnivel [cm]	Pendiente [%]
-3,0	-1,0
0,0	0,0
3,0	1,0
6,0	2,0
9,0	3,0
12,0	4,0
15,0	5,0

La unión de las estructuras y el canal se genera utilizando pasadores cilíndricos a través de la siguiente pieza:

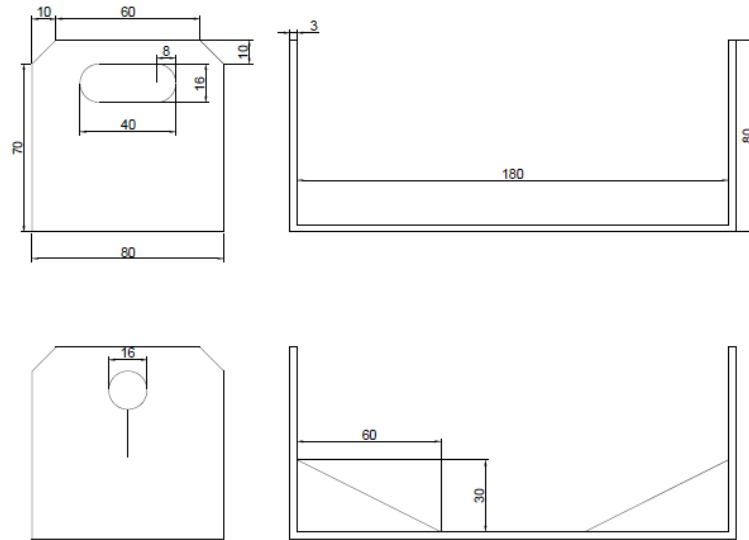


Figura 3.16 Vistas frontales y laterales de pletinas, medidas en [mm]

Siendo la pletina superior la utilizada en el apoyo izquierdo, el cual es el apoyo que se eleva, generando un leve desplazamiento del canal, por lo que se diseña un espacio de 4 [cm] para el movimiento del pasador. La pletina inferior corresponde a la utilizada en el apoyo derecho, donde el canal no se desplaza y únicamente gira en torno a este punto.



Figura 3.17 Vista isométrica de pletina

3.2.5 Estanques

El canal contará con distintos estanques para almacenar el agua que se utiliza durante el funcionamiento del canal. Serán tres estanques los cuales poseen distintos tamaños y funciones. Se presenta un esquema general de los estanques y movimientos de agua entre el canal y los estanques, junto con una descripción breve de las características de cada estanque.

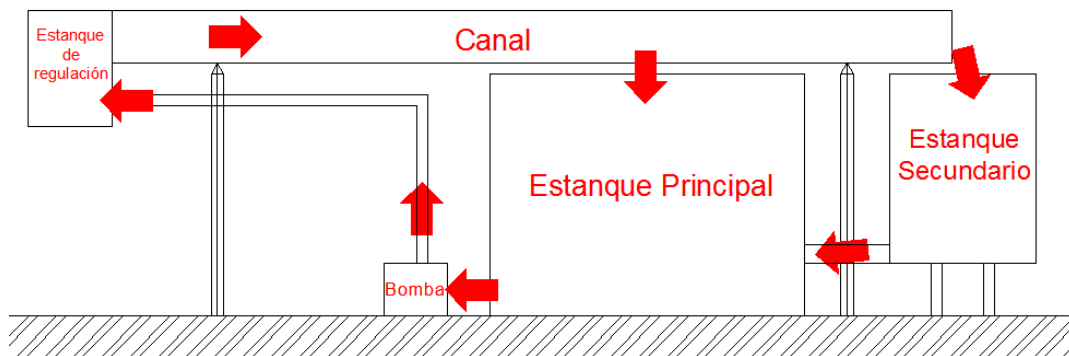


Figura 3.18 Esquema de flujos dentro del canal

Donde las flechas rojas de la Figura 3.18 representan la dirección que tiene el agua en cada lugar.

3.2.5.1 Estanque principal

Este estanque cuenta con un volumen de aproximadamente 1.700 [l] de capacidad y es el encargado de recibir el agua que proviene de la rejilla ubicada a mitad del canal, recibir el agua del estanque secundario y suministrar de manera constante agua al equipo de bombeo.

3.2.5.2 Estanque secundario

Este estanque cuenta con un volumen de aproximadamente 250 [l] de capacidad y se encarga de recibir el agua que sale por el final del canal, es decir, la que no fue evacuada por la rejilla de fondo, y entregarla de vuelta al estanque principal. La principal función del estanque secundario es su utilización para la medición del caudal final, además sirve para dividir el estanque principal, ya que de no contar con un estanque secundario, el estanque principal aumentaría considerablemente su tamaño y dificultaría también la construcción de la estructura de soporte del canal.

3.2.5.3 Estanque de regulación

Este estanque cuenta con una capacidad de 30 [l] aproximadamente y cumple la función de recibir el caudal entregado por la bomba y entregarlo de manera suave y homogénea al canal, es decir, se encarga de que el canal no reciba directamente el agua con la energía proveniente de la bomba.

Los volúmenes determinados para los estanques principal y secundario se determinan en base a las dimensiones necesarias para que el agua entre en los estanques al caer de la descarga final (estanque secundario) y al caer de la rejilla, vertedero y compuerta lateral (estanque principal) y una altura de minimizar la caída y la posibilidad de que el agua salte fuera de los estanques.

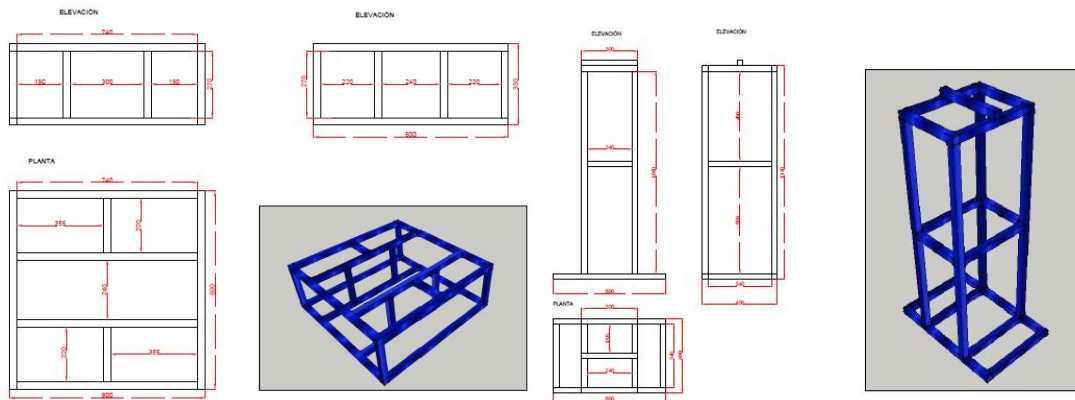
3.2.6 Estructura de soporte

Para poder soportar el canal, se diseñan tres estructuras metálicas para el canal en sí, junto con una estructura adicional encargada de elevar el estanque secundario. Estas estructuras se diseñan de tal manera de evitar el volcamiento de la estructura y de resistir de manera correcta las cargas generadas por el canal, lo cual se estima en un peso aproximado de 200 [kg] para el canal considerando el total de acrílico más el agua que circula. El detalle de las barras necesarias para cada estructura se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3.7 Detalle de barras necesarias

Estructura	Función	Barras necesarias
A	Elevación estanque secundario	8 – 740 [mm] 4 – 800 [mm] 8 – 270 [mm] 2 – 220 [mm]
B	Soporte derecho	3 – 300 [mm] 4 – 1080 [mm] 8 – 340 [mm] 2 – 240 [mm] 2 – 600 [mm]
C	Soporte central	4 – 1070 [mm] 1 – 1180 [mm] 2 – 500 [mm] 2 – 190 [mm] 2 – 130 [mm]
D	Soporte izquierdo	4 – 770 [mm] 2 – 600 [mm] 4 – 340 [mm] 2 – 200 [mm] 2 – 260 [mm] 6 – 140 [mm]
E	Complemento soporte izquierdo	2 – 180 [mm] 4 – 130 [mm] 2 – 120 [mm] 2 – 60 [mm]

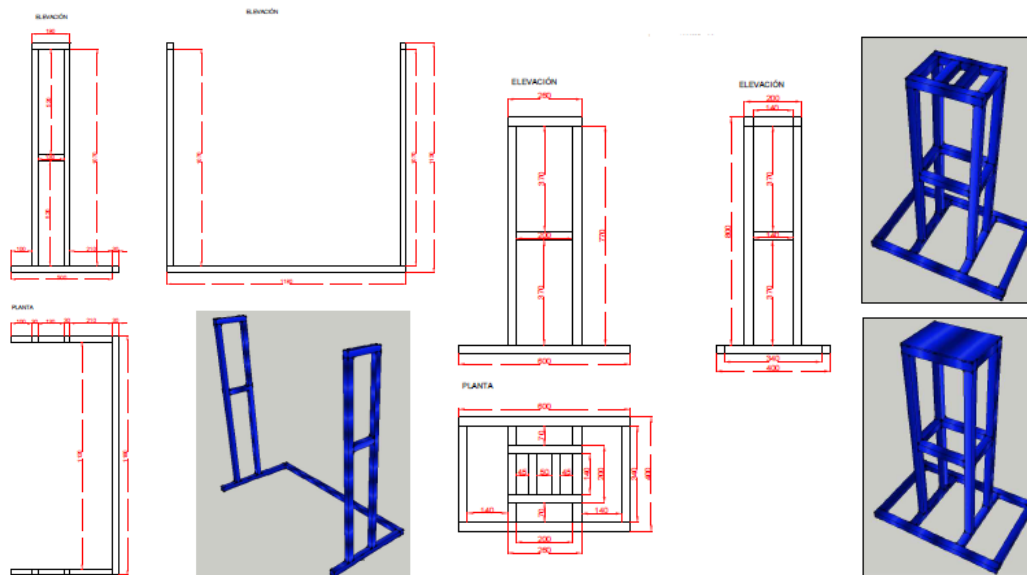
A continuación, se presenta las vistas en elevación, planta e isométrico de las estructuras diseñadas:



Estructura A

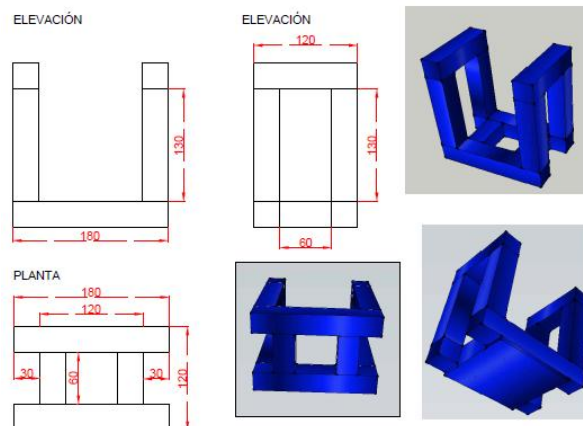
Estructura B

Figura 3.19 Planos estructuras A y B



Estructura C

Estructura D



Estructura E

Figura 3.20 Planos estructuras C, D y E

3.2.7 Mediciones de caudal

Para poder analizar correctamente el fenómeno que ocurre en el canal y contrastarlo con la teoría, es necesario conocer el caudal que tiene el canal y el caudal que es desviado por la rejilla. Para esto el canal contará con un caudalímetro ubicado luego de la impulsión de la bomba, el cual medirá el total del caudal que pasa por el canal. Este caudalímetro es electromagnético de alta precisión (error medio de un 0.5%) en un rango de flujo entre 30 y 600 [l/min], es decir 0.5 y 10 [l/s].



Figura 3.21 Caudalímetro utilizado

Por otro lado, para determinar el caudal desviado por la rejilla se contabilizará el caudal final del canal, para luego obtener el desviado por la rejilla:

$$Q_{rejilla} = Q_{inicial} - Q_{final}$$

Este caudal final se medirá utilizando el estanque secundario, el cual al cerrar la válvula y restringir el paso de agua hacia el estanque primario, permitirá ver la variación de volumen de agua en un tiempo determinado y con esto se puede obtener el caudal final del canal. Por ejemplo, si al cerrar la válvula que une los estanques, se contabiliza que el agua demora 8 [s] en subir desde el nivel marcado de 40 [l] hasta el nivel de 60 [l], esto quiere decir que se tiene un caudal de 2.5 [l/s], ya que en 8 [s] aumento 20 [l] el volumen almacenado.

$$Q = \frac{60 [l] - 40 [l]}{8 [s]} = 2.5 \left[\frac{l}{s} \right]$$

3.2.8 Componentes adicionales

Se contará con dos elementos que permitan modificar las condiciones de flujo. Estos son una compuerta, la cual permite forzar a tener un régimen supercrítico en caso de que se requiera, y por otro lado, se tendrá un vertedero frontal de pared delgada, donde termina el canal, permitiendo darle condiciones de régimen subcrítico al flujo.

3.2.8.1 Compuerta

Se diseña una compuerta de acrílico, la cual cuenta con dos partes, la primera corresponde a un soporte ubicado sobre el canal el cual tiene un orificio junto con un tornillo en este orificio, diseño presentado en la Figura 3.22. Este tornillo permite fijar la segunda parte, la cual corresponde a la compuerta en sí. Esta compuerta tiene la posibilidad de abrir distintas alturas según sean los requerimientos del momento.

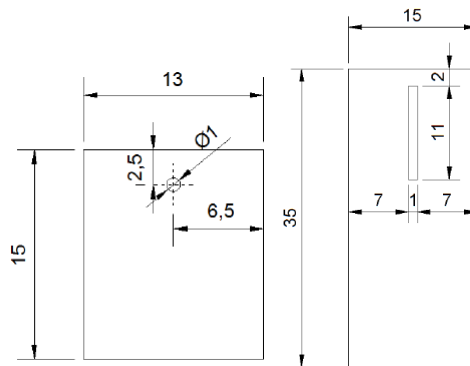


Figura 3.22 Diseño compuerta, vistas en elevación y medidas en [cm]

3.2.8.2 Vertedero frontal de pared delgada

El vertedero se diseña utilizando piezas de acrílico y consiste en dos apoyos ubicados en el canal, junto con una placa que puede deslizarse por fuera y variar la altura de este vertedero tal como se aprecia en la Figura 3.23. Para fijar el vertedero a la altura definida se tienen una apertura a cada lado junto con tornillos que permiten presionar las piezas y fijarlas.

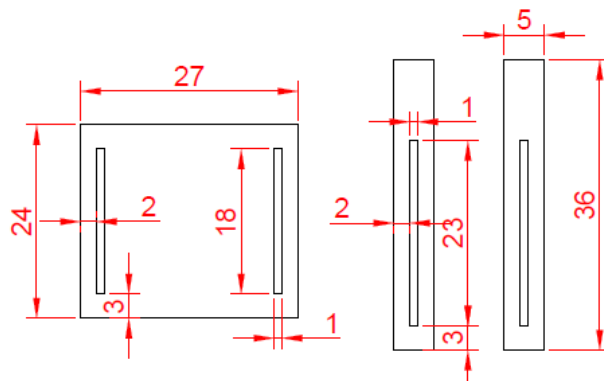


Figura 3.23 Diseño vertedero frontal, vistas en elevación y medidas en [cm] y foto del vertedero

3.2.9 Planos y modelo 3D

Luego de tener definidas las dimensiones y características principales del canal, estructura y estanques, se muestran los planos correspondientes y el modelo tridimensional realizado a modo de ayuda para la construcción del canal.

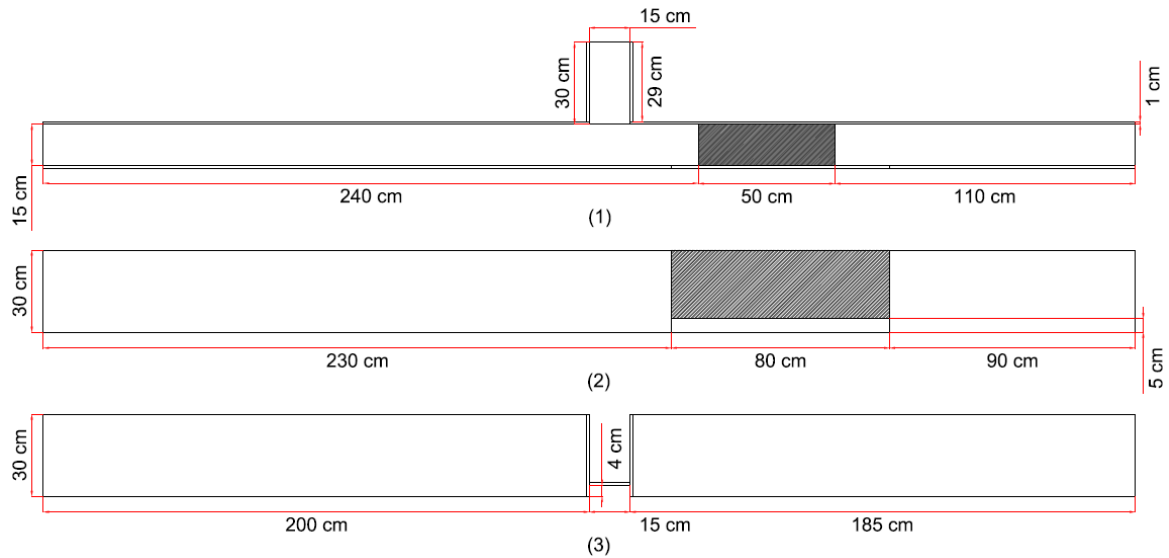


Figura 3.24 Vista en planta (1) y lateral del canal (2 y 3)

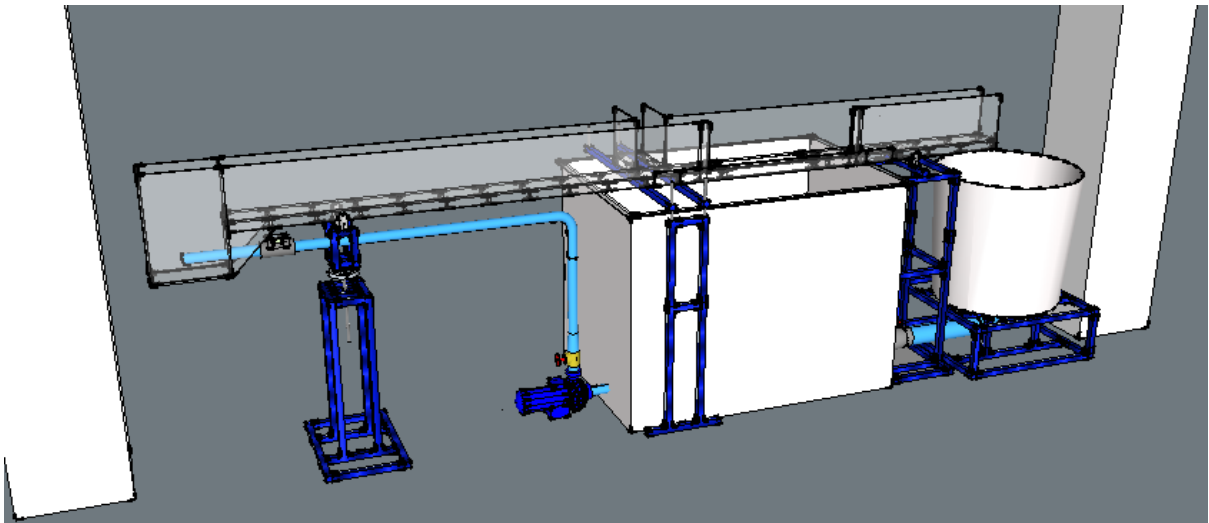


Figura 3.25 Modelo tridimensional del canal

4. PRESUPUESTO

El presupuesto total entregado por el departamento de obras civiles de la Universidad hace referencia a un máximo a gastar de \$4.000.000 en la construcción e implementación del canal.

En una primera instancia se estimó un costo total de \$2.451.883 para la construcción del canal y sus componentes, detalle presentado en la Tabla 4.1. Finalmente, durante el transcurso del diseño definitivo y construcción se llevaron diversas modificaciones que derivaron en un aumento de los costos. Algunas de estas modificaciones fueron agrandar el estanque principal, nueva conexión entre estanques de mayor capacidad, necesidad de subcontratar la soldadura de la estructura y hacer una estructura más grande, entre otros detalles menores.

Finalmente, los costos reales del proyecto se presentan en la Tabla 4.1, donde es posible apreciar que debido a diversas modificaciones e inconvenientes ocurridos durante la construcción lo gastado fue superior a lo presupuestado desde el comienzo, sin embargo, este monto sigue por debajo del monto máximo entregado por el departamento, siendo un total de \$3.559.752. En la sección 13.2 de los anexos es posible ver el detalle completo del presupuesto inicial y los gastos finales.

Tabla 4.1 Gastos reales finales del proyecto

ACTIVIDAD	Presupuesto inicial	Gastos finales
Acrílico	\$ 720.518	\$ 956.023
Bomba	\$ 270.100	\$ 229.585
Caudalímetro	\$ 550.000	\$ 550.000
Estanques	\$ 340.000	\$ 639.730
Herramientas	\$ 45.944	\$ 36.248
Plomería	\$ 80.747	\$ 297.066
Estructura metálica	\$ 48.483	\$ 276.085
Cambio de pendiente	\$ 4.613	\$ 15.988
Instalación eléctrica	-	\$ 22.839
Otros	-	\$ 50.527
Subtotal	\$ 2.060.406	\$ 3.074.091
Descuento (P.A.)	-	\$ 82.703
SUBTOTAL	-	\$ 2.991.388
IVA	\$ 391.477	\$ 568.364
TOTAL	\$ 2.451.883	\$ 3.559.752

Los gastos finales se distribuyen de la siguiente manera:

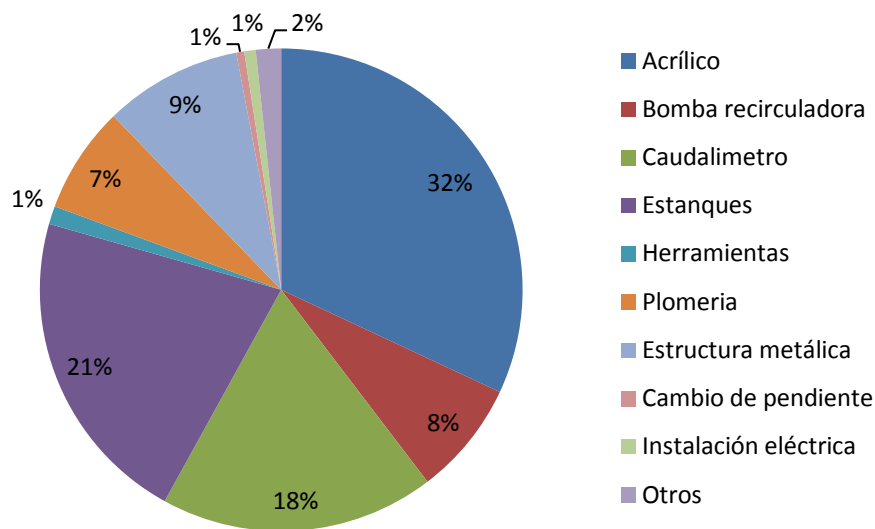


Figura 4.1 Distribución gastos finales del proyecto

Donde es posible ver que el acrílico, estanques y el caudalímetro concentran más del 70% de los gastos asociados al proyecto, siendo el acrílico el con los mayores gastos con un 32%.

Adicionalmente a los costos mencionados en este capítulo, existe una mano de obra asociada al diseño, compra de materiales y equipos, construcción, puesta en marcha, entre otros. Dicha mano de obra fue prestada por tres memoristas durante cinco meses, con un trabajo de cinco horas diarias aproximadamente. Sin embargo, se destaca que la duración y gran cantidad de horas utilizadas se deben principalmente a la novedad del trabajo realizado, ya que ninguno tiene conocimientos específicos en construcción de equipos de este tipo ni experiencia previa en la adquisición de los equipos y materiales necesarios, por lo que de tener que ser realizado nuevamente los tiempos podrían ser bastante inferiores.

5. CONSTRUCCIÓN

Para la construcción del canal se pasó por varias etapas hasta llegar al producto final. Estas etapas van desde el canal de acrílico, la estructura metálica, estanques y conexiones de tuberías, por nombrar las más grandes. A continuación se describe brevemente el proceso constructivo de cada una de estas etapas.

5.1 Acrílico

La construcción del canal comienza con el trabajo realizado con el material acrílico, material que permite contar con un canal transparente y permite observar el flujo que circula a través de este desde cualquier lugar. El canal se desarrolla en acrílico de espesor 10 [mm], el cual se compra en su mayor parte dimensionado.

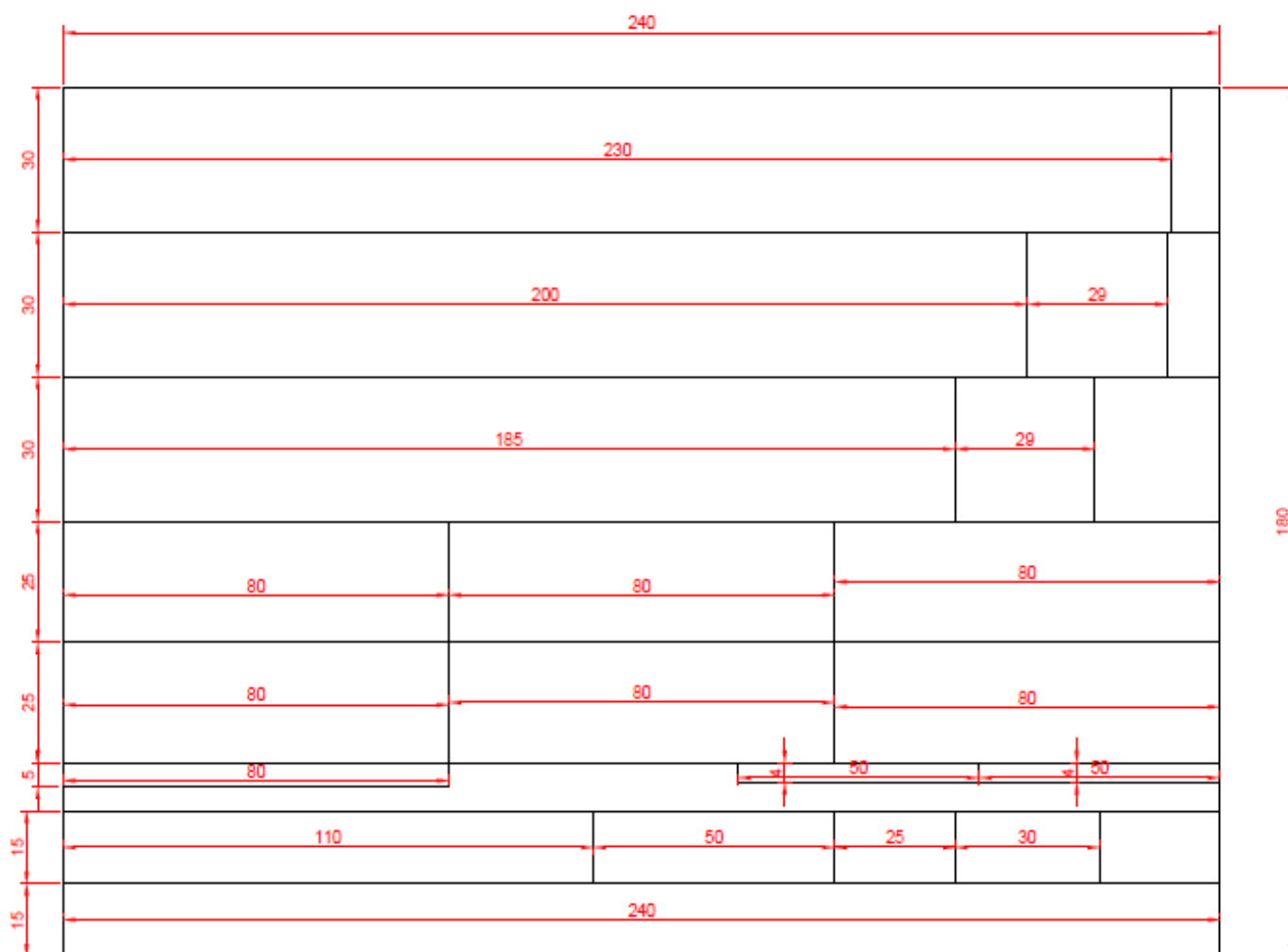


Figura 5.1 Plancha de acrílico dimensionada para armado de canal, medidas en [cm]

Una vez contando con este material se procede a realizar el armado del canal, el cual se genera al pegar piezas de acrílico mediante un pegamento especializado para esto llamado

Cloroformo. Se comienza montando el estanque de regulación, el cual es el encargado de recibir el agua de la tubería e introducirla al canal. Éste se genera a partir de 5 piezas de acrílico, formando una caja con un lado más bajo por donde nace el canal.



Figura 5.2 Pegado estanque de regulación

Este estanque de regulación queda con unas dimensiones finales de 15 [cm] de ancho, 50 [cm] de altura y 35 [cm] de profundidad.

Luego se continúa con el pegado del canal en sí, el cual se conforma a grandes rasgos por las caras laterales de 30 [cm] de altura, la base del canal de 15 [cm] y triángulos estructurales de 4 [cm] por 4 [cm], los cuales ayudan a mejorar la unión entre la base y las caras laterales, reduciendo también las posibles rotaciones entre ambos. Estos triángulos se ubican cada aproximadamente 30 [cm]. El largo de la base y las caras laterales son variables, ya que se tienen interferencias como el canal lateral por un costado, el vertedero lateral por otro costado y las rejillas de infiltración por la base, impidiendo realizar el canal de un único tramo. La sección transversal del canal, contando las interferencias mencionadas, tiene un total de 400 [cm] de largo y dimensiones constantes a lo largo de éste.

El canal se pega utilizando como apoyo y guía escuadras de 90°, de manera de mantener este ángulo a lo largo de todo el canal y facilitar el pegado de manera correcta.



Figura 5.3 Pegado canal

Con las distintas secciones transversales pegadas, se procede a unir éstas considerando las intervenciones intermedias que se posee. Para esto se arma previamente el canal verificando que todas las dimensiones estén de la manera correcta.



Figura 5.4 Armado del canal

Luego se unen las distintas secciones transversales del canal, canal lateral y estanque de regulación, formando de esta manera una única estructura de acrílico. La unión entre el estanque de regulación y el canal, se genera utilizando como apoyo extra placas de acrílico que permitan distribuir de mejor manera las cargas que se generan en el estanque de regulación debido al peso del acrílico y del agua que recibirá. Se utilizaron placas de acrílico de espesores 5 [mm] y 10 [mm] y se buscó maximizar el contacto entre el canal y el estanque de regulación.

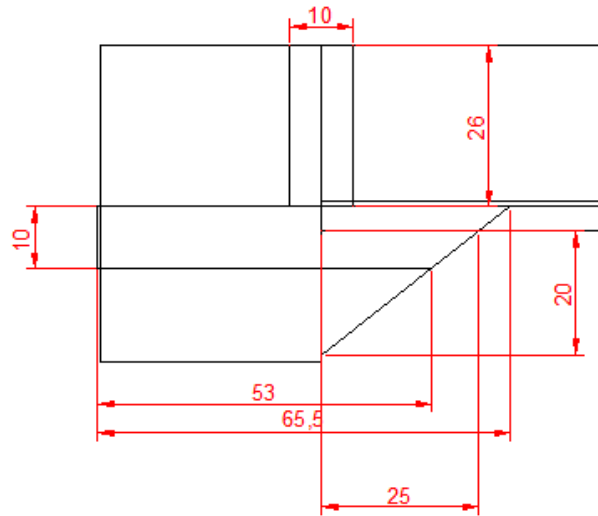


Figura 5.5 Esquema de unión entre canal y estanque de regulación, vista en perfil y medidas en [cm]

Finalmente, el canal queda de la siguiente manera:



Figura 5.6 Canal pegado completamente

5.2 Acero

El canal cuenta con 3 estructuras de soporte, más una estructura encargada de elevar el estanque secundario. Para desarrollar estas se adquieren perfiles cuadrados de acero de dimensiones 30 [mm] x 30 [mm] x 3 [mm] y largo 6 [m], los cuales se cortan en el taller de Mecánica y Materiales del Departamento de Ingeniería Mecánica. Se cortan 84 barras, las cuales van desde un largo de 6 [cm] hasta 120 [cm], sumando en total casi 42 [m] de acero necesario para armar estas estructuras.

Se presentan algunas fotografías de la realización del trabajo y de los resultados obtenidos:



Figura 5.7 Cortando acero



Figura 5.8 Barras cortadas

Finalmente, el trabajo de soldadura se contrata externo a la Universidad, donde fueron entregados los perfiles dimensionados y se recibe la estructura armada.



Figura 5.9 Base metálica de estanque

De manera de proteger la estructura metálica y darle un mejor acabado, se le aplica una capa de anticorrosivo y otra capa de pintura azul, de manera que quede con un color similar al resto de las estructuras del laboratorio de hidráulica.

Con la estructura metálica y el canal de acrílico finalizado, se procede a montar el canal sobre la estructura. Esto se hace posible gracias a la utilización de dos pasadores ubicados en los apoyos principales del canal, los cuales permiten unir el canal de acrílico con la estructura metálica y además dan la opción de giro al canal (al darle pendiente).



Figura 5.10 Pasador utilizado



Figura 5.11 Canal montado sobre la estructura

5.3 Estanques

El proyecto cuenta con dos estanques de fibra de vidrio, el estanque principal el cual tiene un volumen máximo de 1.700 [l] y es rectangular de dimensiones; 115 [cm] de altura, 150 [cm] de largo y 100 [cm] de ancho. El estanque secundario tiene una capacidad máxima de 250 [l] y es de forma cónica, con una altura de 75 [cm], diámetro superior de 80[cm] e inferior de 70 [cm].



Figura 5.12 Estanques principal y secundario respectivamente

Estos estanques vienen inicialmente con conexiones hidráulicas de 2" en ambos estanques. El estanque principal con dos conexiones, ya que por un lado se necesita conectar la bomba y por otro lado el estanque secundario. Debido a nuevos cálculos y un mayor factor de seguridad, fue necesario crear conexiones nuevas para ambos estanques, ya que el estanque secundario no era capaz de evacuar el agua hacia el estanque principal para el caso más desfavorable únicamente con la conexión de 2", es por esto que se perforan ambos estanques con conexiones de 4", teniendo finalmente dos uniones disponibles entre los estanques, una de 2" y otra de 4". Adicionalmente, al estanque

principal se le habilita una válvula de salida en caso de que sea necesario vaciar el estanque.

Con los estanques listos, se procede a ubicarlos en conjunto con el canal y las estructuras metálicas:



Figura 5.13 Canal y estanques

5.4 Pendiente en el canal

Luego de pasar por distintos mecanismos para darle pendiente al canal, se toma la decisión final de instalar una gata tijera, la cual posee una manilla que al girarla genera un ascenso o descenso de la gata de manera controlada y paulatina, la cual está unida a un apoyo del canal y genera un cambio de nivel con respecto al otro apoyo del canal.



Figura 5.14 Mecanismo para entregarle pendiente al canal

Frente a la gata tijera, se instala un medidor de pendiente, el cual consta de dos partes, la primera consiste en una escala de pendientes que va desde el -1% hasta el 5%, con una precisión de 0.05% y esta está unida a la parte inferior del apoyo, por lo que permanece a una altura fija en el tiempo. La segunda parte corresponde a un marcador, el cual se mueve de manera vertical por sobre la escala de pendientes e indica en que pendiente se

encuentra, esta pieza está unida a la parte superior del apoyo, por lo que se mueve al accionar la gata.

5.5 Conexiones hidráulicas

Con el canal ya montado y los estanques ubicados, se procede a realizar las instalaciones hidráulicas correspondientes, dentro de lo que se encuentran válvulas y tuberías entre estanques, instalación de la bomba, válvula y caudalímetro, entre otros. Para estas conexiones se utiliza adhesivo PVC tradicional cuando las uniones son del tipo cementar, y teflón para cuando las uniones son del tipo rosca. Los estanques conectados se pueden ver en la siguiente figura:



Figura 5.15 Conexiones entre estanques

Junto a la bomba se instala una unión americana, la cual permite retirar la bomba en caso de que sea necesario hacer mantención. A la salida de la bomba se instala la válvula de compuerta tal como se observa en la Figura 5.16, la permite regular el caudal entregado y luego una manguera flexible que le entrega la flexibilidad necesaria al sistema para poder generar los cambios de pendiente.



Figura 5.16 Conexiones junto a la bomba

El caudalímetro y la conexión con el canal se desarrollan utilizando distintos tipos de conexiones hidráulicas como coplas y salida de estanque, tal como se observa en la Figura 5.17



Figura 5.17 Conexiones finales

Pese a no ser un proyecto con un nivel complejo relacionado al sistema de tuberías, igualmente se utilizan un gran número de piezas para su desarrollo, dentro de las cuales se pueden mencionar:

- Codo 90° (110 [mm], 63 [mm] y 25 [mm])
- Tuberías (110 [mm], 63 [mm] y 25 [mm])
- Manguera flexible (2")
- Válvula bola PVC (110 [mm] y 63 [mm])
- Válvula bola aluminio (3/4")
- Válvula compuerta (2")
- Salida de estanque (110 [mm] – 4", 63 [mm] – 2" y 25 [mm] – 3/4")
- Terminal HI (2"- 63 [mm])
- Terminal HE (2"- 63 [mm])
- Terminal espiga HI (2")
- Terminal espiga HE (2")
- Copla HI-HI (2")
- Copla HE-HE (2")
- Unión americana (63 [mm])

5.6 Conexiones eléctricas

Las conexiones eléctricas necesarias para este proyecto son dos. Por un lado se tiene la bomba y por otro lado el caudalímetro. Ambos funcionan en sistema monofásico, pero el caudalímetro funciona a un voltaje más bajo, por lo que es necesario conectar este a un transformador que reduzca el voltaje de 120 [V] normal a los 12 [V] necesarios para el caudalímetro.

Tanto la bomba como el caudalímetro son conectados a un mismo interruptor, por lo que al accionar este, se encienden automáticamente ambos equipos y entra en funcionamiento el canal.

5.7 Componentes adicionales

El canal cuenta también con un vertedero frontal ubicado al fondo de éste. Si bien este componente no es indispensable para el funcionamiento del canal, permite modificar las condiciones de flujo y analizar un mayor número de situaciones sobre el canal.



Figura 5.18 Vertedero frontal en funcionamiento

5.8 Canal finalizado

Completados los puntos anteriores, el canal queda finalizado y se puede poner en marcha para su funcionamiento.



Figura 5.19 Canal finalizado

5.9 Puesta en marcha

Luego de finalizar el canal, se realiza una puesta en marcha para verificar el correcto funcionamiento de equipos (caudalímetro, bomba, válvulas), se revisan las posibles fugas que puedan existir y posteriormente se sellan, lo que fue el caso de fugas en las conexiones de estanques, en la entrada de la bomba y en el canal, para las cuales se hicieron reiteradas pruebas de llenado y vaciado hasta solucionar el problema. Adicionalmente se revisa el correcto funcionamiento de las rejillas de infiltración, para las cuales se decide agregar un sello aislante para minimizar filtraciones. En la siguiente figura se presentan imágenes del canal y los equipos en funcionamiento:

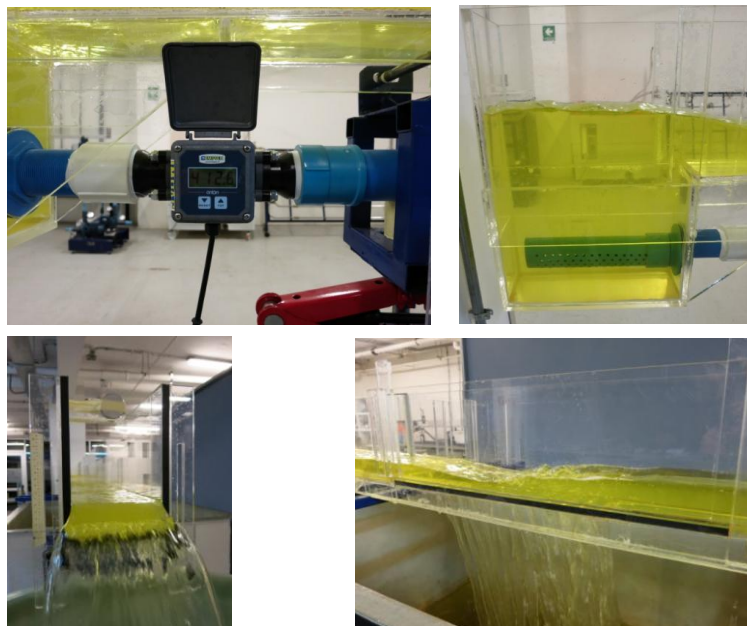


Figura 5.20 Canal en funcionamiento

6. PERFILES DE FLUJO EN REJILLAS DE INFILTRACIÓN

Uno de los puntos importantes a la hora de generar modelos a escala, y más aún si estos son con fines docentes, es poder apreciar visualmente el fenómeno hidráulico que se produce, es por esto que en esta sección se presentan los perfiles de flujo que es posible tener en el canal y como se asimilan estos a la literatura.

Como ya se mencionó anteriormente, en el caso de rejillas de infiltración es posible contar con cinco tipos distintos de flujo, estos son el A1, A2, A3, B1 y B2, los cuales pueden obtenerse en el canal modificando condiciones de pendiente, caudal, rejilla y vertedero aguas abajo.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

- Perfil de flujo A1:

El perfil de flujo A1 se caracteriza por tener una aproximación en régimen subcrítico, para luego pasar a régimen supercrítico antes, durante y después de la rejilla, apreciándose una clara disminución de la altura de agua sobre la rejilla:

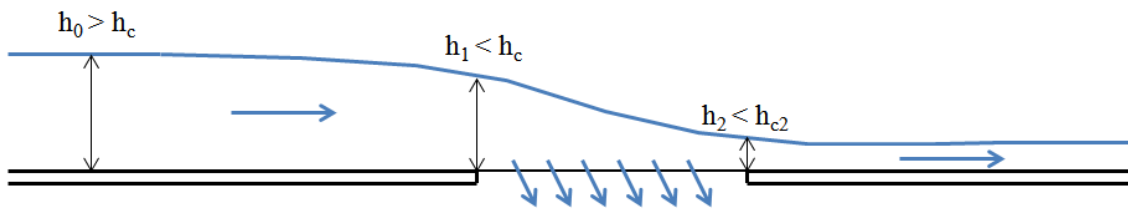


Figura 6.1 Perfil de flujo A1 según literatura

El perfil obtenido en laboratorio es el siguiente:

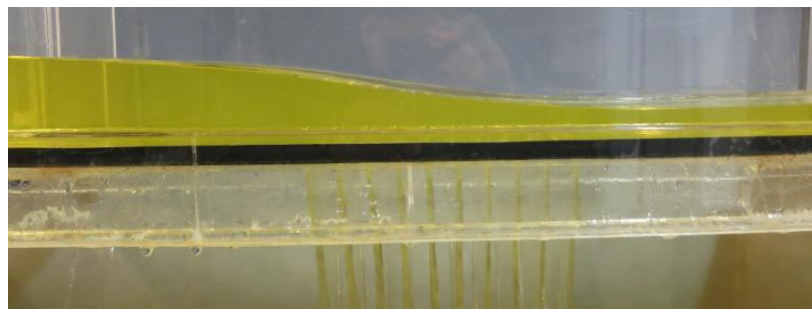


Figura 6.2 Perfil de flujo A1 obtenido en laboratorio

- Perfil de flujo A2:

El perfil de flujo A2 se caracteriza por tener una aproximación en régimen subcrítico, para luego pasar a régimen supercrítico antes de la rejilla, generándose un resalto hidráulico sobre la rejilla y finalizando en régimen subcrítico:

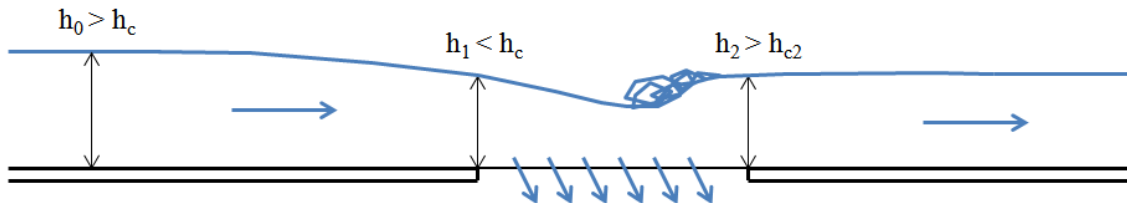


Figura 6.3 Perfil de flujo A2 según literatura

El perfil obtenido en laboratorio es el siguiente:

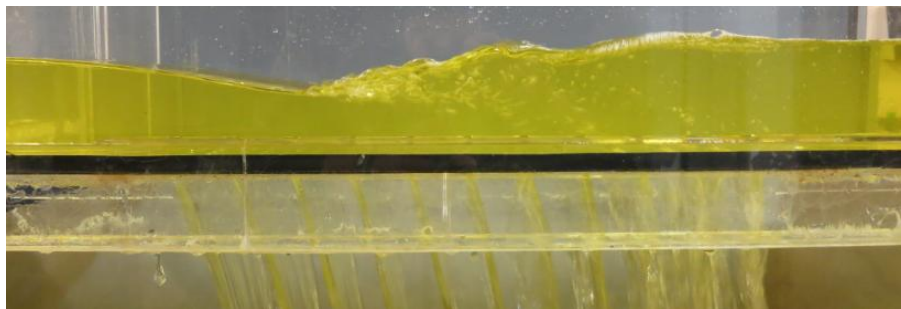


Figura 6.4 Perfil de flujo A2 obtenido en laboratorio

- Perfil de flujo A3:

El perfil de flujo A3 se caracteriza por estar constantemente en régimen subcrítico, ya sea en la etapa de aproximación o sobre la rejilla, sin apreciarse una disminución de la altura de agua sobre la rejilla:

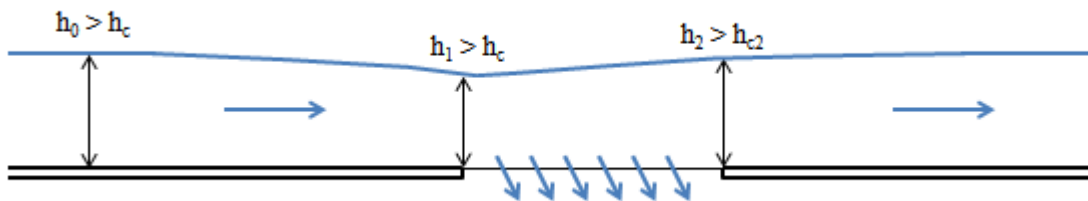


Figura 6.5 Perfil de flujo A3 según literatura

El perfil obtenido en laboratorio es el siguiente:

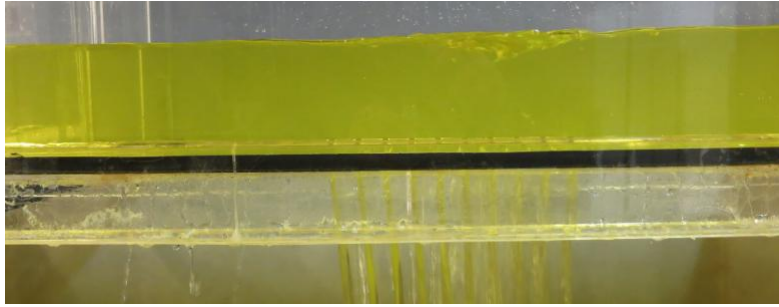


Figura 6.6 Perfil de flujo A3 obtenido en laboratorio

- Perfil de flujo B1:

El perfil de flujo B1 se caracteriza por estar constantemente en régimen subcrítico, ya sea en la etapa de aproximación, o sobre la rejilla, apreciándose una clara disminución del nivel de la altura de agua sobre la rejilla:

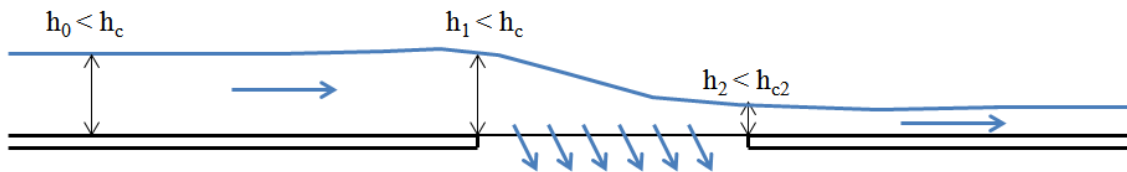


Figura 6.7 Perfil de flujo B1 según literatura

El perfil obtenido en laboratorio es el siguiente:

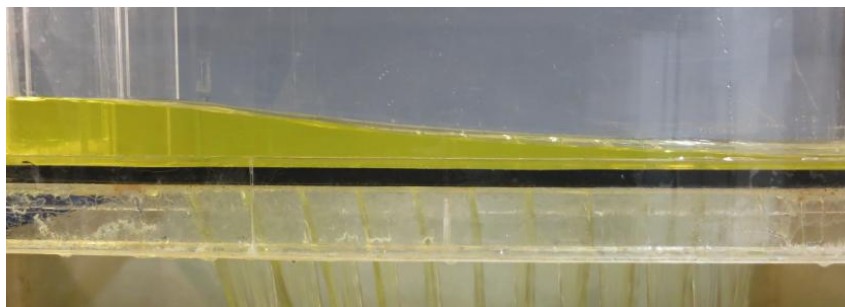


Figura 6.8 Perfil de flujo B1 obtenido en laboratorio

- Perfil de flujo B2:

El perfil de flujo B2 se caracteriza por tener una aproximación en régimen supercrítico, para luego generar un resalto hidráulico sobre la rejilla y finalizando en régimen subcrítico:

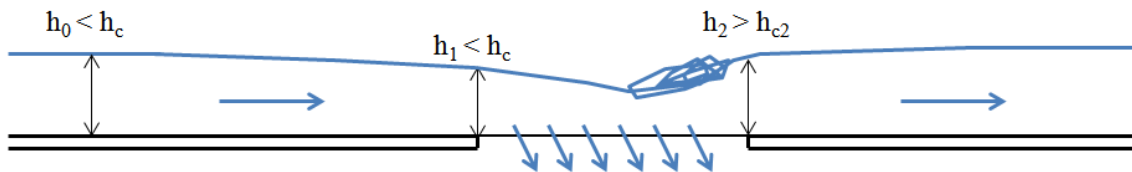


Figura 6.9 Perfil de flujo B2 según literatura

El perfil obtenido en laboratorio es el siguiente:

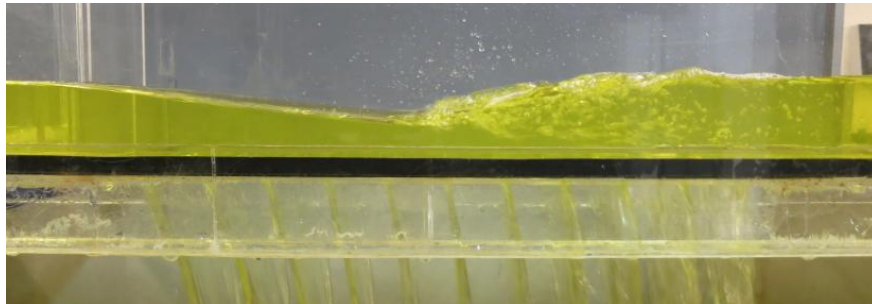


Figura 6.10 Perfil de flujo B2 obtenido en laboratorio

Es posible ver que el canal permite obtener cualquiera de los cinco tipos de flujo existente, lo que demuestra la versatilidad del equipo y la posibilidad de generar gran apoyo a la docencia e investigación.

7. CALIBRACIÓN

Con el canal ya construido y en funcionamiento, se procede a calibrar sus distintos componentes para verificar el correcto funcionamiento de éstos.

7.1 Método medición caudal final

Como fue descrito anteriormente, el caudal total que circula por el canal es medido por un caudalímetro electromagnético. Por otro lado, no se cuenta con un medidor especializado para medir el caudal que es desviado por la rejilla ni el que continúa por el canal. Es por esto que se tiene el siguiente procedimiento para la medición del caudal final que circula por el canal y luego con éste obtener el caudal desviado por la rejilla:

- 1) Cerrar las válvulas existentes entre el estanque principal y el estanque secundario.
- 2) Esperar hasta que el nivel de aguas dentro del estanque (observado desde el visor lateral) llegue hasta alguno de los niveles de agua claramente marcados, por ejemplo “60 L”, lo que representa un volumen de 60 litros desde la marca “0 L”.
- 3) Comenzar a contabilizar el tiempo desde que el agua llega a dicho nivel.
- 4) Esperar a que el agua llegue hasta alguno de los siguientes niveles de agua marcados, puede ser “80 L”, “100 L”, etc. a mayor diferencia de volumen se minimiza el error, ya que al tener un mayor tiempo total se reduce la importancia de la exactitud con que se comienza y finaliza la medición de tiempo.
- 5) Finalizar la contabilización de tiempo cuando el agua llega al nivel seleccionado.
- 6) Obtener el caudal utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_{final} = \frac{V_2 - V_1}{t}$$

Para corroborar el correcto funcionamiento del método de medición explicado, se procede a cerrar las aberturas de la rejilla, generando de esta forma un sistema donde el caudal que entra al canal es igual al caudal que sale por el canal en la sección final. Se tomaron 19 mediciones con distinto caudal, variando desde los 0.5 [l/s] hasta los 9.5 [l/s] cada 0.5 [l/s]. Cada medición se realizó una única vez, ya que se quiso comprobar que tan confiable es el método al realizar mediciones puntuales de caudal, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 7.1 Relación entre caudales

Caudal caudalímetro		V ₁	V ₂	t	Caudal medido
[l/min]	[l/s]	[l]	[l]	[s]	[l/s]
30,8	0,513	30	110	159,16	0,503
59,6	0,993	30	110	81,96	0,976
87,8	1,463	30	110	55,46	1,442
119,5	1,992	30	110	40,6	1,970
147,4	2,457	30	160	53,46	2,432
182,2	3,037	40	160	40,13	2,990
208,0	3,467	40	160	35,05	3,424
240,5	4,008	40	160	30,12	3,984
269,6	4,493	40	160	27,24	4,405
301,0	5,017	40	160	24,54	4,890
329,5	5,492	60	160	17,91	5,583
359,0	5,983	40	160	20,11	5,967
388,5	6,475	40	160	18,37	6,532
420,0	7,000	50	160	15,68	7,015
450,0	7,500	50	160	14,97	7,348
480,0	8,000	60	160	12,53	7,981
508,0	8,467	70	160	11,06	8,137
540,0	9,000	70	160	10,44	8,621
570,0	9,500	80	160	8,06	9,926

Los cuales gráficamente se ven de la siguiente manera, donde los puntos azules corresponden a las mediciones y la recta roja corresponde a la igualdad, es decir, cuando el caudal mostrado por el caudalímetro es igual al caudal medido:

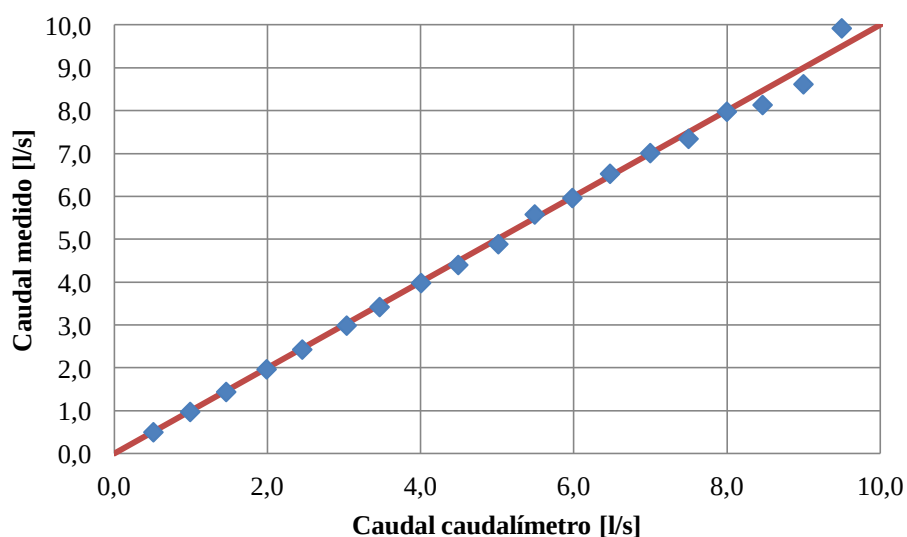


Figura 7.1 Relación entre caudales

Se tiene además que los errores porcentuales de las mediciones se encuentran en un rango bajo para caudales de hasta 8 [l/s], sobre este valor se observa un aumento del error en la medición como se muestra en el siguiente gráfico:

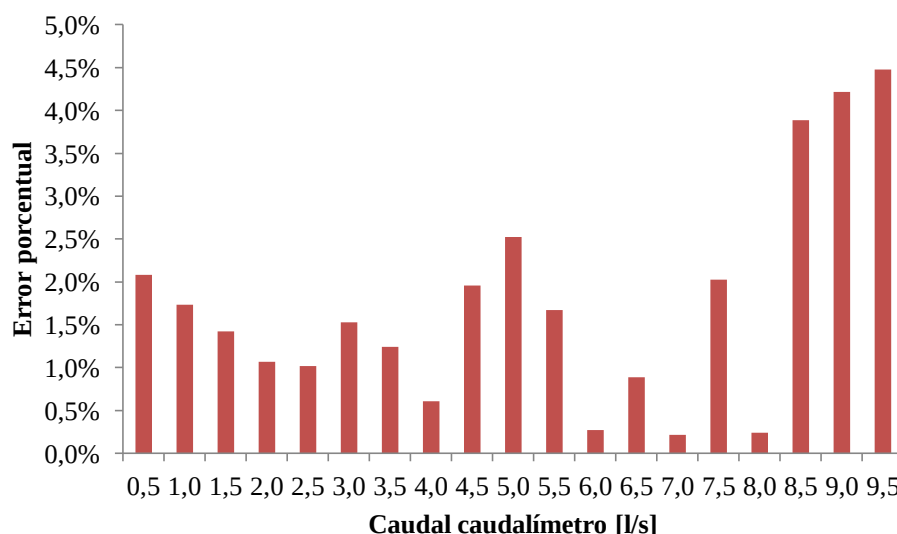


Figura 7.2 Errores porcentuales

Los mayores errores se deben a la dificultad de medir cuando se tiene caudales grandes, producto de la mayor oscilación del agua al caer, junto con el menor intervalo de tiempo disponible para medir ya que el estanque se llena con mayor rapidez. Estos errores no traen mayores dificultades, ya que la descarga de caudales grandes por el vertedero final ocurrirá muy pocas veces, debido a que gran parte del caudal es desviado mediante las rejillas en la mitad del canal reduciendo de esta forma el caudal descargado por el vertedero final.

7.1.1 Análisis de sensibilidad numérico

Para una mayor comprensión de estos resultados, se realiza un análisis de sensibilidad numérico con respecto al tiempo medido que demora el agua en subir entre dos niveles de volumen marcados en el estanque secundario. Para esto se varían los tiempos de medición en $\pm 5\%$ y se analizan los resultados obtenidos con el fin de ver cómo se comportan las ecuaciones frente a variaciones en los parámetros. Adicionalmente podría ser posible ver qué ocurre al cambiar los valores de los volúmenes V_1 y V_2 , pero finalmente los resultados son similares.

En la Figura 7.3 es posible ver que los caudales obtenidos para la variación negativa como positiva del tiempo de medición, son muy similares en caudales pequeños. Por otro lado, para caudales mayores se puede ver una mayor diferencia en los resultados.

Por el lado de los errores porcentuales, en la Figura 7.4 se tienen los errores porcentuales obtenidos para ambas variaciones, donde se tiene que los mayores errores llegan a un 10%, prácticamente el doble de lo obtenido con anterioridad.

Finalmente cabe destacar que este 5% analizado de variación en la toma del tiempo, representa valores de aproximadamente 2 [s] o más para las mediciones de caudales pequeños, pero valores menores a 1[s] para el caso de caudales mayores. Esta información coincide con la obtenida anteriormente, donde se presentan mayores errores para los caudales grandes producto de la mayor fluctuación del nivel de agua producto de la energía que trae el caudal al caer, junto con un aumento más rápido de este nivel, lo que genera una medición durante menos tiempo y una posible maximización de los errores.

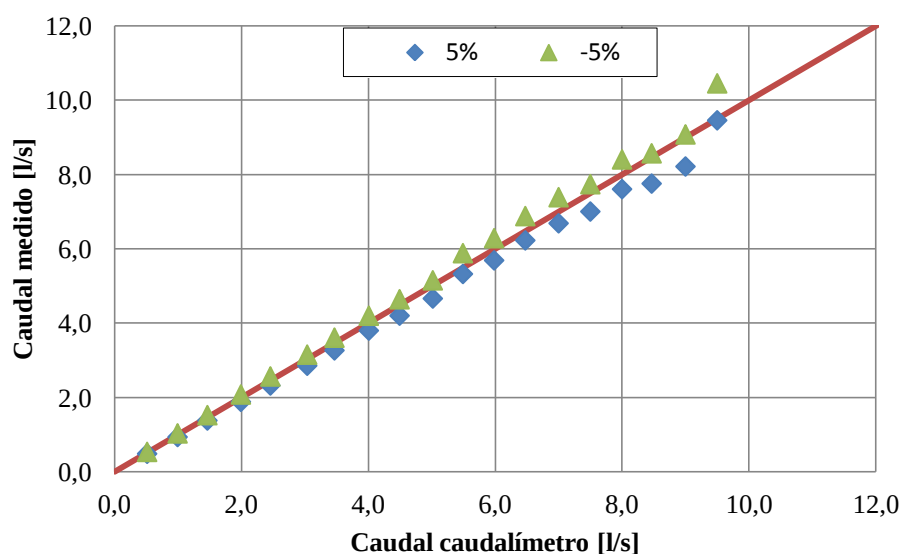


Figura 7.3 Relación entre caudales para el análisis de sensibilidad

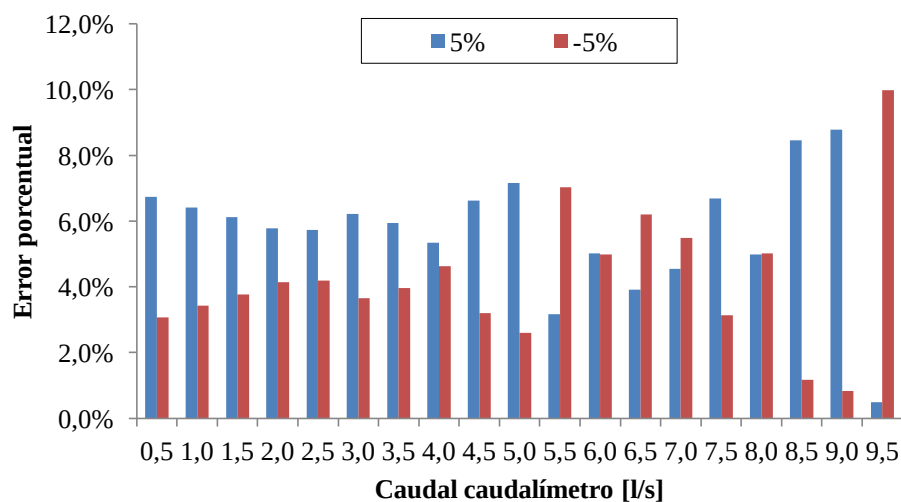


Figura 7.4 Errores porcentuales para el análisis de sensibilidad

7.2 Coeficientes de descarga en régimen supercrítico

Para cada rejilla se determina el coeficiente de descarga en régimen supercrítico (variando caudal y pendiente) a partir de la ecuación (2.12) para la rejilla paralela y la ecuación (2.15) para la rejilla perpendicular. El estudio únicamente del régimen supercrítico se debe a que es uno de los tipos de flujo que se presenta con mayor frecuencia y se obtiene fácilmente en laboratorio sin tener que depender de muchas modificaciones adicionales al canal que aumentarían las variables a considerar.

Para rejillas paralela la ecuación que define el coeficiente de descarga queda expresada de la siguiente manera:

$$C_d = \frac{E}{eL} \left(\frac{h_1}{E} \sqrt{1 - \frac{h_1}{E}} - \frac{h_2}{E} \sqrt{1 - \frac{h_2}{E}} \right) \quad (7.1)$$

Y para las rejillas perpendiculares la ecuación obtenida es la siguiente:

$$C_d = \frac{E}{eL} \left[\frac{1}{4} \operatorname{sen}^{-1} \left(1 - \frac{2h_2}{E} \right) - \frac{3}{2} \sqrt{\frac{h}{E} \left(1 - \frac{h_2}{E} \right)} \right] - \frac{E}{eL} \left[\frac{1}{4} \operatorname{sen}^{-1} \left(1 - \frac{2h_1}{E} \right) - \frac{3}{2} \sqrt{\frac{h_1}{E} \left(1 - \frac{h_1}{E} \right)} \right] \quad (7.2)$$

A continuación, se presenta la información geométrica de cada rejilla, junto con los coeficientes de descarga obtenidos en 18 mediciones distintas variando caudal e inclinación, siendo seis caudales distintos para tres pendientes, a excepción de las rejillas N°1 y N°3 donde solo se consideran cuatro caudales debido que los dos caudales pequeños son desviados completamente por la rejilla, lo que impide la correcta medición. En cada una de éstas se toma información de alturas antes y después de la rejilla para obtener los resultados.

7.2.1 Rejillas paralelas al flujo

Para las rejillas paralelas al flujo (N°1, 2 y 3) se presentan los principales resultados en esta sección y los demás resultados pueden encontrarse en la sección 13.3.1 y 13.3.2 de Anexos. Se presentan los resultados obtenidos para la rejilla N°1 luego de las mediciones realizadas:

Tabla 7.2 Resultados rejilla N°1

Caudal		Pendiente	h_1	h_2	E	C_d
[l/min]	[l/s]	[%]	[cm]	[cm]	[cm]	
399,0	6,650	0	4,64	0,39	9,17	0,438
449,0	7,483	0	5,00	0,59	9,94	0,449
500,0	8,333	0	5,29	0,86	10,76	0,448
549,0	9,150	0	5,72	1,09	11,37	0,455
401,5	6,692	1	3,95	0,41	10,28	0,410
453,0	7,550	1	4,27	0,59	11,17	0,422
499,0	8,317	1	4,62	0,80	11,77	0,430

Caudal		Pendiente	h_1	h_2	E	C_d
[l/min]	[l/s]	[%]	[cm]	[cm]	[cm]	
551,0	9,183	1	4,97	1,10	12,51	0,427
398,0	6,633	2	3,44	0,63	11,63	0,346
454,5	7,575	2	3,78	0,83	12,63	0,359
499,0	8,317	2	4,07	1,07	13,27	0,360
547,0	9,117	2	4,40	1,32	13,87	0,361

A continuación, se presentan gráficamente los resultados obtenidos de coeficientes de descarga en la rejilla paralela N°1, donde es posible ver valores similares de coeficientes de descarga al variar el caudal, tendiendo a un leve aumento del coeficiente al aumentar éste (esto se aprecia de mejor manera en unas rejillas que en otras). Los coeficientes de descarga para esta rejilla se mueven en un rango entre 0.35 y 0.45 tal como se aprecia en la Figura 7.5. También es posible observar tres tendencias distintas del coeficiente de descarga producto de la variación de la pendiente, donde se tiene que, al aumentar la ésta, el coeficiente de descarga disminuye. Si bien la ecuación (7.1) no depende directamente de la pendiente, la altura de agua cambia al modificar la pendiente.

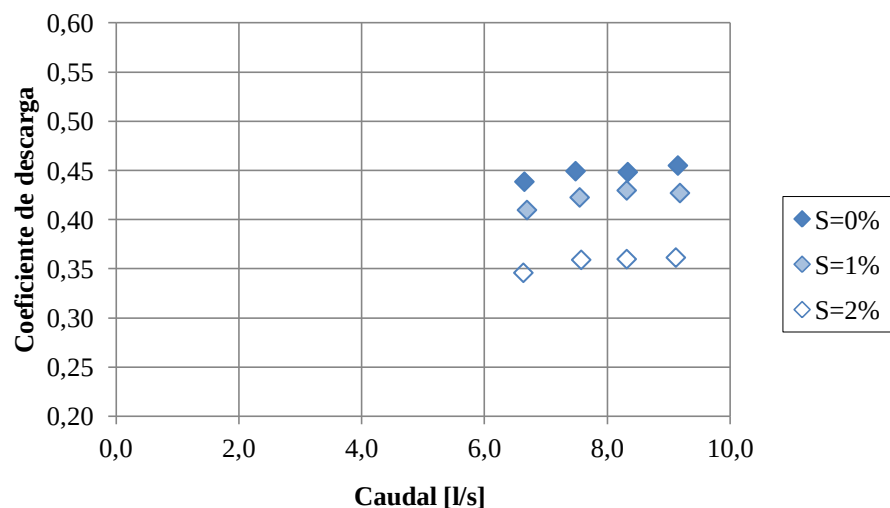


Figura 7.5 Coeficiente de descarga v/s Caudal, rejilla N°1

Adicionalmente se realiza un gráfico del coeficiente de descarga en función del número de Froude previo a la rejilla. Estos resultados se presentan en la Figura 7.6, donde es posible apreciar que al aumentar el número de Froude el coeficiente de descarga disminuye.

Los resultados para las rejillas N°2 y N°3 se pueden ver en la sección 13.3.2 de Anexos y son similares a los observados para la rejilla N°1, con coeficientes de descarga entre 0.4–0.5 para la rejilla N°2 y 0.38-0.5 para la rejilla N°3.

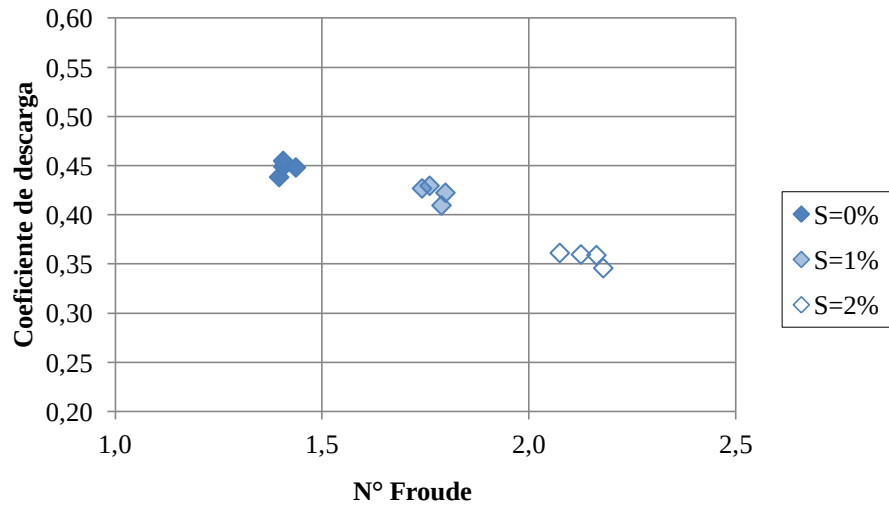


Figura 7.6 Coeficiente de descarga v/s Nº Froude, rejilla Nº1

7.2.2 Rejillas perpendiculares al flujo

Para ver los resultados obtenidos en las rejillas perpendiculares, se procede a separar éstas en las que poseen orificios rectangulares y las que los tienen circulares.

7.2.2.1 Rejillas perpendiculares de orificios rectangulares

Se presentan los resultados obtenidos para la rejilla Nº7, las que corresponden a una rejilla de orificios rectangulares de ancho 1 [cm].

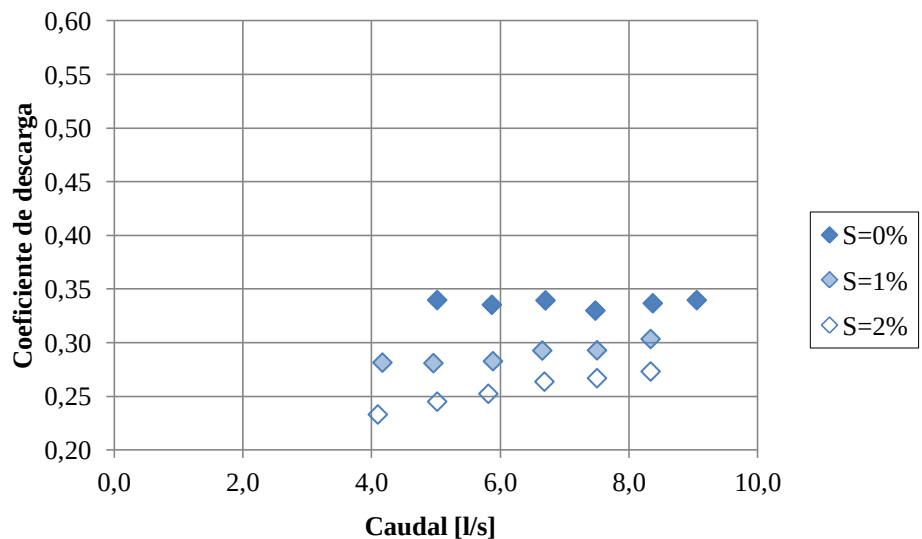


Figura 7.7 Coeficiente de descarga v/s Caudal, rejilla Nº7

Se observan resultados similares a los obtenidos en rejillas paralelas, pero en este caso los coeficientes de descarga se encuentran en el rango entre 0.22 y 0.35, siendo menores

que los obtenidos en rejillas paralelas. El comportamiento para distintas pendientes y aumento de caudal es similar al visto anteriormente.

En la Figura 7.8 se tienen los resultados de las rejillas N°11, la cual es de orificios rectangulares de 0.5 [cm] de ancho. En esta rejilla los coeficientes de descarga observados se encuentran entre 0.3 y 0.4.

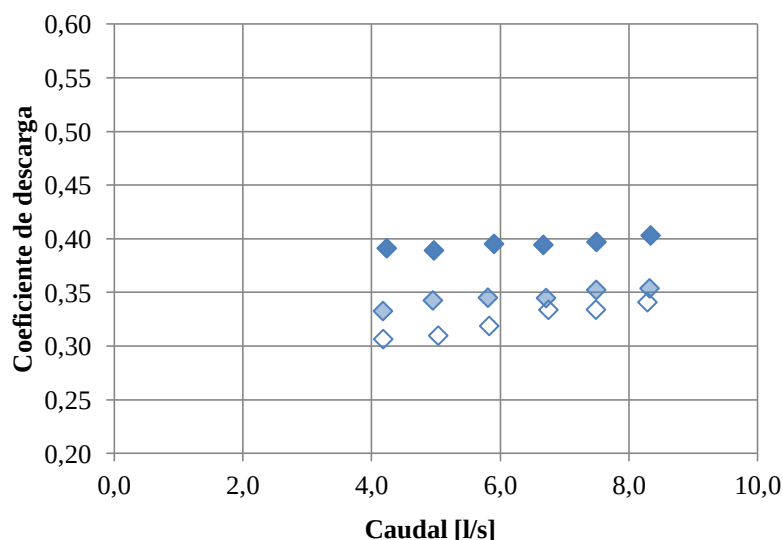


Figura 7.8 Coeficiente de descarga v/s Caudal, rejilla N°11

En las dos figuras anteriores es posible apreciar de manera clara el efecto de la pendiente sobre el coeficiente de descarga.

El comportamiento observado para las demás rejillas (N°4, 5, 6, 8, 9 y 10) puede ser visto en la sección 13.3.2 de los Anexos y es similar a los anteriores, sin embargo, para la rejilla N°8 se observa una disminución del coeficiente de descarga en una de sus curvas al aumentar el caudal.

En la Figura 7.9 y Figura 7.10 se presentan los resultados para las rejillas N°7 y 8 respectivamente, en función del N° de Froude. Se tiene un comportamiento similar a las rejillas paralelas, con una disminución del coeficiente de descarga al aumentar el N° de Froude, sin embargo, la rejilla N°8 ya mencionada anteriormente, presenta un comportamiento diferente, teniendo un descenso, pero luego un ascenso al aumentar el N° de Froude. En la Figura 13.17 de Anexos es posible ver que a rejilla N°9 también presenta resultados similares a los de la rejilla N°8 pero en menor medida, sin embargo, el resto de las rejillas se comporta de manera normal.

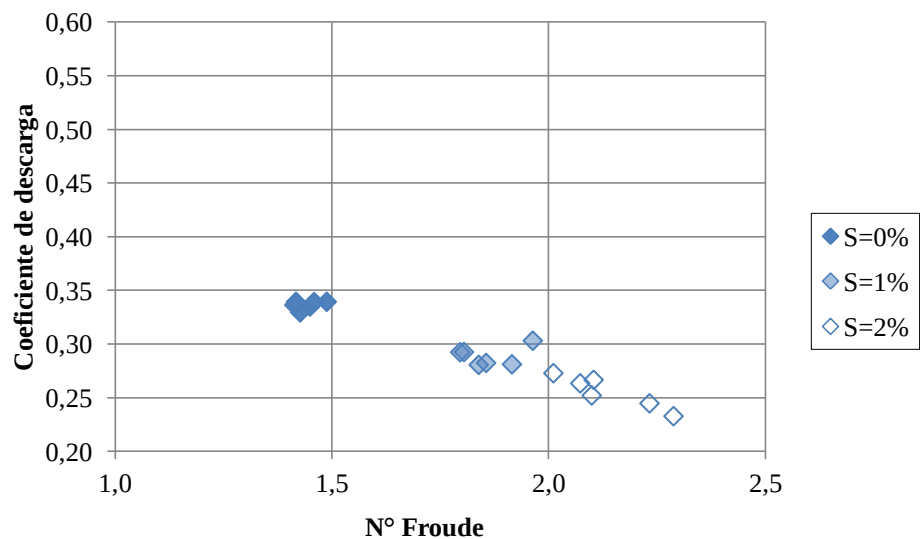


Figura 7.9 Coeficiente de descarga v/s N° Froude, rejilla N°7

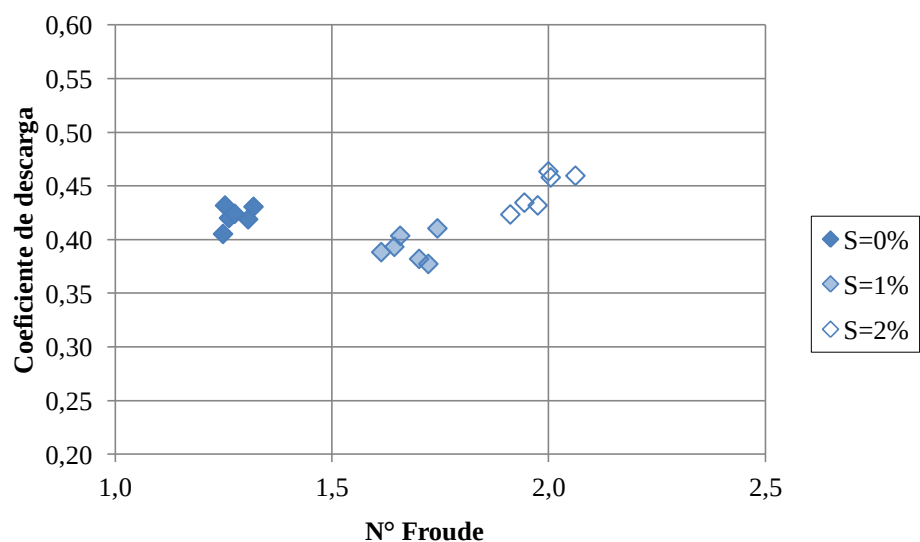


Figura 7.10 Coeficiente de descarga v/s N° Froude, rejilla N°8

7.2.2.2 *Rejillas perpendiculares de orificios circulares*

En el caso de las rejillas perpendiculares de orificios circulares, se muestra a continuación los resultados obtenidos para la rejilla N°13, donde se tienen valores de coeficiente de descarga entre 0.4 y 0.5, destacando un comportamiento más horizontal del efecto del aumento de caudal que en las rejillas anteriores, pudiendo decirse que el coeficiente de descarga tiene menos dependencia del caudal en este caso.

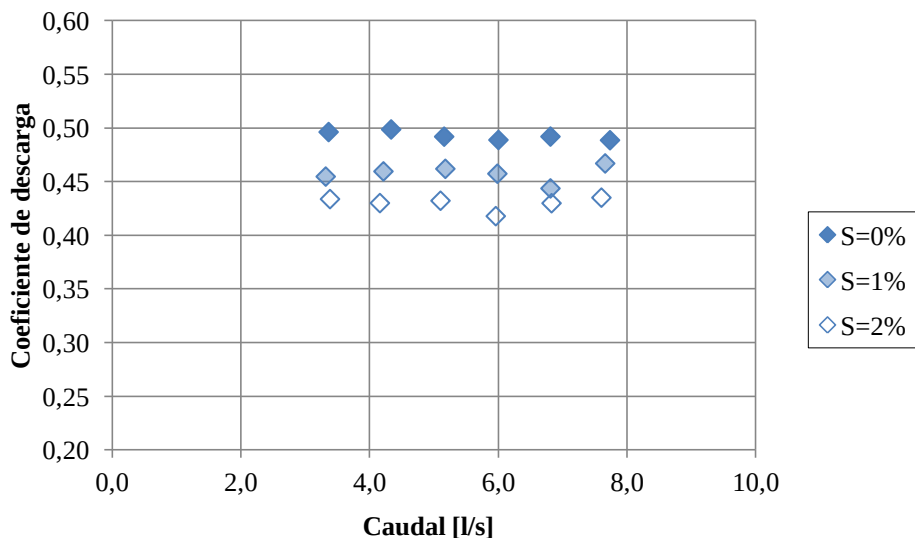


Figura 7.11 Coeficiente de descarga v/s Caudal, rejilla N°13

En las demás rejillas de este tipo también se observa esta horizontalidad pero de manera más leve, estos resultados pueden ser vistos en la sección 13.3.2 de Anexos.

Al estudiar el comportamiento frente al N° de Froude, algunas rejillas presentan en el comportamiento esperado y otras presentan diferencias. En este caso las rejillas N° 12 y 14 presentan diferencias, teniendo la N°12 un aumento constante del coeficiente de descarga al aumentar el N° de Froude, mientras que la N°14 presenta un aumento y luego una baja. Estos resultados se pueden ver en la sección 13.3.2 de Anexos y a continuación se presenta el detalle de la rejilla N°13.

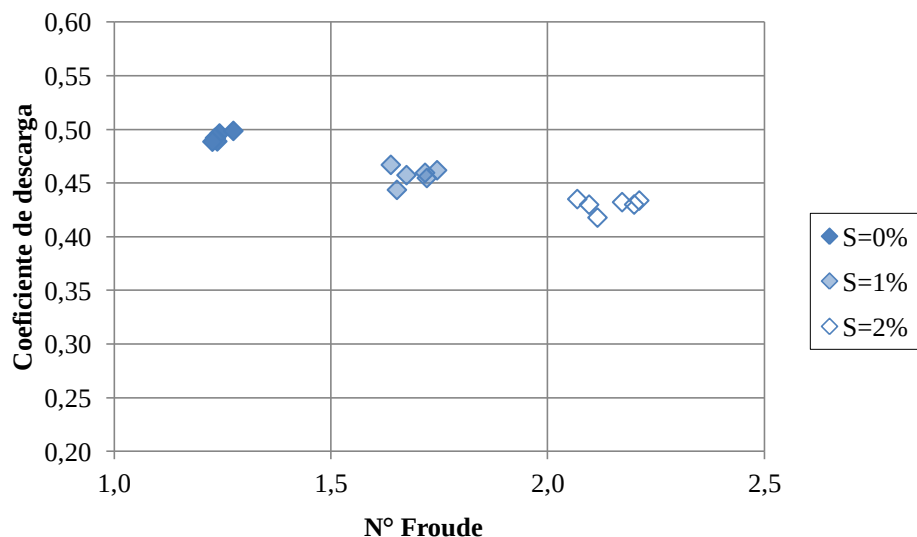


Figura 7.12 Coeficiente de descarga v/s Nº Froude, rejilla Nº13

7.2.3 Comparación con literatura

En esta sección se realiza una comparación de los resultados obtenidos con los propuestos por distintos autores, los cuales fueron presentados en la sección 2.2.2.5. En dicha sección se presentan los principales resultados obtenidos por distintos autores ya sea para distinto tipo de flujo, pendiente, rejilla, etc, teniendo como consideración que solo se conocen las condiciones de estudio de algunos autores, tales como el material, características de las rejillas (espesor, orificios, largo, etc.), caudal, entre otros.

Se comparan los resultados para tipos de flujo B1 en rejillas paralelas y perpendiculares de orificios rectangulares y circulares. A estos casos se les suma adicionalmente distintos niveles de pendiente.

En el caso de Nosedá (1956) y Shafaibejistan y Shakouhirad (1997), el tipo de rejilla utilizada y flujo analizado no fue especificado, por lo que se utilizan estas ecuaciones en todos los casos estudiados.

A continuación, se presentan los principales resultados obtenidos, el resto de los resultados puede ser visto en los Anexos, sección 13.3.3.

7.2.3.1 Rejillas paralelas

Al comparar los resultados obtenidos con los distintos autores, se obtienen diversos resultados en un amplio rango. Para el caso de las rejillas paralelas los mejores resultados fueron obtenidos con Shafaibejistan y Shakouhirad (1997) en algunas rejillas, por otro lado, Nosedá (1956), Ghosh y Ahmad (2005), Zagade (1987) y Subramanya (2009) obtuvieron resultados poco satisfactorios. En la siguiente figura se presenta el mejor

resultado obtenido en la comparación, lo que ocurre al comparar a Shafai bejestan y Shakouhirad (1997) con la rejilla N°1:

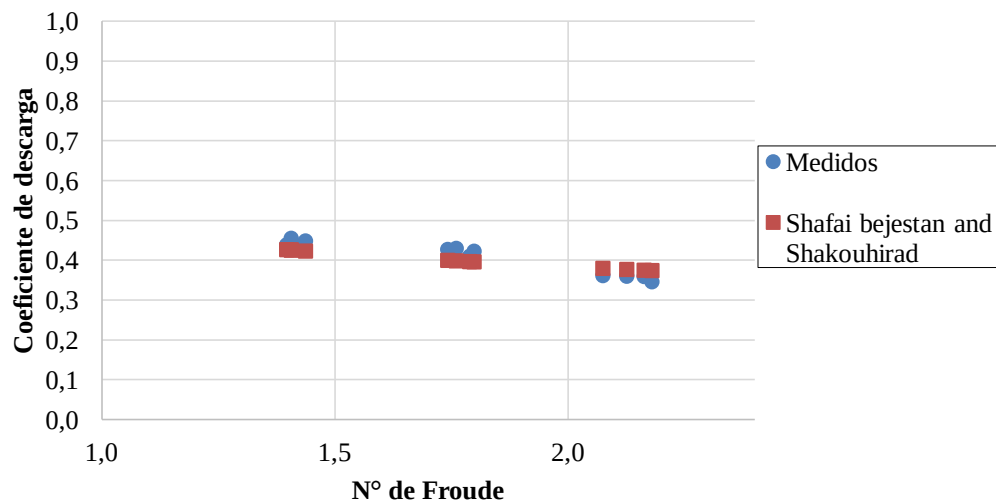


Figura 7.13 Mediciones v/s Shafai bejestan y Shakouhirad, rejilla N°1

Dicha ecuación depende del N° de Froude, largo de rejilla, separación entre barras y relación de aberturas, sin embargo se desconocen las condiciones en que fue obtenida la ecuación:

$$\text{Shafai bejestan y Shakouhirad (1997): } C_d = 0.223 e^{-0.79 F_r^{-0.295}} \left(\frac{s}{L} \right)^{0.054}$$

Para la misma rejilla se presenta en la Figura 7.14 la comparación con Subramanya (2009), autor que presenta dos ecuaciones para obtener el coeficiente de descarga. La primera de estas ecuaciones es para rejillas horizontales y obtiene un buen comportamiento para la rejilla N°1. Al considerar pendiente, Subramanya (2009) propone otra ecuación que en este caso no obtiene similitud alguna con los resultados obtenidos en laboratorio como se aprecia en la Figura 7.14.

$$\text{Subramanya (2009), rejilla horizontal: } C_d = 1.115 + 0.36 \log(D/s) - 1.084 n_E$$

$$\text{Subramanya (2009), rejilla inclinada: } C_d = 0.39 + 0.27 \log(D/s) - 0.8 n_E - 0.5 \log(S)$$

Ambas ecuaciones propuestas por Subramanya (2009) dependen de la relación D/s , el coeficiente n_E y la pendiente S . Al igual que la ecuación de Shafai bejestan y Shakouhirad (1997), se desconocen las condiciones en que fue obtenida la ecuación.

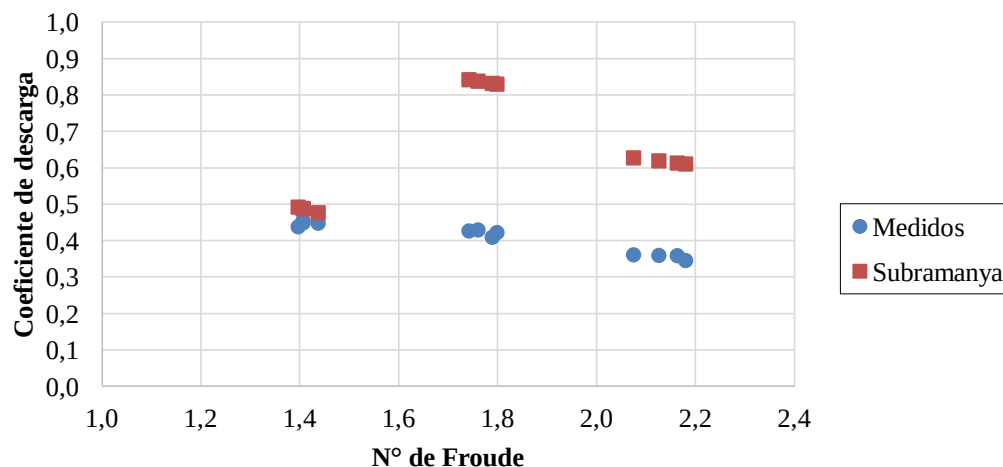


Figura 7.14 Mediciones v/s Subramanya, rejilla N°1

Si bien se obtuvieron resultados similares como algunos de los mostrados en esta sección, en general los resultados distan de ser buenos, teniendo en la mayoría de los casos que éstos no tienen relación alguna con los resultados obtenidos en laboratorio. Los demás resultados para esta y las otras rejillas, junto con los autores faltantes es posible verlos en los Anexos sección 13.3.3.

7.2.3.2 Rejillas perpendiculares

En el caso de las rejillas perpendiculares los resultados obtenidos son similares a los mostrados recientemente; se tienen autores que coinciden de buena manera con ciertas rejillas mientras que con otras no tienen similitud alguna, como autores que independiente de la rejilla obtiene resultados poco satisfactorios.

Como se muestra en la siguiente figura, Shafai bejestan y Shakouhirad (1997) entrega buen resultado al relacionarse con la rejilla N°7, teniendo valores muy similares a los obtenidos en laboratorio.

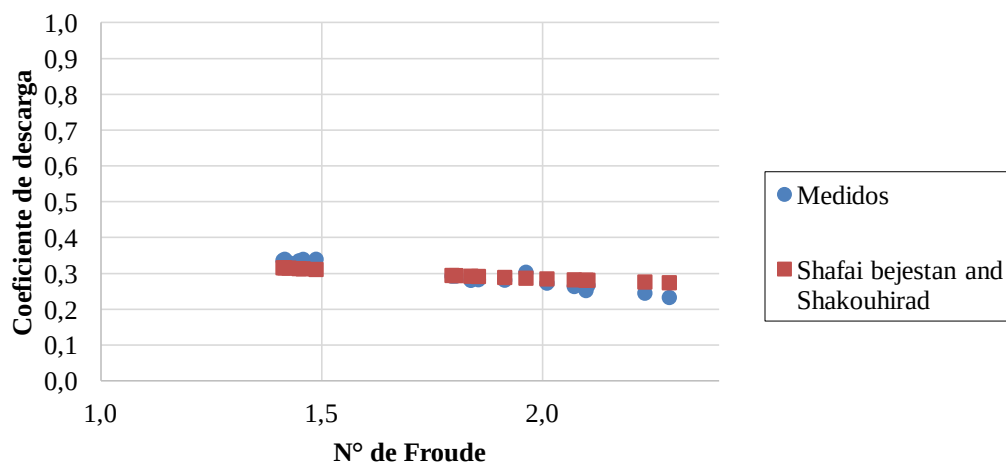


Figura 7.15 Mediciones v/s Shafai bejestan y Shakouhirad, rejilla N°7

Por otro lado, en el resto de las rejillas se tienen resultados similares a los obtenidos con la rejilla N°4 mostrados en la Figura 7.16, donde los autores estudiados no obtienen similitudes con los resultados medidos. En dicha figura se comparan los resultados obtenidos en la rejilla N°4 junto con los autores Shafaibejistan y Shakouhirad (1997) y Subramanya (2009), donde se puede ver que uno de estos subestima los valores y otro los sobrestima.

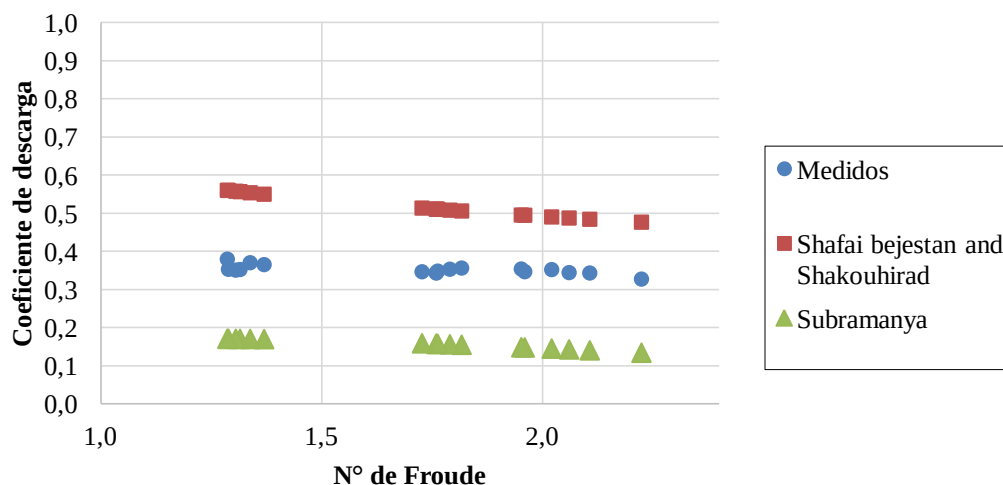


Figura 7.16 Mediciones v/s Shafaibejistan y Shakouhirad, y Subramanya, rejilla N°4

Adicionalmente, con la rejilla N°8 es posible ver que estos mismos autores obtienen malos resultados para otras rejillas. La siguiente figura muestra la comparación de los resultados obtenidos en laboratorio para la rejilla N°8 y los obtenidos por Shafaibejistan y Shakouhirad (1997).

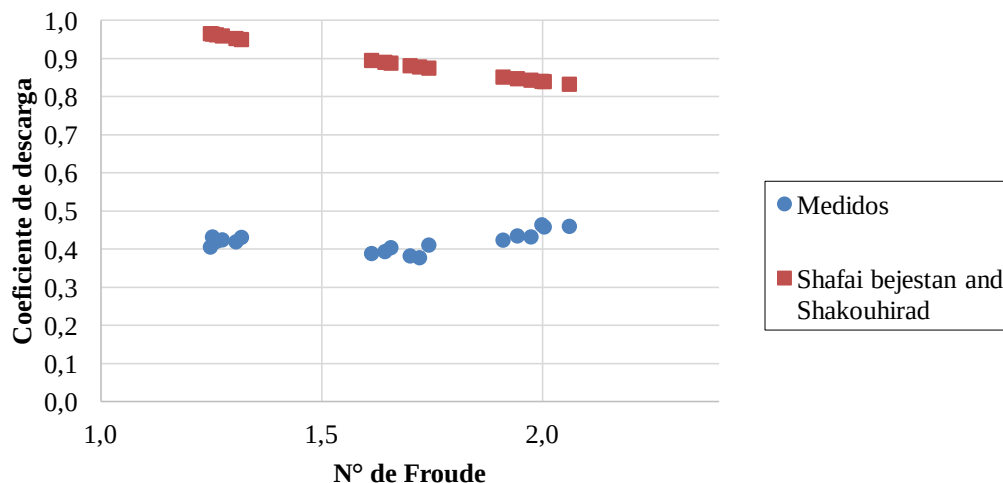


Figura 7.17 Mediciones v/s Shafaibejistan y Shakouhirad, rejilla N°8

Debido a las bajas similitudes obtenidas al comparar los resultados de las mediciones en laboratorio con los propuestos por estos autores, se analizan los resultados a obtener con las demás ecuaciones propuestas (independiente del tipo de flujo y la rejilla), esperando encontrar mayores similitudes.

Se obtiene las siguientes diferencias porcentuales promedio al aplicar las ecuaciones para todas las rejillas por igual:

Tabla 7.3 Diferencias porcentuales obtenidos con autores

Autor	Tipo de flujo	Tipo rejilla	Otra condición	Diferencia porcentual media [%]
Nosedá	-	-	-	78
Subramanya y Shukla	A1	-	-	31
Shafai bejestan y Shakouhirad	-	-	-	67
Ghosh y Ahmad	-	Paralela	-	44
Subramanya	A1	Paralela	Inclinada	31
	B1			92
	A1		Horizontal	18
	A3			25
	B1	Perpendicular	-	32
	A1			13
	B1			59
Zagade	A1	Paralela	-	18
	B1			18
	A1	Perpendicular	-	13
	B1			141

Donde se puede ver que las ecuaciones que entregan los peores resultados son:

- Zagade para rejillas perpendiculares con un tipo de flujo B1, con un 141% de diferencia.
- Subramanya para rejillas paralelas inclinada con un tipo de flujo B1, con un 92% de diferencia.
- Nosedá, el cual no especifica los tipos de flujo ni rejilla, con un 78% de diferencia.

Por otro lado, los autores que obtienen mejores resultados son los siguientes:

- Zagade y Subramanya (ambos presentan la misma ecuación), con la ecuación para rejillas perpendicular en tipo de flujo A1, con un 13% de diferencia.
- Zagade para rejillas paralelas, obteniendo un 18% de diferencia en ecuaciones para tipo de flujo A1 y B1.
- Subramanya para rejillas paralelas horizontal en flujo A1, con un 18% de diferencia.

Se menciona también, que para el caso de Zagade y la ecuación (para rejillas perpendiculares) con que se obtiene un 13% de diferencia media, presenta una adaptación mayor en las rejillas paralelas, ya que al separar esta diferencia en rejillas perpendiculares y paralelas se obtienen inconsistencias, debido a que la diferencia al considerar únicamente rejillas perpendiculares sube a un 14%. Por otro lado, al utilizar la ecuación solamente en rejillas paralelas la diferencia disminuye a un 9%. Adicionalmente, al estudiar esta ecuación es posible observar que la alta similitud que se obtiene es producto de los parámetros de la ecuación, ya que ésta consiste en una constante más ciertos factores dependientes de la geometría de la rejilla, factores pequeños que hacen variar muy poco el resultado al aplicar esta ecuación. Producto de esto se tiene un resultado constante casi independiente de la rejilla que se utilice, generando esta pequeña diferencia ya que esta constante se ubica muy cerca al promedio del coeficiente de descarga obtenido para el total de las rejillas.

Estos resultados dejan al descubierto la alta diferencia que existe en estimaciones para calcular el coeficiente de descarga, obteniendo bajas similitudes entre autores y baja representación de los resultados por las ecuaciones específicas para distintos flujos y tipos de rejillas. Además, algunos autores estiman el coeficiente de descarga en función de las condiciones de flujo, otros únicamente en función de la geometría de la rejilla y sólo unos pocos estiman este coeficiente considerando tanto geometría de la rejilla como condiciones de flujo. Según lo observado en los resultados, el coeficiente de descarga depende tanto de la geometría propia de la rejilla como de las condiciones de flujo.

Se destaca también que no se conoce las condiciones adicionales en la que fueron obtenidas estas expresiones, ya sea ancho del canal, altura de agua, caudal utilizado, o las propiedades de la rejilla tales como razón de área, largo, separación y ancho orificios, entre otros.

Finalmente se recomienda que pese a la diferencias con los autores, utilizar los coeficientes de descarga obtenidos en el laboratorio para las distintas rejillas, ya que al ser obtenidas para cada una de las rejillas y en el mismo canal que se utilizaran normalmente da mayor confianza que utilizar ecuaciones determinadas bajo distintas condiciones y parámetros.

7.2.4 Análisis de sensibilidad

Con el fin de estudiar los efectos de las variaciones superficiales del flujo y los posibles errores existentes en las mediciones o error humano, se realiza un análisis de sensibilidad de las alturas medidas, para esto se estudia el efecto de un cambio de ± 3 [mm] tanto de la altura inicial (h_1) como final (h_2), simulando de esta forma los errores mencionados y se analizan las consecuencias de esto sobre el coeficiente de descarga.

Con el fin de no extender el estudio, se desarrolla el análisis sobre una rejilla paralela (Rejilla N°1) y perpendicular (Rejilla N°11) a elección. Esto debido a que la ecuación utilizada para el coeficiente de descarga es distinta en cada caso.

Para el caso de la rejilla paralela, los resultados obtenidos son los siguientes:

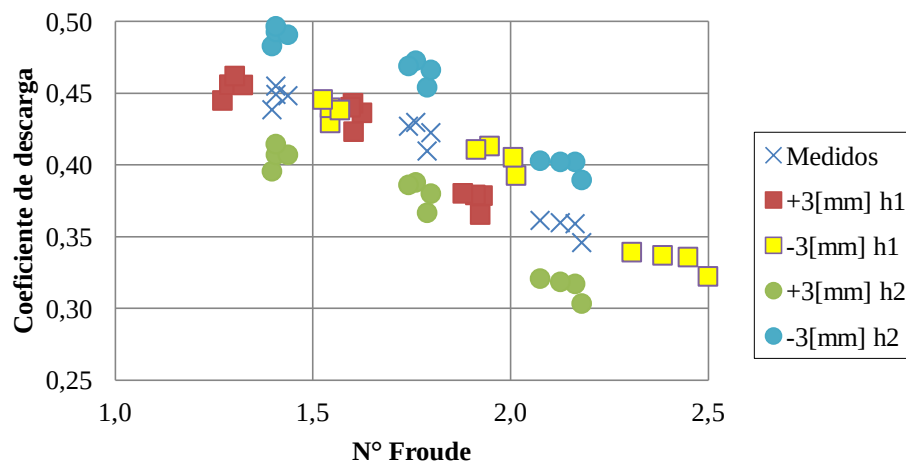


Figura 7.18 Análisis de sensibilidad rejilla paralela

Mientras que para la rejilla perpendicular se obtiene lo siguiente:

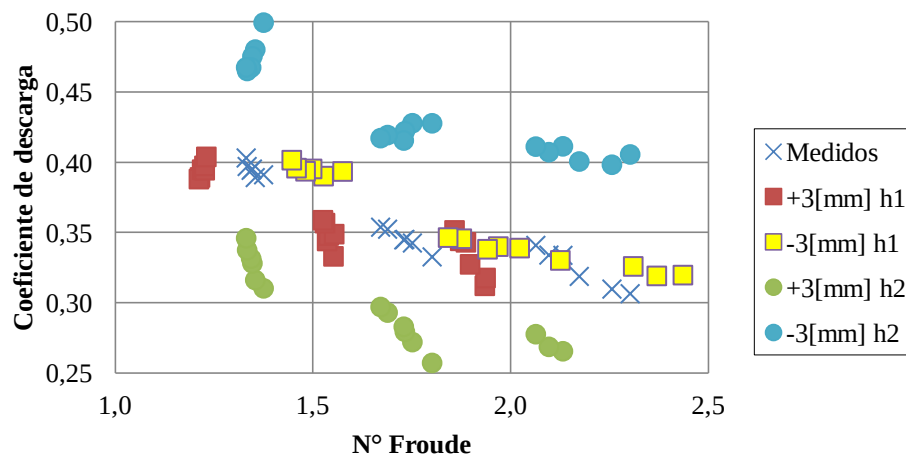


Figura 7.19 Análisis de sensibilidad rejilla perpendicular

En estos gráficos es posible ver que para el caso de la rejilla perpendicular una variación de +3 [mm] o -3[mm] tiene efectos mayores sobre el cálculo del coeficiente de descarga, esto principalmente al tener esta variación sobre la altura final de agua en la rejilla. El cambio del coeficiente de descarga al variar la altura inicial es menos significativo en ambos casos, este fenómeno se debe en parte a que la altura final de agua es bastante menor a la inicial, por lo que una variación de 3[mm] representa un gran porcentaje de variación de esta altura.

Con el fin de entender mejor como afectan estas variaciones sobre el coeficiente de descarga, en las siguientes figuras se puede ver la variación porcentual del coeficiente de descarga en cada uno de estos casos:

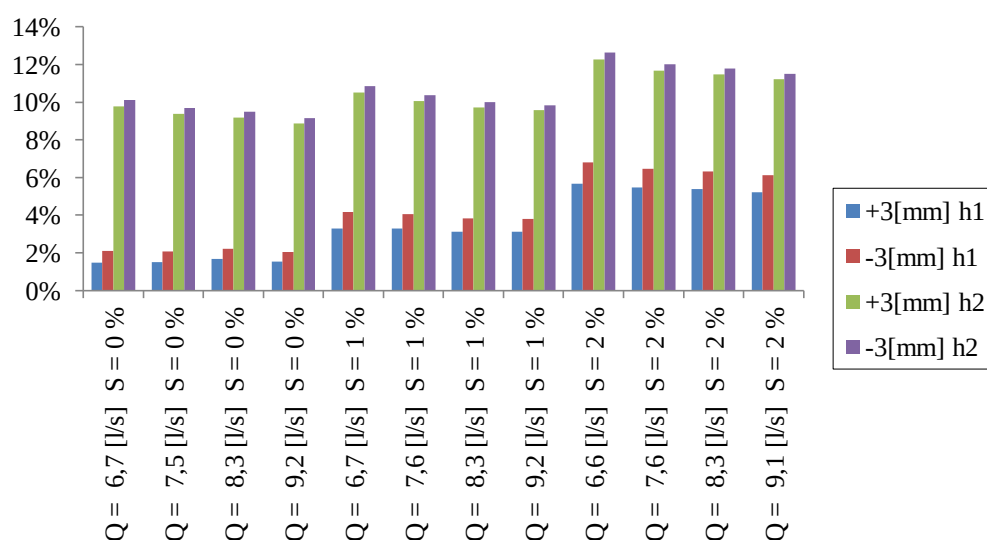


Figura 7.20 Variación porcentual del coeficiente de descarga para rejilla paralela

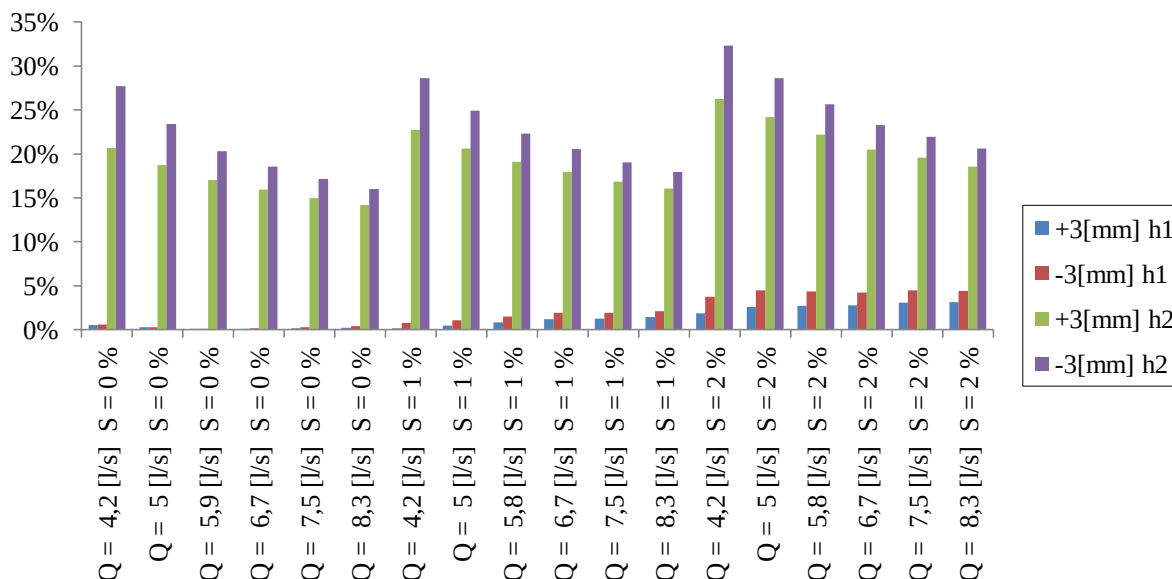


Figura 7.21 Variación porcentual del coeficiente de descarga para rejilla perpendicular

Observando estos gráficos es posible notar que la variación de la altura final es más significativa para ambos casos, pero las variaciones del coeficiente de descarga llegan a ser tres veces superiores en el caso de rejillas perpendiculares, llegando a valores cercanos al 30% como máximo. Por otro lado, es posible ver el efecto de la pendiente y de la variación de caudal, teniendo en ambas rejillas que al aumentar la pendiente las variaciones son mayores y por otro lado al aumentar el caudal las variaciones disminuyen.

Finalmente es posible observar que una variación negativa de la altura incide de mayor manera en el coeficiente de descarga. También se destaca que todas estas variaciones afectan en mayor magnitud al coeficiente de descarga de rejillas perpendiculares.

Estos resultados muestran principalmente que se debe tener sumo cuidado al medir la altura final sobre la rejilla, ya que mínimas variaciones en este valor (como fue el caso estudiado de 3 [mm]), generan grandes variaciones al momento de obtener el coeficiente de descarga.

En la sección Anexos 13.3.4 es posible ver mayor detalle de los resultados obtenidos durante este análisis de sensibilidad.

8. DESCARGA DE CAUDAL EN RÉGIMEN SUPERCRÍTICO

Se estudia la capacidad de descarga de caudal de las distintas rejillas en régimen supercrítico. El estudio únicamente del régimen supercrítico se debe a que es uno de los tipos de flujo que se presenta con mayor frecuencia y se obtiene fácilmente en laboratorio sin tener que depender de muchas modificaciones adicionales al canal que aumentarían las variables a considerar. Para esto se realizan distintas mediciones variando el caudal entregado por la bomba y la pendiente del canal.

Se realizan mediciones para dos rejillas paralelas y dos rejillas perpendiculares, con pendientes de 0, 1.5 y 3% y caudales de 100, 200, 300, 400, 500 y 570 [l/min], donde este último representa el máximo entregado por la bomba. Adicionalmente, se mide para el resto de las rejillas, pero únicamente en pendiente 1.5%.

8.1 Rejillas paralelas al flujo

Las rejillas N°1 y N°2 tienen un largo de 20 [cm] cada una, pero se diferencian en el ancho de la abertura, donde tienen un ancho de 1 y 0.5 [cm] respectivamente, lo que genera un área total de abertura de 100 y 50 [cm²] en cada una.

Los resultados se muestran gráficamente en la Figura 8.1. En estos resultados se puede apreciar lo siguiente:

- A menor pendiente se tiene una mayor descarga de caudal mediante la rejilla.
- En rejillas paralelas no es posible generar una descarga total del caudal debido a que éstas no interceptan el total del caudal.
- Sobre 5 [l/s] se tiene una disminución del porcentaje de caudal descargado al aumentar el caudal.

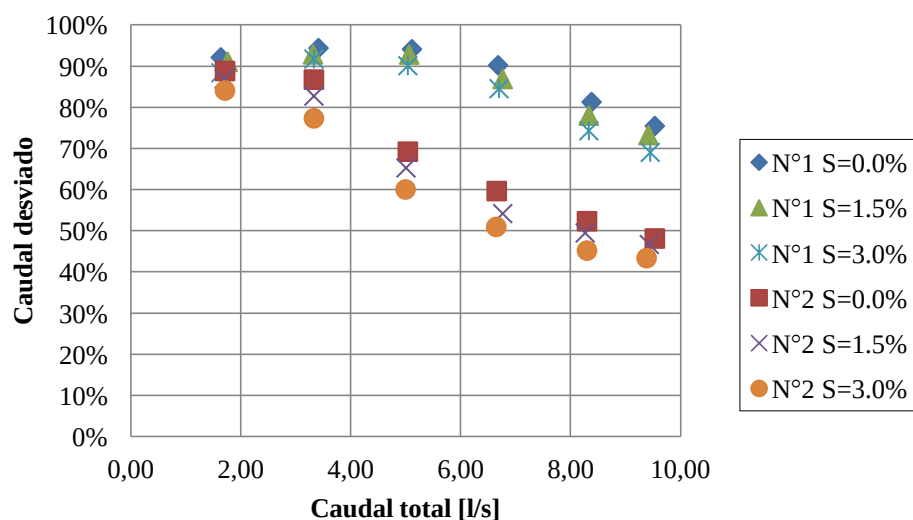


Figura 8.1 Porcentaje de caudal descargado en rejillas N°1 y 2

Analizando los resultados obtenidos en ambas rejillas, es posible ver que a mayor área total de abertura se obtienen mayores porcentajes de caudal desviado. En este caso la rejilla N°1 cuenta con el doble de área total de aberturas que la rejilla N°2, y tiene porcentajes de caudal desviado un 30% mayor en gran parte de los casos.

Al comparar las zonas de bajo caudal en ambas rejillas se obtienen diferencias significativas, como en la rejilla N°1 donde se tiene un aumento del caudal descargado al aumentar el caudal. Por otro lado, en la rejilla N°2 en esta zona se genera una disminución del caudal descargado, pero en una razón bastante menor que la existente luego de los 4 [l/s]. Este fenómeno se produce ya que la rejilla paralela no intercepta el flujo totalmente, desviando gran parte de este caudal, pero dejando pasar cierto porcentaje. Al aumentar el caudal la rejilla desvía más caudal pero paralelamente sigue pasando una cantidad de caudal similar a caudales menores, es por esto que en porcentaje se tiene un aumento del caudal desviado. Este fenómeno se nota mayormente para el caso de abertura de ancho 1 [cm], no siendo tan apreciable para el caso de ancho 0.5 [cm].

Finalmente, se comparan los resultados obtenidos para las tres rejillas paralelas existentes (N°1, N°2 y N°3) con pendiente de 1.5%, los cuales se muestran en la Figura 8.2. En este gráfico es posible apreciar que para la rejilla N°3 se obtiene un comportamiento similar al de la rejilla N°1, donde se tiene un aumento del caudal desviado en la primera parte del gráfico. Por otro lado, se aprecia que para la rejilla N°1 y N°3, donde ambas tienen un área total de aberturas de 100 [cm²], se tienen porcentajes de descarga mayores a los obtenidos en la rejilla N°2, donde el área total de aberturas es de 50 [cm²], es decir, exactamente la mitad de área.

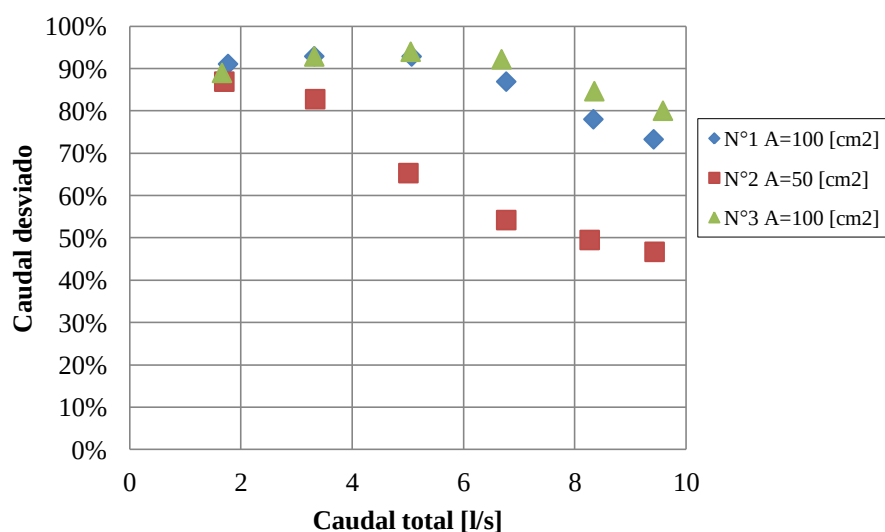


Figura 8.2 Porcentaje de caudal descargado en rejillas paralelas para pendiente 1.5%

Adicionalmente en la Figura 8.3 se presenta un gráfico del caudal desviado en función de la altura de escurrimiento previo a la rejilla, donde se tiene que una mayor altura (la cual está relacionada en este caso por un aumento de caudal) trae consigo un porcentaje de caudal desviado menor.

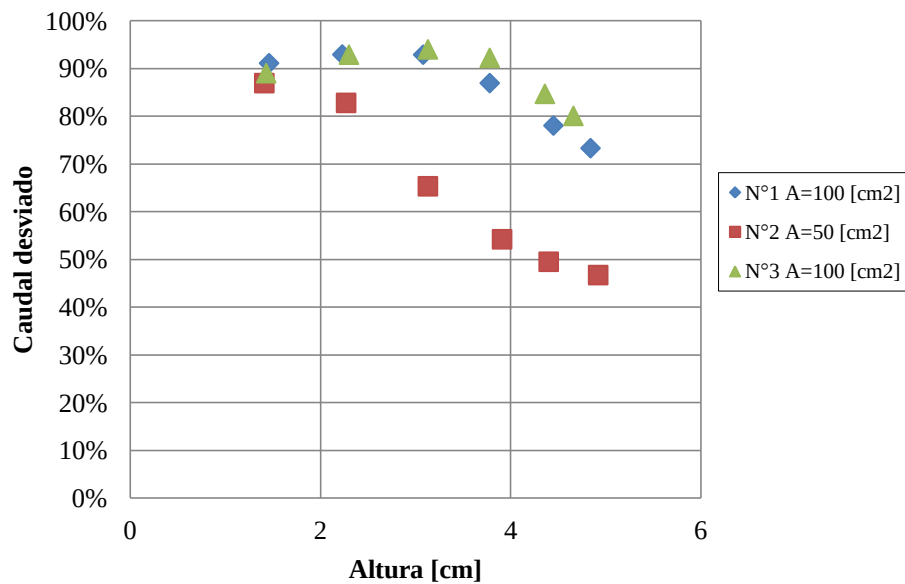


Figura 8.3 Caudal descargado en función de la altura en rejillas paralelas

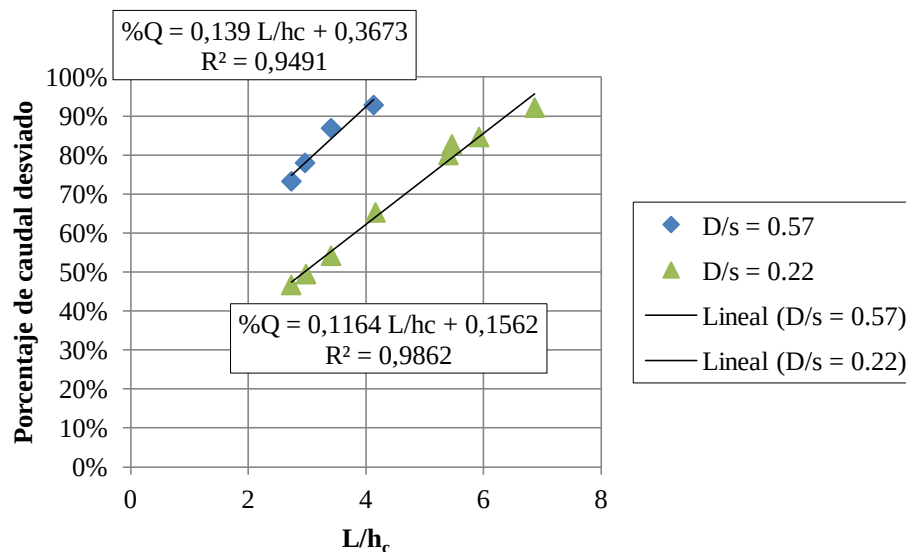


Figura 8.4 Porcentaje de caudal descargado en rejillas paralela con $D/s = 0.57$ y 0.20 , para pendiente 1.5%

8.2 Rejillas perpendiculares al flujo

Para las rejillas N°6 y N°11, las cuales tienen un largo de 41 y 42.5 [cm] respectivamente, con anchos de abertura de 1 y 0.5 [cm], pero con distinto espaciamiento de aberturas, se genera finalmente que ambas rejillas tengan un área total de aberturas de 143 [cm²].

Los resultados se muestran gráficamente en la Figura 8.5. En estos resultados se puede apreciar lo siguiente:

- A menor pendiente se tiene una mayor descarga de caudal.
- En rejillas paralela se obtiene una descarga total de caudal para caudales bajos, debido a que este tipo de rejillas intercepta el total de flujo.
- Se tiene una tendencia en todo momento de disminución del porcentaje de caudal descargado al aumentar el caudal total.
- Se tiene una clara similitud de los resultados obtenidos para los casos de pendiente igual.
- En baja pendiente es posible obtener la descarga total del caudal debido a la baja velocidad del flujo y que la rejilla perpendicular a diferencia de la paralela, intercepta todo el ancho del canal.

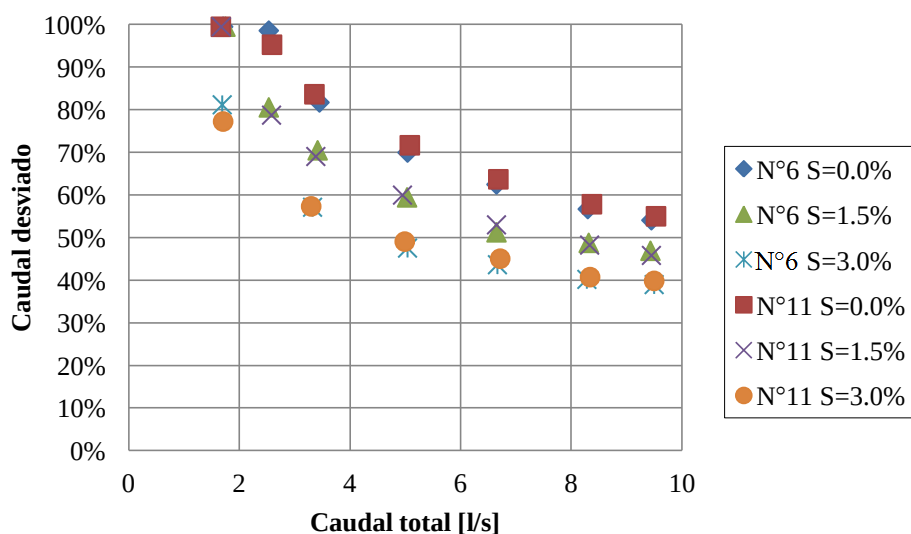


Figura 8.5 Porcentaje de caudal descargado en rejillas N°6 y 11

Con estos resultados se puede apreciar que el porcentaje de caudal desviado depende principalmente del total de área de aberturas, ya que estas rejillas tienen la misma cantidad de área de aberturas siendo distribuido de distinta manera, pero sin embargo los resultados son similares para ambas rejillas.

Adicionalmente es posible obtener el porcentaje de caudal desviado en función de la relación entre largo rejilla y altura crítica, estos resultados se pueden ver en el siguiente gráfico:

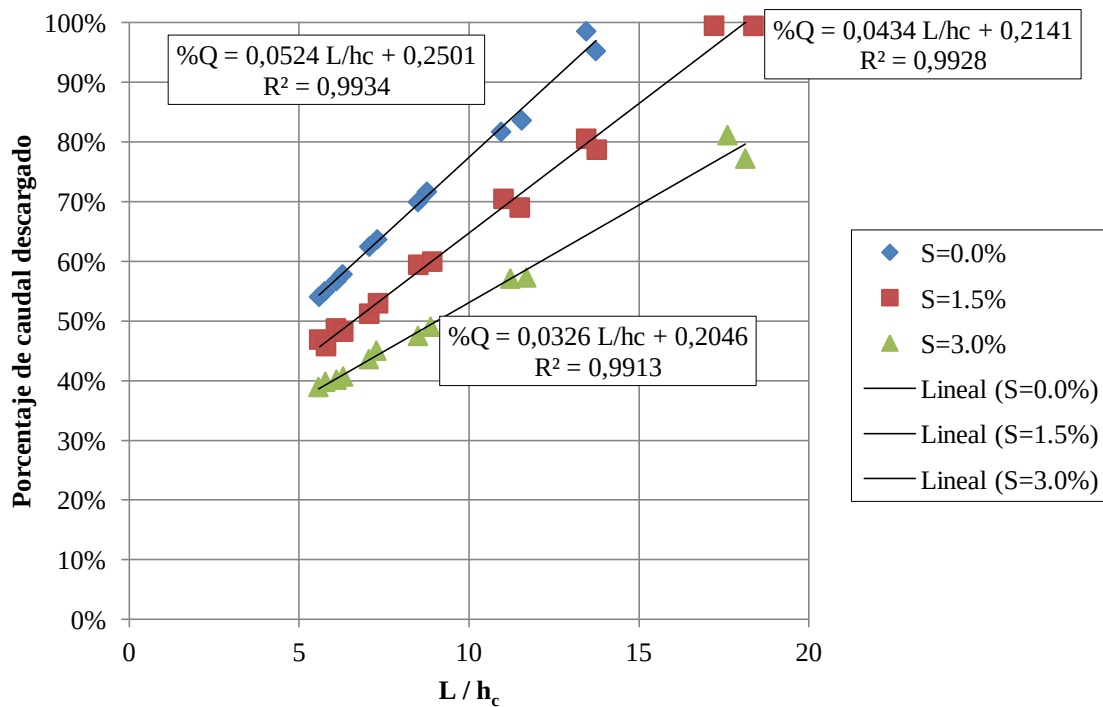


Figura 8.6 Porcentaje de caudal descargado en rejillas N°6 y 11 con $D/s = 0.33$ y pendientes distintas

Donde es posible apreciar una clara correlación para cada una de las distintas pendientes, pues se tiene un aumento del porcentaje de caudal descargado al tener menor pendiente y por otro lado se tiene mayor porcentaje de caudal descargado al aumentar la relación de largo de rejilla sobre altura crítica. En estos resultados se debe mencionar que ambas rejillas poseen una relación $D/s = 0.33$.

Finalmente, se tienen los resultados para el resto de las rejillas perpendiculares para las cuales se mide el caudal desviado para una pendiente de 1.5%.

8.2.1 Rejillas perpendiculares de orificios rectangulares

En el caso de las rejillas perpendiculares de orificios rectangulares (desde la N°4 a la N°11) donde el área de aberturas va desde 286 [cm²] la más grande hasta 32.5 [cm²] la de menores cantidad de aberturas. Estos resultados se presentan en el siguiente gráfico:

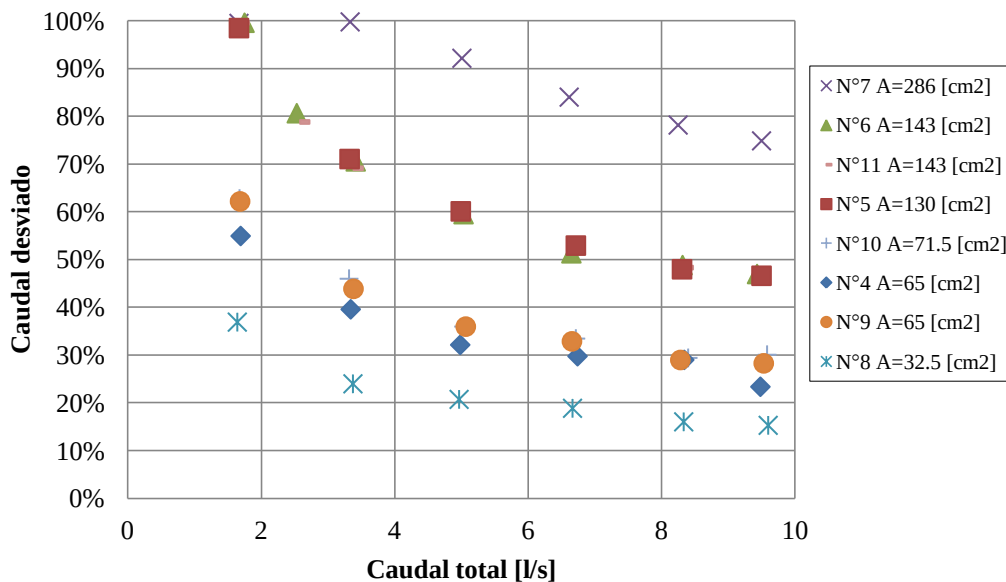


Figura 8.7 Porcentaje de caudal descargado en rejillas perpendiculares rectangulares para pendiente 1.5%

Donde se aprecia la misma tendencia mencionada para el caso de rejillas paralelas, donde a mayor área total de abertura, mayor porcentaje de caudal descargado se tiene. En estos resultados se obtienen descargas totales de caudal, para caudales pequeños en rejillas de más de 130 [cm²] de área de abertura. Se tienen descargas de un 80-90% para la rejilla con mayores aberturas y descargas de 10-20% para la rejilla más pequeña.

En el siguiente gráfico es posible ver el comportamiento de las rejillas según sus orificios y espaciamiento de éstos, donde para una pendiente de 1.5% y entre dos y cuatro rejillas para cada relación de D/s , se obtienen correlaciones mayores a 0.92 lo que representa de buena manera la dependencia de la relación D/s a la hora de determinar el porcentaje de caudal descargado por la rejilla.

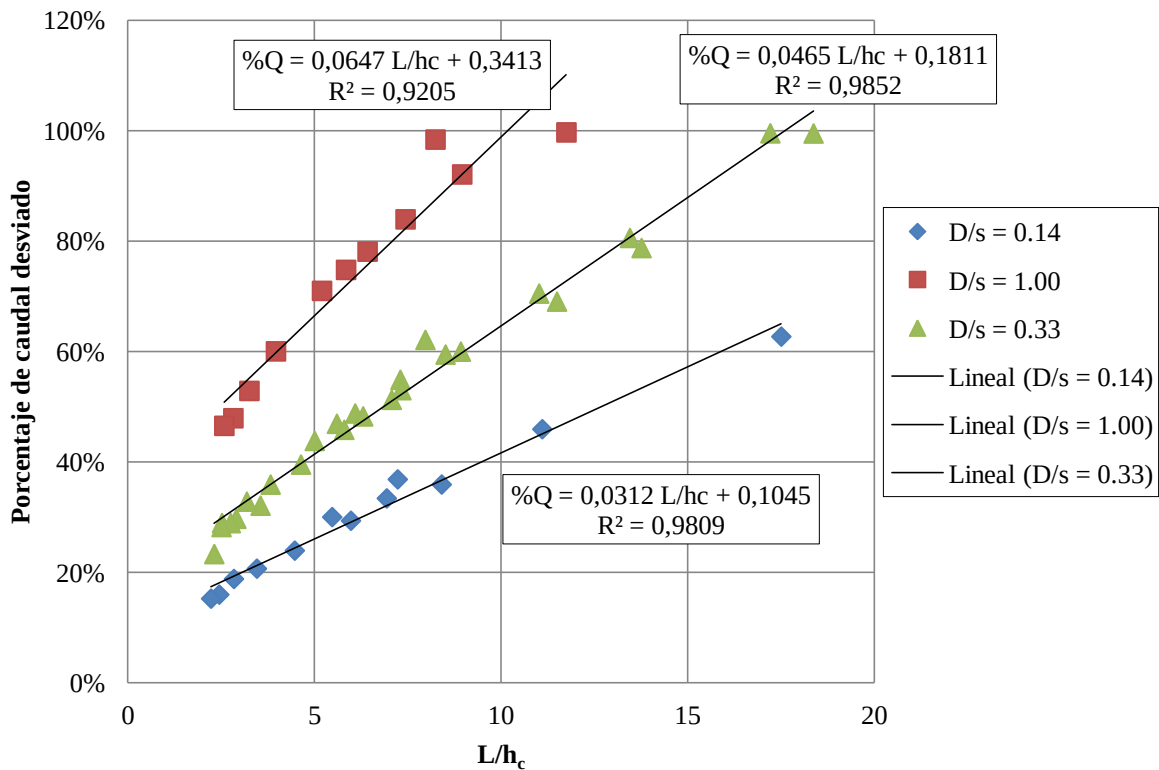


Figura 8.8 Porcentaje de caudal descargado en rejillas perpendiculares de orificios rectangulares con $D/s = 0.33, 0.14$ y 1.00 , para pendiente 1.5%

Se observa que para mayores relaciones de D/s el porcentaje de caudal descargado es mayor, junto también con un mayor aumento del caudal descargado al aumentar la relación L/h_c , en relación con rejillas de menor relación D/s . Adicionalmente es posible ver que mientras más larga sea la rejilla en relación a la altura crítica, se tiene un mayor porcentaje de caudal descargado.

8.2.2 Rejillas perpendiculares de orificios circulares

En el caso de las rejillas perpendiculares de orificios circulares (desde la N°12 a la N°15) donde el área de aberturas va desde 103.7 [cm²] la más grande hasta 31.4 [cm²] la de menores cantidad de aberturas. Estos resultados se presentan en el siguiente gráfico:

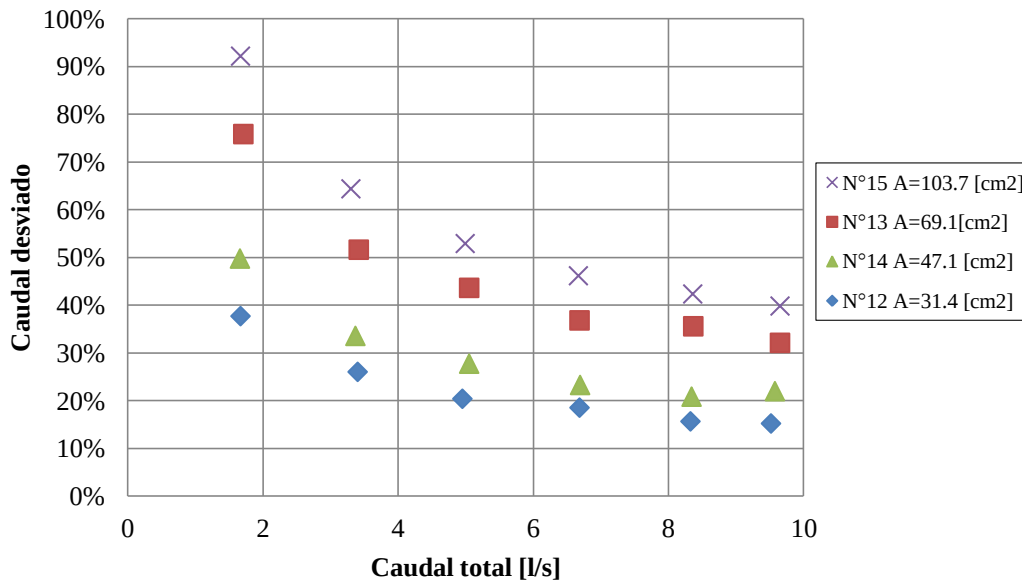


Figura 8.9 Porcentaje de caudal descargado en rejillas perpendiculares circulares para pendiente 1.5%

Se obtienen resultados similares a los anteriores, pero en este caso ninguna rejilla logra una descarga total de caudal ya que poseen menores áreas de abertura que las rejillas anteriores.

Las curvas obtenidas tienen el mismo comportamiento que las anteriores, con una disminución del porcentaje descargado al aumentar el caudal. Además, es posible ver que para la rejilla N°12, la cual tiene un área de abertura de 31.4 [cm²] se obtiene una curva muy similar a la obtenida con la rejilla N°8 (de orificios rectangulares), la cual tiene un área de abertura de 32.5 [cm²]. Estos resultados muestran nuevamente que el principal factor que define el caudal descargado es el área de abertura, ya que para distintos tipos de orificios (orificios rectangulares de 0.5 [cm] y orificios circulares de diámetro 1 [cm]), pero áreas similares, los resultados obtenidos son similares.

Al comparar los resultados según la relación D/s , los cuales se presentan en la siguiente figura, se obtienen diferencias respecto a los resultados anteriores, ya que en este caso las cuatro rejillas estudiadas poseen una relación $D/s = 1.0$, pero se observan dos tendencias claras: por un lado, se tiene una tendencia para las rejillas en la cual los orificios son de diámetro 2 [cm] y por otro lado para las rejillas que tienen diámetro 1 [cm].

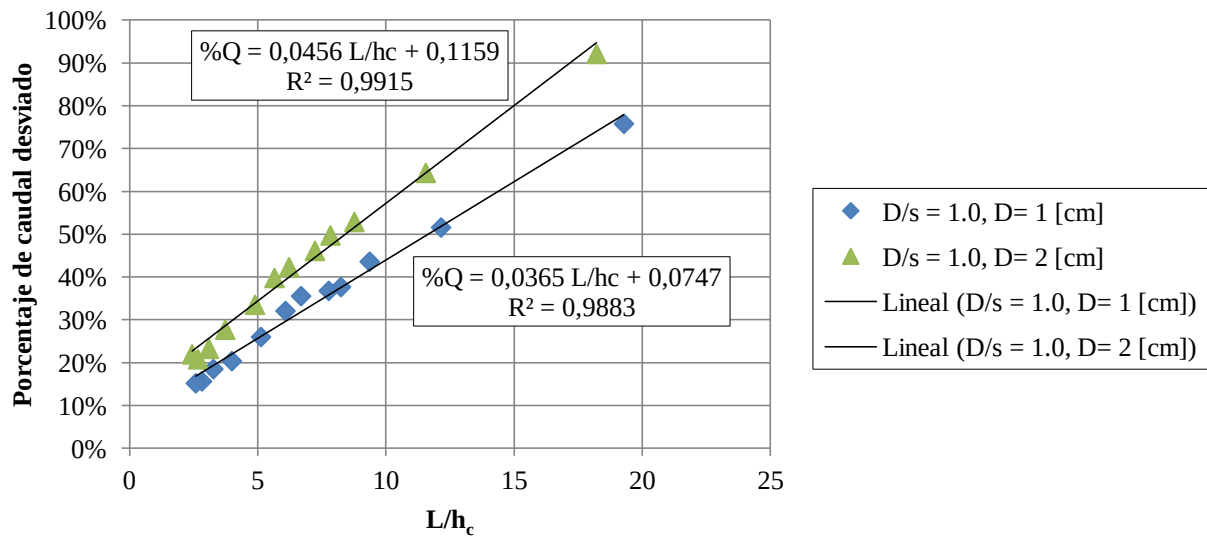


Figura 8.10 Porcentaje de caudal descargado en rejillas perpendiculares de orificios circulares con $D/s = 1.0$, orificios de diámetro 1 y 2 [cm] para pendiente 1.5%

Se observa que los porcentajes de caudales descargados para las rejillas con un diámetro mayor de los orificios son mayores que los de diámetro 1 [cm]. Las tendencias de crecimiento observadas son similares a las de los casos anteriores, pero con menores pendientes y porcentaje de caudal descargado que rejillas de orificios rectangulares de similar relación D/s . Finalmente se destaca los altos coeficientes de correlación obtenidos para cada tendencia, siendo ambos del orden de 0.99.

8.3 Comparación de porcentaje de descarga con diferentes autores

A continuación, se comparan los resultados obtenidos con los propuestos por distintos autores:

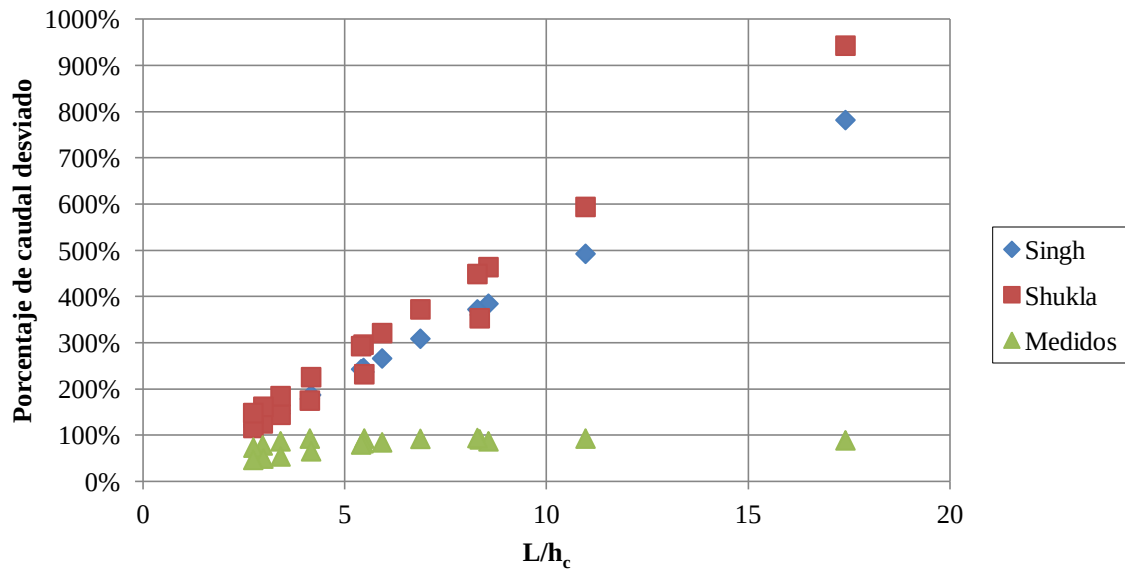


Figura 8.11 Comparando con autores para rejillas paralelas en flujo del tipo B1

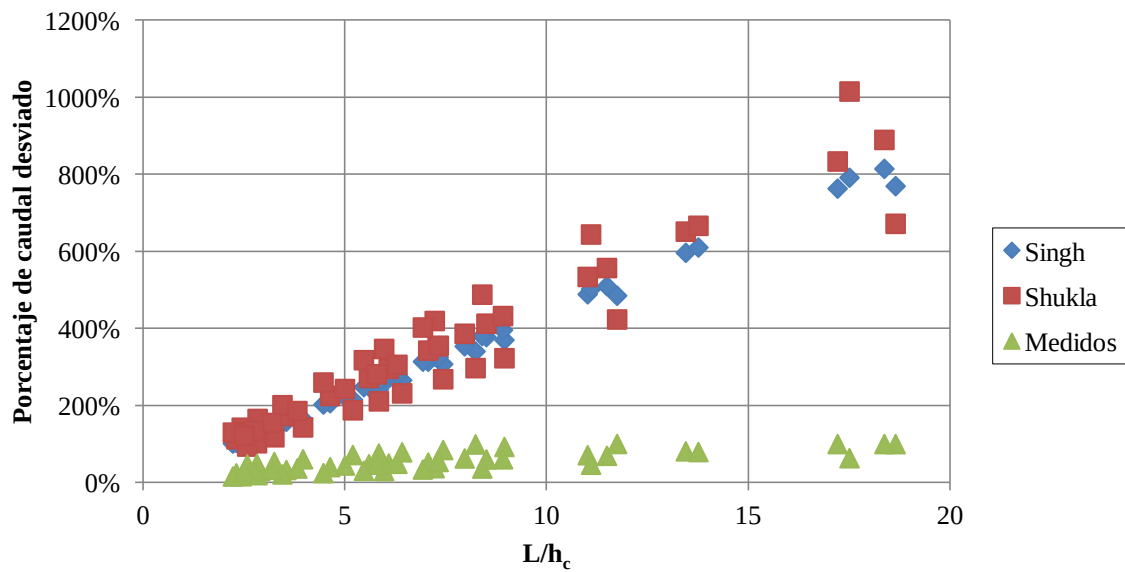


Figura 8.12 Comparando con autores para rejillas perpendiculares de orificios rectangulares en flujo del tipo B1

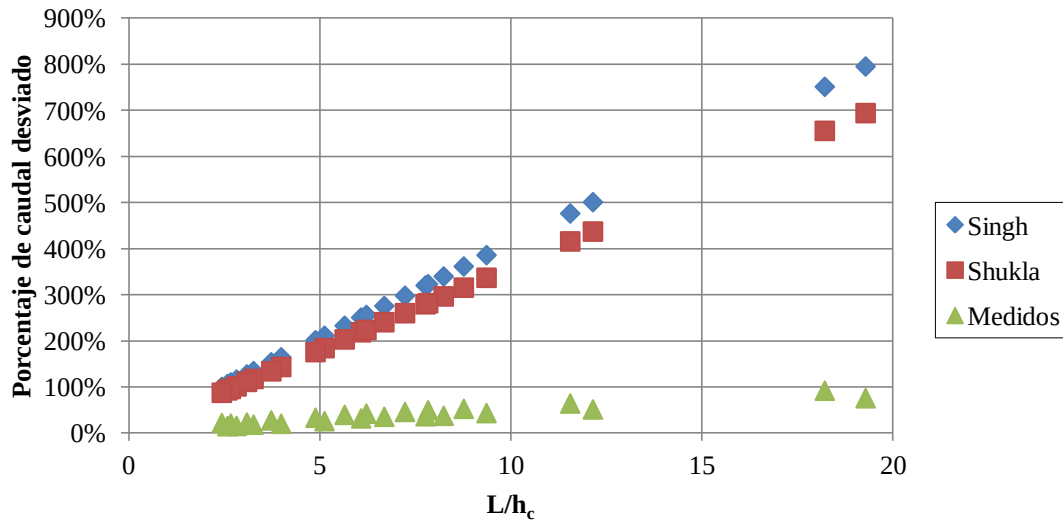


Figura 8.13 Comparando con autores para rejillas perpendiculares de orificios circulares en flujo del tipo B1

Donde es posible ver que para los tres tipos de rejillas analizadas los resultados son similares, donde las ecuaciones propuestas por Singh (1988) y Shukla (1987) se asemejan entre sí, pero no tienen parecido alguno con los resultados obtenidos en laboratorio. Los resultados obtenidos con las ecuaciones de dichos autores escapan de resultados físicos posibles, ya que se obtiene en casi todos los casos descargas de caudal superiores al 100%, llegando incluso a valores de 1000%.

Estas inconsistencias en los resultados pueden deberse a la base en la cual se realizan las mediciones, ya que ambos autores realizan sus experimentos en rejillas de relación $b/L = 2$, mientras que las utilizadas en esta ocasión se encuentran en el rango de 0.34 – 0.92, lo cual representa rejillas con un largo bastante mayor que el ancho. Esto genera un aumento de la relación L/h_c , la cual en las mediciones realizadas llega a valores de 20.0 como máximo, mientras que dichos autores generaron sus ecuaciones con experimentos donde esta relación no supera los 4.5.

Adicionalmente, la relación D/s de las rejillas utilizadas no supera la unidad, mientras que dichos autores poseen relaciones de hasta 5.5. También se debe mencionar que los experimentos de Shukla (1987) fueron realizados en rejillas horizontales y los de Singh (1988) para tres pendientes distintas, siendo estas últimas pendientes más de diez veces superior a la utilizada, sin embargo se cree que este factor no es el predominante de las diferencias, ya que ambos autores obtienen resultados similares sin importar mayormente la gran diferencia de pendientes.

En la sección de anexos, las Figura 13.23, Figura 13.24 y Figura 13.25 comparan los resultados obtenidos con la ecuación propuesta por Zagade (1987) donde se obtienen resultados similares a los recién presentados.

8.4 Comparación caudal descargado con caudal teórico

Utilizando los datos medidos en esta sección, se compara el caudal real descargado por la rejilla con el caudal teórico descargado por la rejilla utilizando las ecuaciones obtenidas en la sección 2.2.2 y los coeficientes de descarga obtenidos en la sección 7.2. Debido a que en la sección mencionada se obtuvieron coeficientes de descarga para pendientes de 0, 1 y 2%, se obtienen ecuaciones lineales del coeficiente de descarga en función del caudal para las pendientes de 1 y 2%, luego se considera el promedio de estos resultados (ya que se utilizan mediciones realizadas para un 1.5% de pendiente) para asignar el coeficiente de descarga a cada rejilla y caudal, dependencia que ya fue observada con anterioridad.

Los resultados obtenidos para rejillas paralelas y perpendiculares son los siguientes:

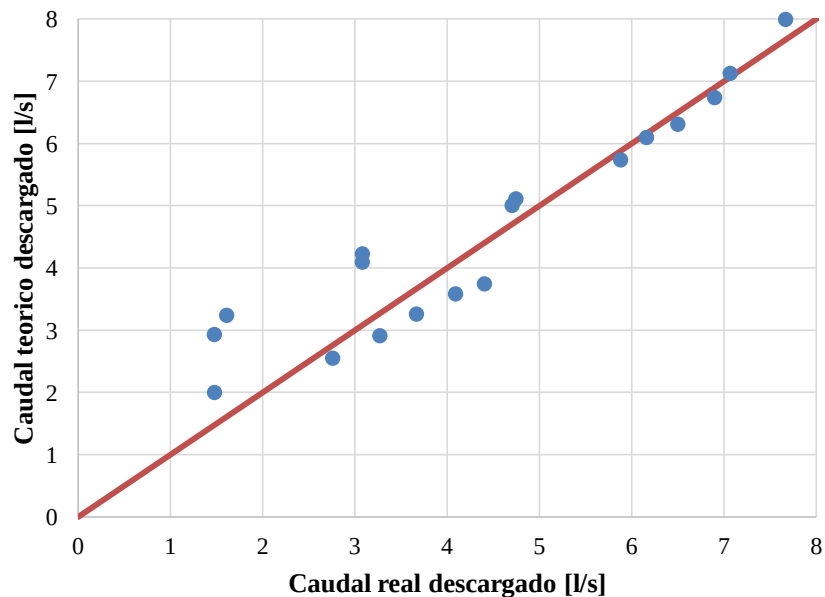


Figura 8.14 Q real descargado v/s Q teórico descargado en rejillas paralelas

Se observa que gran parte de los resultados concuerdan con la estimación teórica para el fenómeno, acercándose bastante a la línea de igualdad donde el caudal real descargado y caudal teórico descargado son el mismo, sin embargo, se tienen algunas anomalías principalmente para caudales más bajos. Revisando las mediciones presentes en el Anexo 13.3.7 es posible apreciar que estas mayores diferencias se obtienen en las primeras mediciones para cada rejilla, lo cual puede explicar parte de este error, ya que en las primeras mediciones (mediciones de caudal más bajo) es común que la rejilla no esté ahogada completamente y parte del flujo atraviese mediante los soportes longitudinales de la rejilla, no cumpliendo con esto los supuestos de la teoría donde dice que la rejilla debe estar ahogada.

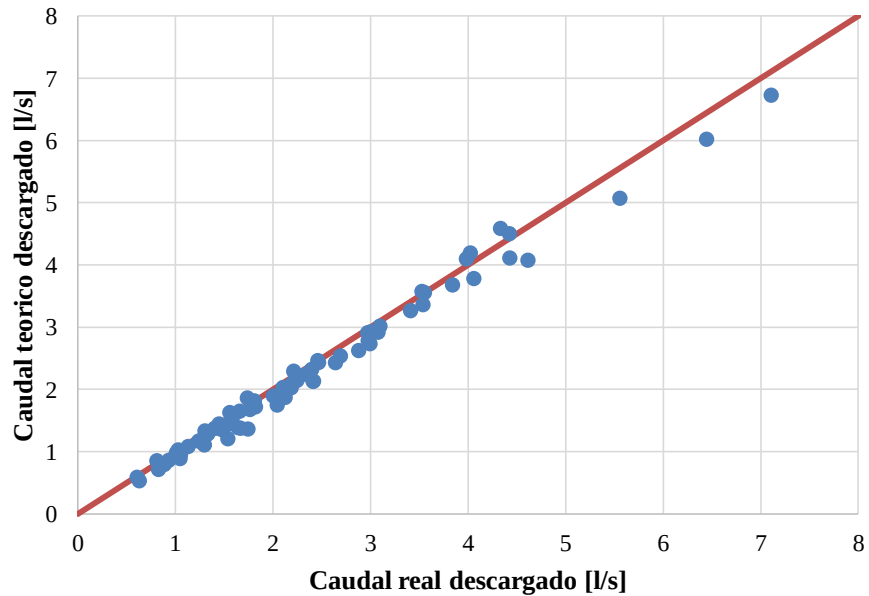


Figura 8.15 Q real descargado v/s Q teórico descargado en rejillas perpendiculares

En el caso de las rejillas perpendiculares, es posible observar que los resultados obtenidos se comportan según lo esperado en la literatura, obteniendo valores muy similares. Sin embargo, se tiene un leve aumento del caudal real descargado a medida que se tienen caudales mayores, generando esto una desviación respecto a la igualdad.

Para el caso de las rejillas perpendiculares no se observa el fenómeno de primeras mediciones anormales, esto es producto de que la rejilla perpendicular intercepta completamente el flujo, es por esto que, al tener el fenómeno completo, es decir, caudal descargado por la rejilla y caudal que continua por el canal, la rejilla siempre estará ahogada, fenómeno que no ocurre de igual manera en las rejillas paralelas.

9. ECUACIONES PROPUESTAS

A continuación se presentan las ecuaciones obtenidas en este trabajo para estimar el coeficiente de descarga y el porcentaje de caudal descargado con las rejillas.

9.1 Coeficiente de descarga

Para determinar ecuaciones que permitan obtener el coeficiente de descarga en función de ciertos parámetros, se realiza un ajuste por mínimos cuadrados mediante Excel, con el fin de obtener expresiones para los valores x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 y x_6 de la siguiente ecuación:

$$C_d = x_1 S + x_2 F_r + x_3 e + x_4 \frac{D}{S} + x_5 \frac{b}{L} + x_6$$

Para determinar que variables considerar en el ajuste por mínimos cuadrados, se revisaron cuales son las que se consideran con mayor frecuencia por los distintos autores estudiados, considerando también que cada una de estas variables y relaciones son adimensional, por lo que no incide en el sistema de unidades en que se evalué la ecuación.

9.1.1 Rejillas paralela

Para el caso de las rejillas paralelas, se obtienen los siguientes resultados al realizar un ajuste por mínimos cuadrados:

Tabla 9.1 Estadísticas de regresión en rejilla paralela para coeficiente de descarga

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,931
Coeficiente de determinación R^2	0,868
R^2 ajustado	0,825
Error típico	0,014
Observaciones	42

<i>Coeficientes</i>	
x_1	3,154
x_2	-0,177
x_3	0
x_4	-0,084
x_5	0,023
x_6	0,722

Donde es posible ver la correlación de éstos y el factor asignado a cada coeficiente, donde es posible ver que el x_3 correspondiente a la relación de abertura no es significativo para estimar el coeficiente de descarga en rejillas paralelas. La ecuación obtenida es la siguiente:

$$C_d = 3.154 S - 0.177 F_r - 0.084 \frac{D}{S} + 0.023 \frac{b}{L} + 0.722$$

A continuación es posible ver cómo se comporta esta ecuación en alguna rejilla:

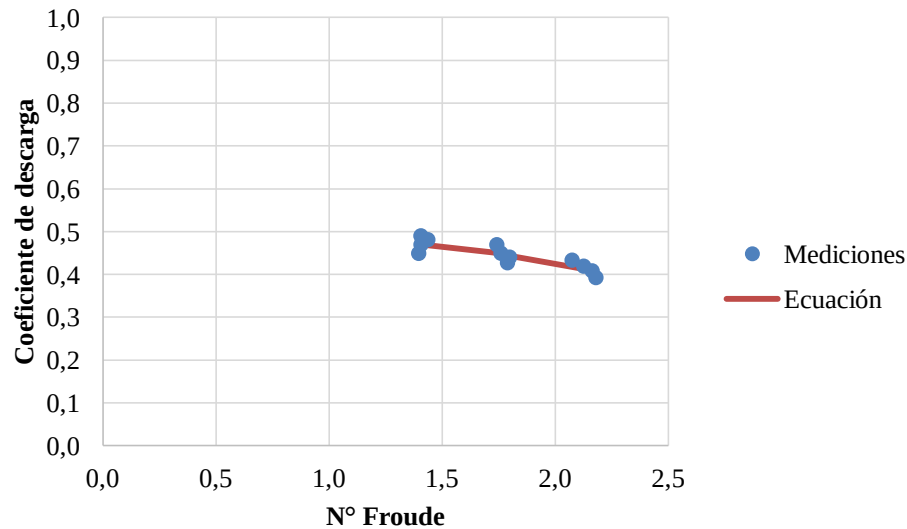


Figura 9.1 Ecuación propuesta para rejillas paralelas al flujo y mediciones de laboratorio, rejilla N° 3

9.1.2 Rejillas perpendiculares de orificios rectangulares

Para el caso de las rejillas perpendiculares de orificios rectangulares, se obtienen los siguientes resultados al realizar un ajuste por mínimos cuadrados:

Tabla 9.2 Estadísticas de regresión en rejilla perpendicular rectangular para coeficiente de descarga

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,844
Coeficiente de determinación R^2	0,713
R^2 ajustado	0,702
Error típico	0,026
Observaciones	144

<i>Coeficientes</i>	
x_1	0,822
x_2	-0,080
x_3	-0,924
x_4	0,287
x_5	0,112
x_6	0,530

Donde es posible ver la correlación de éstos y el factor asignado a cada coeficiente, donde es posible ver que en este caso el factor x_3 correspondiente a la relación de abertura si es significativo para estimar el coeficiente de descarga en rejillas perpendicular de orificios rectangulares. La ecuación obtenida es la siguiente:

$$C_d = 0.822 S - 0.08 F_r - 0.924 e + 0.287 \frac{D}{s} + 0.112 \frac{b}{L} + 0.53$$

A continuación es posible ver cómo se comporta esta ecuación en algunas rejillas:

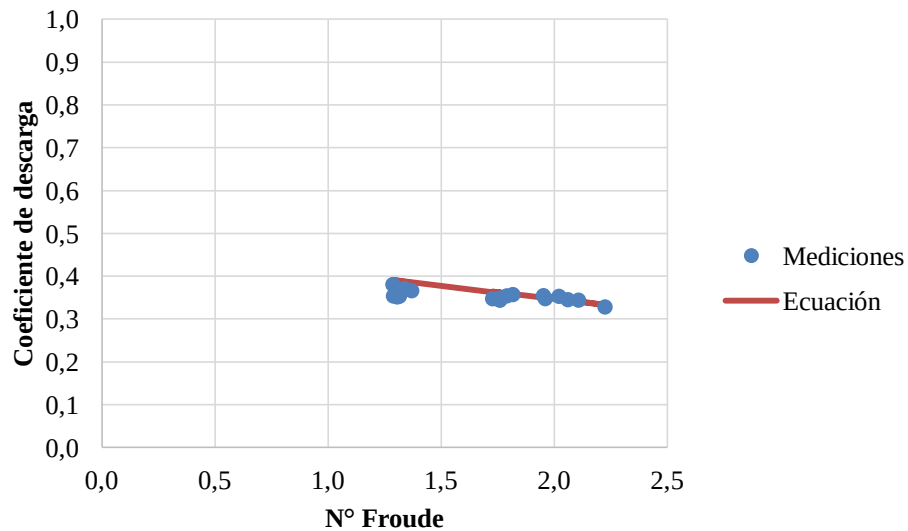


Figura 9.2 Ecuación propuesta para rejilla perpendicular rectangular y mediciones de laboratorio, rejilla N° 4

9.1.3 Rejillas perpendiculares de orificios circulares

Para el caso de las rejillas perpendiculares de orificios circulares, se obtienen los siguientes resultados al realizar un ajuste por mínimos cuadrados:

Tabla 9.3 Estadísticas de regresión en rejilla perpendicular circular para coeficiente de descarga

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,780
Coeficiente de determinación R^2	0,608
R^2 ajustado	0,570
Error típico	0,025
Observaciones	72

<i>Coeficientes</i>	
x_1	-2,042
x_2	0,004
x_3	-0,815
x_4	0
x_5	0,018
x_6	0,534

Donde es posible ver la correlación de éstos y el factor asignado a cada coeficiente, donde es posible ver que el x_4 correspondiente a la relación D/s no es significativo, esto producto de que únicamente se cuentan con rejillas con relación $D/s = 1$. La ecuación obtenida es la siguiente:

$$C_d = -2.042 S + 0.004 F_r - 0.815 e + 0.018 \frac{b}{L} + 0.534$$

A continuación es posible ver cómo se comporta esta ecuación en algunas rejillas:

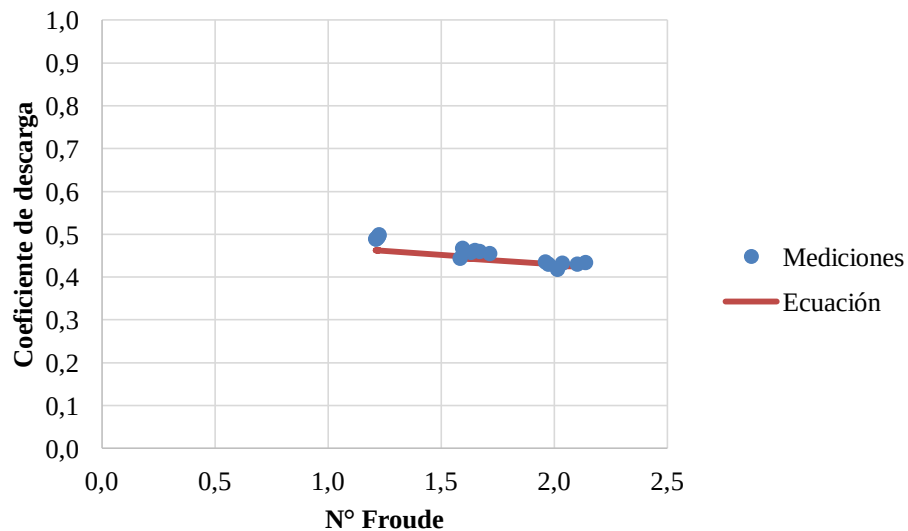


Figura 9.3 Ecuación propuesta para rejilla perpendicular rectangular y mediciones de laboratorio, rejilla N° 13

9.2 Porcentaje de caudal descargado

Luego de observar los resultados obtenidos en las mediciones de caudal descargado se obtienen las siguientes ecuaciones para determinar este porcentaje en distintas rejillas, las cuales ya fueron mostradas anteriormente junto con los resultados.

Tabla 9.4 Ecuaciones obtenidas en laboratorio

Tipo de Rejilla	D/s	Pendiente	Ecuación	r^2
Paralela	0.57	1.5%	$\%Q = 0,2021 L/h_c + 0,1800$	1.000
Paralela	0.20	1.5%	$\%Q = 0,1335 L/h_c + 0,0961$	0.998
Paralela	0.57	0.0%	$\%Q = 0,2010 L/h_c + 0,2132$	0.995
Paralela	0.20	0.0%	$\%Q = 0,1395 L/h_c + 0,1092$	0.999
Paralela	0.57	3.0%	$\%Q = 0,2204 L/h_c + 0,0892$	1.000
Paralela	0.20	3.0%	$\%Q = 0,1263 L/h_c + 0,0787$	0.998
Perpendicular	0.33	0.0%	$\%Q = 0,0524 L/h_c + 0,2501$	0.993
Perpendicular	0.33	1.5%	$\%Q = 0,0434 L/h_c + 0,2141$	0.993
Perpendicular	0.33	3.0%	$\%Q = 0,0326 L/h_c + 0,2046$	0.991
Perpendicular	1.00	1.5%	$\%Q = 0,0647 L/h_c + 0,3413$	0.920
Perpendicular	0.33	1.5%	$\%Q = 0,0465 L/h_c + 0,1811$	0.985
Perpendicular	0.14	1.5%	$\%Q = 0,0312 L/h_c + 0,1045$	0.981
Circular (D=2)	1.00	1.5%	$\%Q = 0,0456 L/h_c + 0,1159$	0.992
Circular (D=1)	1.00	1.5%	$\%Q = 0,0365 L/h_c + 0,0747$	0.988
Circular (D=2)	1.00	0.0%	$\%Q = 0,0816 L/h_c + 0,0749$	0.998
Circular (D=1)	1.00	0.0%	$\%Q = 0,0664 L/h_c + 0,0114$	0.989
Circular (D=2)	1.00	3.0%	$\%Q = 0,0489 L/h_c + 0,0543$	0.996
Circular (D=1)	1.00	3.0%	$\%Q = 0,0286 L/h_c + 0,0729$	0.999

Utilizando esta información se realiza un ajuste por mínimos cuadrados mediante Excel, con el fin de obtener expresiones para los valores A y B de la siguiente ecuación:

$$\%Q = A \cdot \frac{L}{h_c} + B$$

9.2.1 Rejillas paralelas

Para el caso de las rejillas paralelas, se cuenta con información para dos relaciones D/s y tres pendientes distintas:

Tabla 9.5 Parámetros de entrada rejilla paralela

D/s	S	A	B
0,57	1,50%	0,2021	0,18
0,2	1,50%	0,1335	0,0961
0,57	0,00%	0,201	0,2132
0,57	3,00%	0,2204	0,0892
0,2	0,00%	0,1395	0,1092
0,2	3,00%	0,1263	0,0787

Al aplicar un ajuste de mínimos cuadrados de los parámetros A y B en función de la pendiente y relación D/s se obtiene lo siguiente:

Tabla 9.6 Estadísticas de regresión en rejilla paralela para descarga de caudal

<i>Estadísticas de la regresión</i>	A	B
Coeficiente de correlación múltiple	0,982	0,906
Coeficiente de determinación R^2	0,964	0,820
R^2 ajustado	0,940	0,701
Error típico	0,010	0,030
Observaciones	6	6

<i>Coeficientes</i>	A	B
Intercepción	0,091	0,098
D/s	0,202	0,179
S	0,103	-2,575

Por lo que la ecuación que representa el caudal descargado en función de parámetros medidos en laboratorio es la siguiente:

$$\%Q_{descargado} = \left(0.202 \frac{D}{s} + 0.103 S + 0.091 \right) L/h_c + 0.179 \frac{D}{s} - 2.575 S + 0.098$$

Finalmente, en la Figura 9.4 y Figura 9.5 es posible ver como se ajusta la ecuación recién propuesta con las mediciones de laboratorio. En estas figuras se observan tres tendencias distintas producto de las diferentes pendientes consideradas.

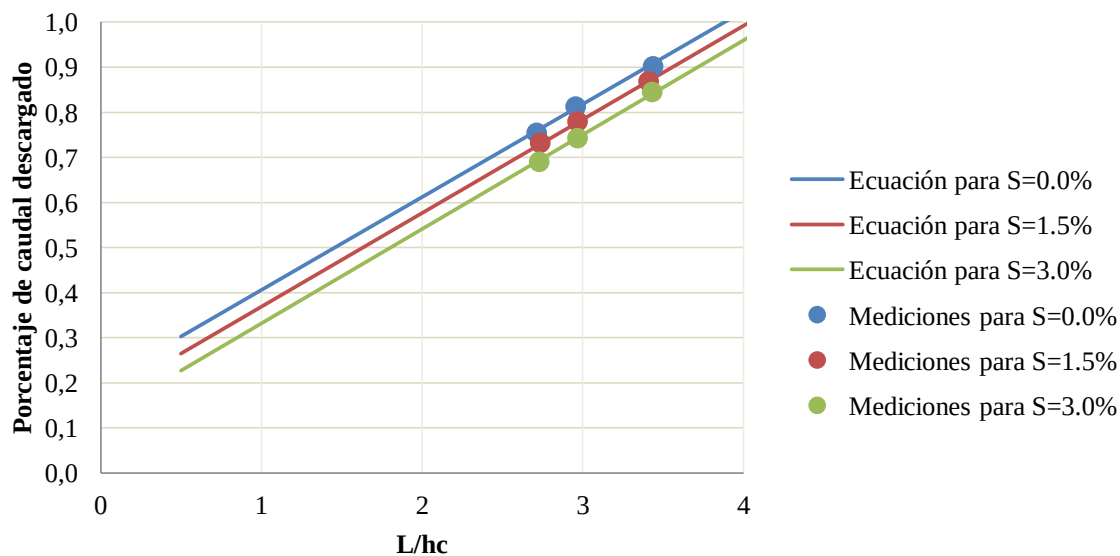


Figura 9.4 Ecuación propuesta para rejillas paralelas y mediciones de laboratorio ($D/s = 0.57, S = 0.0, 1.5$ y 3.0%)

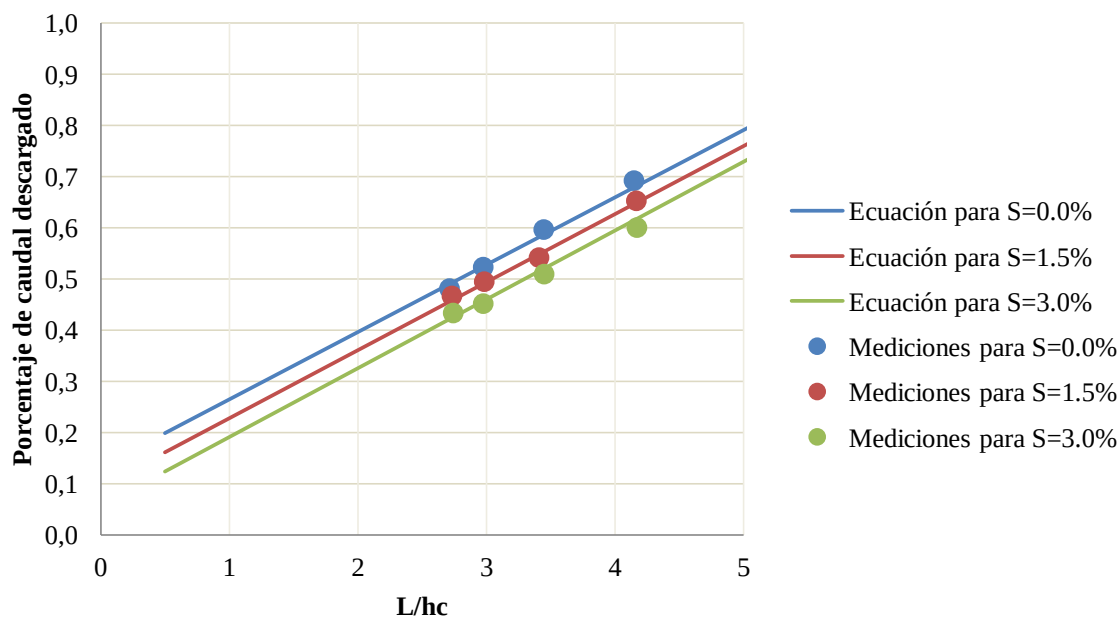


Figura 9.5 Ecuación propuesta para rejillas paralelas y mediciones de laboratorio ($D/s = 0.2, S = 0.0, 1.5$ y 3.0%)

Como se puede ver en los gráficos anteriores la ecuación propuesta para rejillas paralelas se ajusta de muy buena manera a las mediciones realizadas.

9.2.2 Rejillas perpendiculares de orificios rectangulares

Para el caso de las rejillas perpendiculares de orificios rectangulares, se cuenta con información para tres relaciones D/s y tres pendientes distintas:

Tabla 9.7 Parámetros de entrada rejilla perpendicular rectangular

D/s	S	A	B
0,33	0,00%	0,0524	0,2501
0,33	1,50%	0,0434	0,2141
0,33	3,00%	0,0326	0,2046
1	1,50%	0,0647	0,3413
0,33	1,50%	0,0465	0,1811
0,14	1,50%	0,0312	0,1045

Al aplicar un ajuste de mínimos cuadrados de los parámetros A y B en función de la pendiente y relación D/s se obtiene lo siguiente:

Tabla 9.8 Estadísticas de regresión en rejilla perpendicular rectangular para descarga de caudal

<i>Estadísticas de la regresión</i>	A	B
Coefficiente de correlación múltiple	0,975	0,917
Coefficiente de determinación R^2	0,950	0,842
R^2 ajustado	0,916	0,736
Error típico	0,004	0,040
Observaciones	6	6

<i>Coefficientes</i>	A	B
Intercepción	0,041	0,142
D/s	0,035	0,235
S	-0,66	-1,517

Por lo que la ecuación que representa el caudal descargado en función de parámetros medidos en laboratorio es la siguiente:

$$\%Q_{descargado} = \left(0.035 \frac{D}{s} - 0.66 S + 0.041\right) L/h_c + 0.235 \frac{D}{s} - 1.517 S + 0.142$$

Finalmente, en las siguientes figuras es posible ver como se ajusta la ecuación recién propuesta con las mediciones de laboratorio. En estas figuras se observan tres tendencias distintas producto de las diferentes pendientes consideradas, donde varias rejillas diferentes pero de igual relación D/s se agrupan bajo la misma recta.

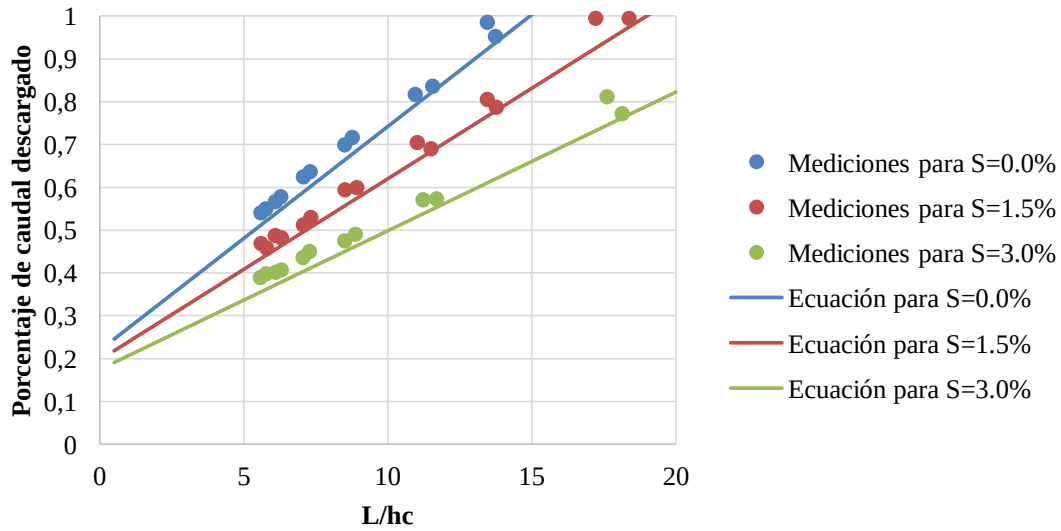


Figura 9.6 Ecuación propuesta para rejillas perpendicular rectangular y mediciones de laboratorio ($D/s = 0.33, S = 0.0, 1.5$ y 3.0%)

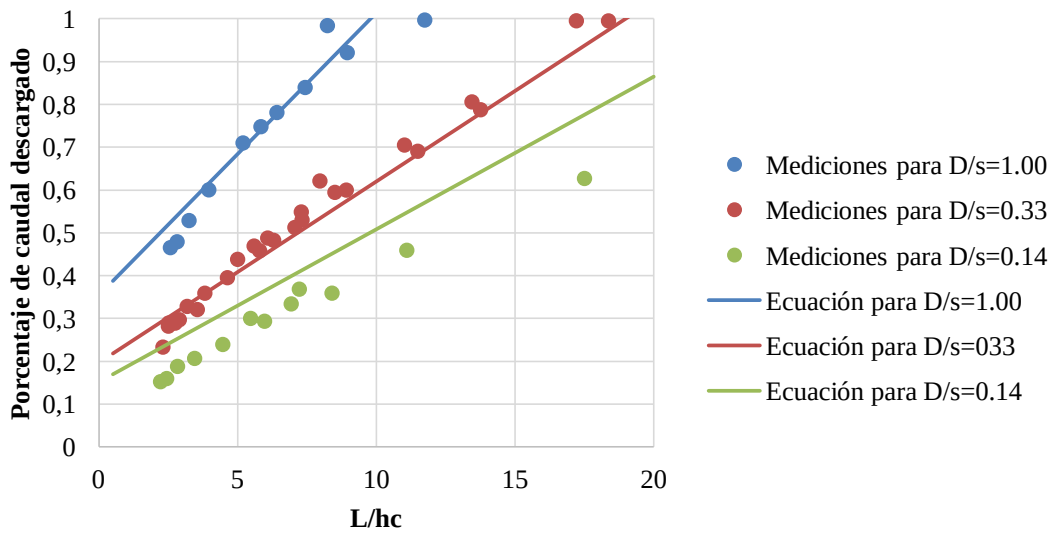


Figura 9.7 Ecuación propuesta para rejillas perpendicular rectangular y mediciones de laboratorio ($D/s = 0.14, 0.33$ y $1.00, S = 1.5\%$)

Como se puede ver en los gráficos anteriores la ecuación propuesta para rejillas perpendiculares de orificios rectangulares se ajusta de buena manera a la mayoría de las mediciones, teniendo como excepción el caso de la relación $D/s = 0.14$, donde la ecuación propuesta sobreestima los resultados.

9.2.3 Rejillas perpendiculares de orificios circulares

Para el caso de las rejillas perpendiculares de orificios circulares, se cuenta con información para dos diámetros distintos y tres pendientes distintas, la relación D/s es igual para las cuatro rejillas:

Tabla 9.9 Parámetros de entrada rejilla perpendicular circular

D	D/s	S	A	B
2	1	1,50%	0,0456	0,1159
1	1	1,50%	0,0365	0,0747
2	1	0,00%	0,0816	0,0749
1	1	0,00%	0,0664	0,0114
2	1	3,00%	0,0489	0,0543
1	1	3,00%	0,0286	0,0729

Al aplicar un ajuste de mínimos cuadrados de los parámetros A y B en función del diámetro, ya que los demás parámetros no cambian, se obtiene lo siguiente:

Tabla 9.10 Estadísticas de regresión en rejilla perpendicular circular para descarga de caudal

<i>Estadísticas de la regresión</i>	A	B
Coefficiente de correlación múltiple	0,906	0,534
Coefficiente de determinación R^2	0,820	0,285
R^2 ajustado	0,367	-0,525
Error típico	0,011	0,037
Observaciones	6	6

<i>Coefficientes</i>	A	B
Intercepción	0,047	0,014
D	0,015	0,029
S	-1,175	0,682

Por lo que la ecuación que representa el caudal descargado en función de parámetros medidos en laboratorio es la siguiente:

$$\%Q_{descargado} = (0.015 D - 1.175 S + 0.047)L/h_c + 0.029 D + 0.682 S + 0.014$$

Donde el diámetro debe ser ingresado en centímetros.

Finalmente, en los siguientes gráficos es posible ver como se ajusta la ecuación recién propuesta con las mediciones de laboratorio:

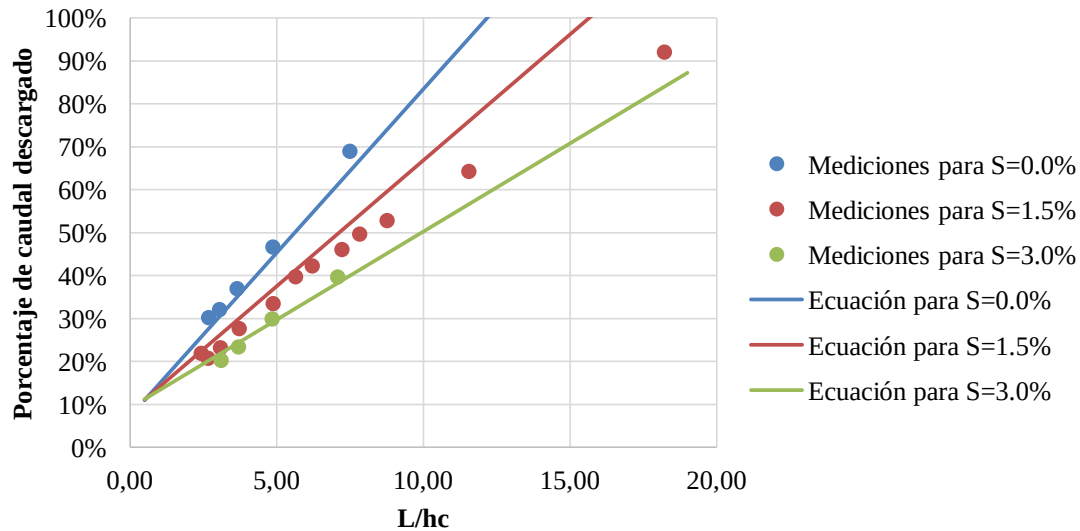


Figura 9.8 Ecuación propuesta para rejillas perpendicular circular y mediciones de laboratorio ($D/s = 1.0$, $D = 2$ [cm] y $S = 0.0, 1.5$ y 3.0%)

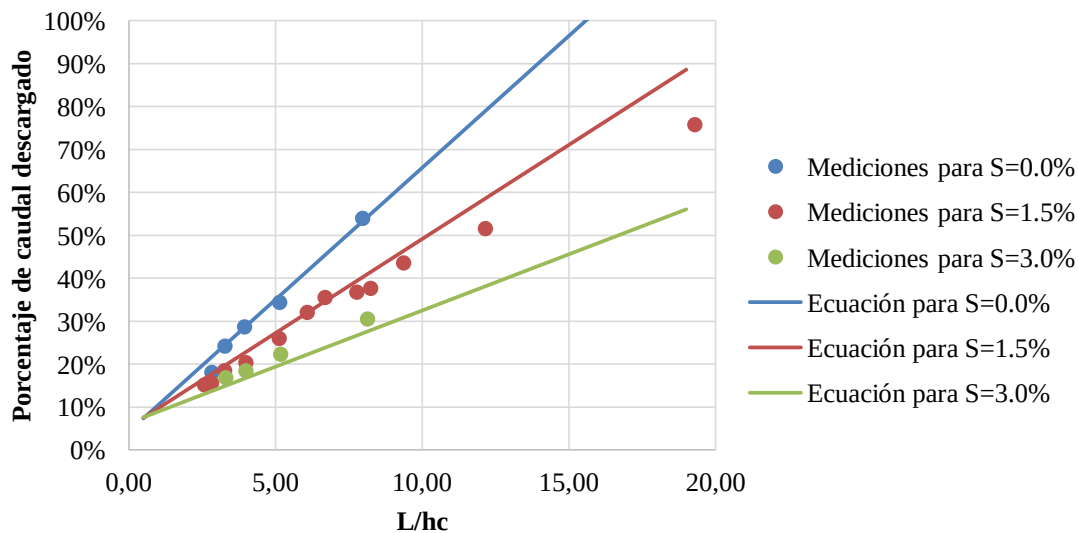


Figura 9.9 Ecuación propuesta para rejillas perpendicular circular y mediciones de laboratorio ($D/s = 1.0$, $D = 1$ [cm] y $S = 0.0, 1.5$ y 3.0%)

Como se puede ver en los gráficos anteriores la ecuación propuesta para rejillas perpendiculares de orificios circulares se ajusta de muy buena manera a las mediciones realizadas. Esta ecuación abarca menos un rango menor ya que no se poseen rejillas de orificios circulares de relación D/s distinta de 1.

10. APLICACIONES

10.1 Software para la toma y análisis de datos

Se diseña un software de apoyo para la toma y análisis de los datos medidos en las experiencias de laboratorio. Este software cumple con los siguientes propósitos:

- Permite el ingreso de datos medidos en la experiencia.
- Cuenta con información detallada de las características y aspectos principales de las 15 rejillas existentes.
- Incluye una revisión de la teoría asociada a los flujos espacialmente variados de caudal decreciente, junto con la teoría asociada al fenómeno de rejillas de infiltración.
- Finalmente, estos resultados pueden ser exportados a una planilla independiente para que los alumnos lleven la información y puedan concluir el desarrollo del laboratorio

Este software se desarrolla mediante Excel, utilizando el apoyo de la herramienta visual basic.

A continuación, se presentan algunas imágenes del software:

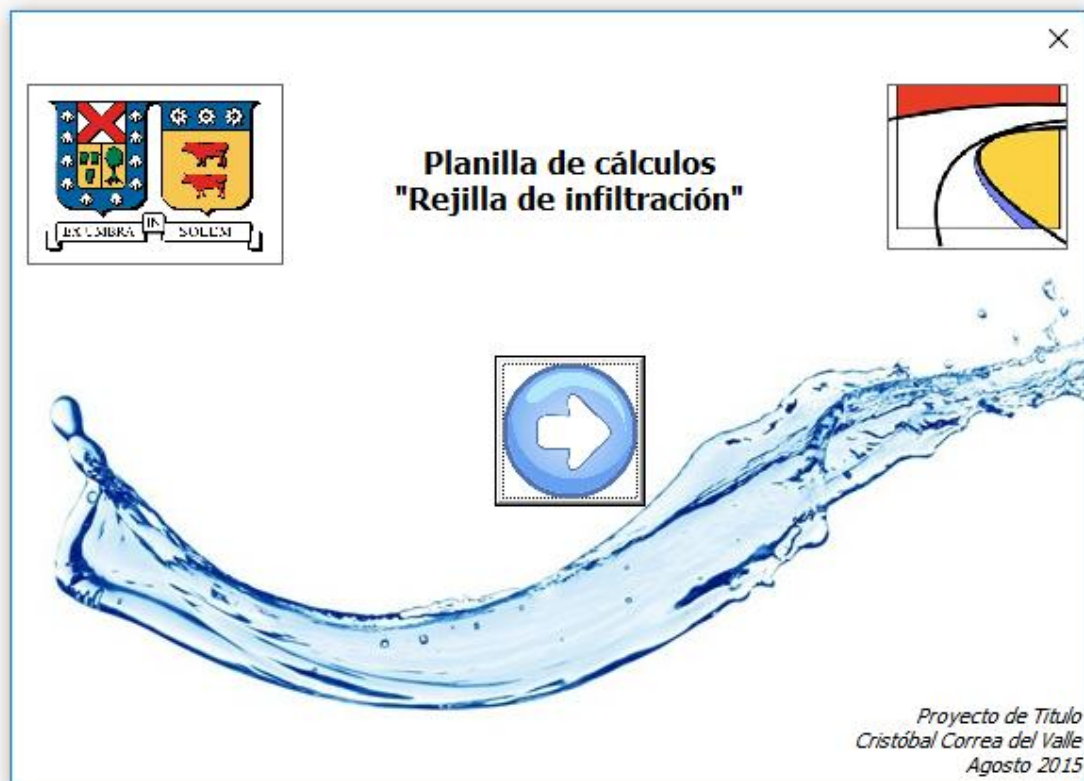


Figura 10.1 Bienvenida de la planilla de cálculos

Mediciones

Pendiente [%]

Caudal caudalímetro [l/min]

Caudal final

Volumen inicial [l]

Volumen final [l]

Tiempo [seg]

Altura inicial [cm]

Altura final [cm]

Rejilla [ver tipos](#)

[Repetir rejilla](#)

Medición N°

[Anterior](#) **2** [Siguiente](#)

[Generar Excel](#)

Medición	Q1 [l/min]	V1 [l]	V2 [l]	t [seg]	Q2 [l/min]	h1 [cm]	h2 [cm]	Rejilla N°	L [cm]	D/s	e	Cd	Pendiente [%]
1	200	10	20	5	120	4	2	3	40	0,20	16%	16%	1
2													

Figura 10.2 Ventana utilizada para ingresar los datos medidos

Mediciones

Rejillas

Teoria

About

Aquí se encuentra información sobre las distintas características de las 15 rejillas diferentes que existen. Estas cambian en el largo de la rejilla, ancho abertura, forma de abertura y orientación de esta.

[Seleccionar](#)

Rejillas Paralelas

Rejillas Perpendiculares

N°4N°5N°6N°7N°8N°9N°10N°11N°12N°13N°14N°15

Rejilla N° 7

Ancho abertura	1	cm
Separación	1	cm
Largo abertura	13	cm
Cantidad	22	
Área agujeros	286	cm ²
Largo efectivo	43	cm
Ancho	15,2	cm
Área total	653,6	cm ²
e	43,76%	
D/s	1,00	

Figura 10.3 Ventana con la información de las rejillas

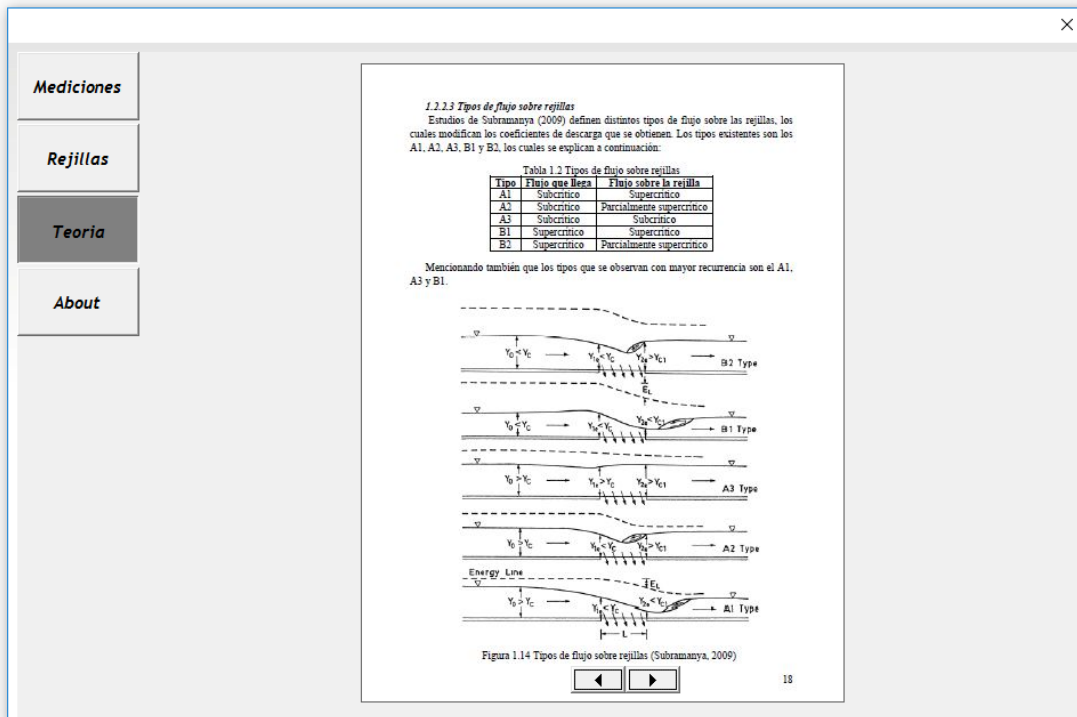


Figura 10.4 Ventana con la teoría detrás del fenómeno hidráulico estudiado

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2		Medición	Q1 [l/min]	V1 [l]	V2 [l]	t [seg]	Q2 [l/min]	h1 [cm]	h2 [cm]	Rejilla N°	L [cm]	D/s	e	Cd	Pendiente [%]	
3		1	60	10	20	12	50,0	3,4	1,2	5	19	1,00	45%	0,45	1	
4		2	120	10	30	15	80,0	3,6	1,4	5	19	1,00	45%	0,45	1	
5		3	180	10	40	15	120,0	3,8	1,6	5	19	1,00	45%	0,45	1	
6		4	240	10	50	16	150,0	4	1,8	5	19	1,00	45%	0,45	1	
7		5	300	10	60	16	187,5	4,2	2	5	19	1,00	45%	0,45	1	
8		6	360	10	70	17	211,8	4,4	2,2	5	19	1,00	45%	0,45	1	
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																

Figura 10.5 Planilla de Excel exportada

10.2 Guías de laboratorio

Se presentan las siguientes guías de laboratorio como apoyo para el ramo de Hidráulica Teórica y Laboratorio. En estas guías se explican los pasos a seguir y se sugieren posibilidades a comparar con las distintas rejillas.

10.2.1 Definición de variables

Las variables a conocer en las experiencias de laboratorio son las siguientes:

- Q_1 : Caudal que entra al canal desde la bomba
- Q_2 : Caudal final del canal
- $Q_{rejilla}$: Caudal descargado por la rejilla
- C_d : Coeficiente de descarga
- D : Ancho orificios en rejillas
- s : Separación de orificios en rejillas
- L : Largo rejilla
- h_1 : Altura de agua justo en el comienzo de la rejilla
- h_2 : Altura de agua justo al finalizar la rejilla

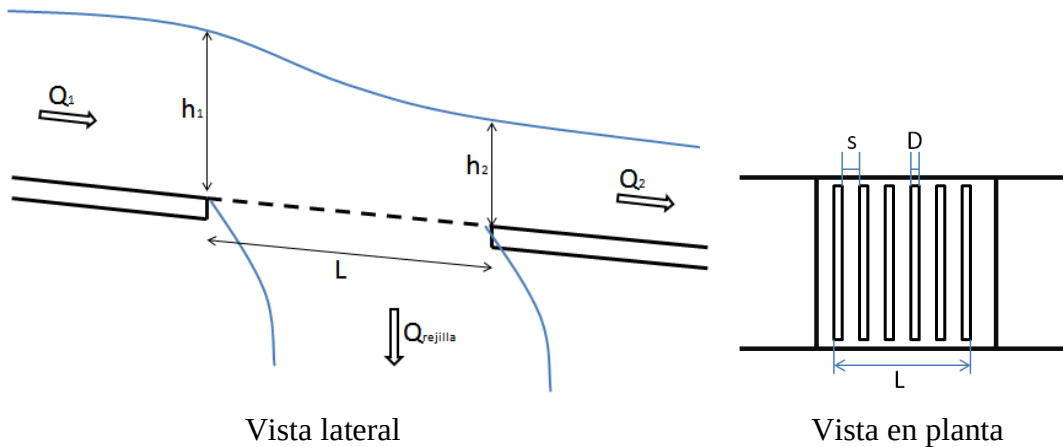


Figura 10.6 Variables hidráulicas y geométricas

10.2.2 Guía N°1: Obtención de las curvas de descarga

En esta guía de laboratorio se busca obtener las curvas de descarga para distintas rejillas, estudiando el efecto de la pendiente, caudal y forma de la rejilla, sobre el caudal descargado por la rejilla.

1. Objetivos

Obtener curvas de descarga para distintas rejillas.

2. Procedimientos

Los procedimientos para la realización de esta experiencia son los siguientes:

1. Instalar adecuadamente una rejilla en la zona habilitada
2. Poner en marcha el canal
3. Medir caudal entrante Q_1 (desde caudalímetro) y caudal final Q_2 (desde estanque secundario)
4. Repetir procedimiento para un rango amplio de caudales y un mínimo de dos pendientes
5. Repetir proceso para otra rejilla

3. Resultados

Con las mediciones realizadas, se procede a generar la curva de descarga, la cual se presenta con el porcentaje de caudal descargado en función del caudal que circula por el canal. El caudal descargado se puede obtener de la diferencia de caudales medidos:

$$Q_{rejilla} = Q_1 - Q_2$$

Luego el porcentaje de caudal descargado se obtiene de la siguiente relación:

$$\%Q_{descargado} = \frac{Q_{rejilla}}{Q_1}$$

Adicionalmente es posible generar curvas de porcentaje de caudal descargado en función del parámetro D/s de cada rejilla.

4. Conclusiones

Generando estas curvas es posible observar como incide la pendiente y otros factores sobre el porcentaje de caudal descargado.

10.2.3 Guía N°2: Obtención de coeficientes de descarga

En esta guía de laboratorio se busca obtener el coeficiente de descarga para distintas rejillas, estudiando el efecto de la pendiente, caudal y forma de la rejilla, sobre el coeficiente de descarga obtenido.

1. Objetivos

Obtener el coeficiente de descarga para distintas rejillas.

2. Procedimientos

Los procedimientos para la realización de esta experiencia son los siguientes:

1. Instalar adecuadamente una rejilla en la zona habilitada
2. Poner en marcha el canal
3. Medir caudal entrante Q_1 (desde caudalímetro), altura inicial h_1 y final h_2 .
4. Repetir procedimiento para un rango amplio de caudales y un mínimo de dos pendientes
5. Repetir proceso para otra rejilla

3. Resultados

Con las mediciones realizadas, se puede obtener el coeficiente de descarga para cada caso, utilizando la siguiente ecuación para el caso de rejillas paralelas:

$$C_d = \frac{E}{eL} \left(\frac{h_1}{E} \sqrt{1 - \frac{h_1}{E}} - \frac{h_2}{E} \sqrt{1 - \frac{h_2}{E}} \right)$$

Y para el caso de rejillas perpendiculares:

$$C_d = \frac{E}{eL} \left[\frac{1}{4} \operatorname{sen}^{-1} \left(1 - \frac{2h_2}{E} \right) - \frac{3}{2} \sqrt{\frac{h_2}{E} \left(1 - \frac{h_2}{E} \right)} \right] - \frac{E}{eL} \left[\frac{1}{4} \operatorname{sen}^{-1} \left(1 - \frac{2h_1}{E} \right) - \frac{3}{2} \sqrt{\frac{h_1}{E} \left(1 - \frac{h_1}{E} \right)} \right]$$

Obtener gráficos de coeficiente de descarga en función del caudal y en función del número de Froude.

4. Conclusiones

Mediante estos dos gráficos es posible analizar el comportamiento del coeficiente de descarga frente a las distintas variaciones.

10.2.4 Guía N°3: Comparar descarga de caudal con la teoría

En esta guía de laboratorio se busca comparar los resultados teóricos obtenidos con los propuestos por la literatura.

1. Objetivos

Comparar los resultados experimentales con los propuestos por la literatura.

2. Procedimientos

Los procedimientos para la realización de esta experiencia son los siguientes:

1. Instalar adecuadamente una rejilla en la zona habilitada
2. Poner en marcha el canal
3. Medir caudal entrante Q_1 (desde caudalímetro), altura inicial h_1 y caudal final Q_2 (desde estanque secundario).
4. Repetir procedimiento para un rango amplio de caudales y un mínimo de dos pendientes
5. Repetir proceso para otra rejilla

3. Resultados

Utilizando los coeficientes de descarga de cada rejilla, es posible obtener teóricamente el caudal descargado por la rejilla en función de los parámetros Q_1 , h_1 y C_d . Comparar estos resultados con los obtenidos experimentalmente de la diferencia entre Q_1 y Q_2 .

4. Conclusiones

Comentar los resultados obtenidos.

10.2.5 Ejemplo de experiencia de laboratorio

A continuación se presenta un ejemplo de una experiencia de laboratorio, en la cual se desarrolla la “Guía N°3: Comparar descarga de caudal con la teoría”. Para el desarrollo de este ejemplo se utilizan las rejillas N° 6 y 11, las cuales son rejillas perpendiculares al flujo y se caracterizan por tener la misma área total de aberturas ($143 \text{ [cm}^2\text{]}$), igual relación D/s (0.33), pero distinto largo, relación de abertura y ancho de orificios.

1. Instrucciones generales:

Antes de poner en marcha el canal, es necesario tener cerrada la válvula posterior a la bomba y abiertas las válvulas que conectan los estanques. También es necesario regular el soporte intermedio de tal manera que el canal quede apoyado y no se genere una deflexión en esa zona. Verificar que tanto la zona de la compuerta lateral como el vertedero lateral están cerrados.

2. Puesta en marcha del equipo:

Instalar la rejilla N°6 en la zona habilitada para ello y modificar la pendiente del canal hasta la requerida (verificar apoyo intermedio). Luego se puede accionar el interruptor que enciende la bomba y caudalímetro, junto con ir abriendo lentamente la válvula posterior a la bomba hasta llegar al caudal deseado.

Para este ejemplo, realizaremos mediciones con pendientes de 0.0%, 1.5% y 3.0%, para las cuales circularán caudales desde 100 [l/min], subiendo 100 [l/min] cada medición hasta llegar a la capacidad máxima de la bomba.

3. Toma de datos:

Dejar el canal con 0.0% de pendiente y regular válvula hasta que el caudalímetro marque 100 [l/min] aproximadamente. Medir el caudal final utilizando el método explicado en el punto 7.1. Para este caso se cierran ambas válvulas, y se toma el tiempo que demora el nivel de agua en subir desde “0 L” hasta los “10 L”, demorando varios minutos, lo que indica que el caudal final es prácticamente nulo. Para el siguiente caudal se regula la válvula hasta obtener un valor cercano a 200 [l/min] y se mide nuevamente el caudal con el procedimiento anterior, en este caso demora un tiempo de 31.75 [s] en llenar el volumen entre la marca “20 L” y “40 L”.

Repetir procedimiento para los distintos caudales, pendientes y rejilla.

4. Análisis de datos obtenidos:

Los datos obtenidos para la rejilla N°6 son los siguientes:

Tabla 10.1 Resultados rejilla N°6 en ejemplo

Rejilla N° 6								
Pendiente	Q [l/min]	Q [l/s]	V1 [l]	V2 [l]	t [s]	Q final [l/s]	Q desviado [l/s]	% desviado
0,0%	102,5	1,71	0	10	1200,00	0,01	1,70	100%
0,0%	207,0	3,45	20	40	31,75	0,63	2,82	82%
0,0%	302,5	5,04	70	120	33,03	1,51	3,53	70%
0,0%	399,0	6,65	30	130	40,09	2,49	4,16	62%
0,0%	498,0	8,30	30	150	33,40	3,59	4,71	57%
0,0%	567,0	9,45	30	150	27,66	4,34	5,11	54%
1,5%	105,0	1,75	0	10	1200,00	0,01	1,74	100%
1,5%	152,0	2,53	10	30	40,65	0,49	2,04	81%
1,5%	205,0	3,42	50	110	59,53	1,01	2,41	71%
1,5%	302,0	5,03	110	160	24,50	2,04	2,99	59%
1,5%	399,0	6,65	20	120	30,85	3,24	3,41	51%
1,5%	499,0	8,32	30	160	30,52	4,26	4,06	49%
1,5%	566,0	9,43	40	140	19,97	5,01	4,43	47%
3,0%	101,5	1,69	20	40	62,84	0,32	1,37	81%
3,0%	199,5	3,33	70	130	42,10	1,43	1,90	57%
3,0%	302,5	5,04	40	110	26,47	2,64	2,40	48%
3,0%	400,0	6,67	40	140	26,62	3,76	2,91	44%
3,0%	497,0	8,28	50	150	20,19	4,95	3,33	40%
3,0%	570,0	9,50	50	150	17,25	5,80	3,70	39%

Y los obtenidos para la rejilla N°11:

Tabla 10.2 Resultados rejilla N°11 en ejemplo

Rejilla N° 11								
Pendiente	Q [l/min]	Q [l/s]	V1 [l]	V2 [l]	t [s]	Q final [l/s]	Q desviado [l/s]	% desviado
0,0%	100,0	1,67	0	10	1200,00	0,01	1,66	100%
0,0%	155,5	2,59	0	10	81,84	0,12	2,47	95%
0,0%	201,5	3,36	20	50	54,66	0,55	2,81	84%
0,0%	305,0	5,08	80	140	41,69	1,44	3,64	72%
0,0%	401,0	6,68	40	150	45,34	2,43	4,26	64%
0,0%	502,5	8,38	40	150	31,16	3,53	4,84	58%
0,0%	572,0	9,53	40	150	25,65	4,29	5,24	55%
1,5%	100,5	1,68	0	10	1200,00	0,01	1,67	100%
1,5%	155,0	2,58	20	50	54,65	0,55	2,03	79%
1,5%	203,0	3,38	10	60	47,75	1,05	2,34	69%
1,5%	297,0	4,95	80	150	35,34	1,98	2,97	60%
1,5%	399,0	6,65	30	130	32,00	3,13	3,53	53%
1,5%	500,0	8,33	50	150	23,19	4,31	4,02	48%
1,5%	567,0	9,45	30	150	23,44	5,12	4,33	46%
3,0%	102,5	1,71	10	40	77,21	0,39	1,32	77%
3,0%	198,0	3,30	70	130	42,62	1,41	1,89	57%
3,0%	299,5	4,99	20	100	31,47	2,54	2,45	49%
3,0%	403,0	6,72	30	130	27,10	3,69	3,03	45%
3,0%	500,5	8,34	40	150	22,25	4,94	3,40	41%
3,0%	570,0	9,50	50	150	17,50	5,71	3,79	40%

Al realizar la curva de descarga se obtiene lo siguiente:

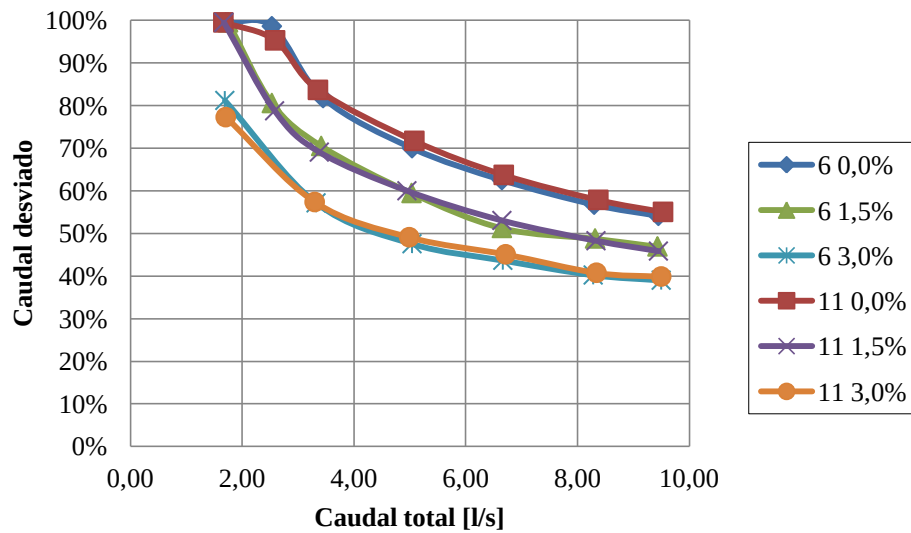


Figura 10.7 Curvas de descarga rejillas N°6 y 11 en ejemplo

Donde es posible ver que los resultados obtenidos para ambas rejillas son muy similares, independiente de que una rejilla tenga una relación de abertura del doble de la otra. Adicionalmente, es posible observar el efecto de la pendiente sobre el caudal descargado, disminuyendo el porcentaje que se descarga cuando se aumenta la pendiente.

11. CONCLUSIONES

Las rejillas de infiltración son utilizadas en el área de hidráulica para desviar caudal de un canal. Esta desviación se produce por la parte inferior del canal y los principales factores que influyen en el caudal que es desviado son los siguientes: características de la rejilla, caudal circulante y pendiente del canal.

La pendiente del canal incide directamente sobre la cantidad de caudal descargado. Se comprueba en laboratorio lo indicado por la teoría, obteniendo que a mayor pendiente el caudal descargado disminuye. Por el contrario, a pendientes más bajas el caudal descargado será mayor.

Respecto al caudal circulante, se observa que al tener un mayor caudal circulando por el canal, si bien aumenta el caudal descargado, el porcentaje de este caudal respecto al total sufre una disminución. En resumen, en caudales bajos es posible captar valores cercanos al 100% y al ir aumentando el caudal el porcentaje de captación va disminuyendo.

Finalmente, el factor predominante para determinar el caudal descargado por la rejilla corresponde a las características de ésta, dentro del cual se definen dos grupos, las rejillas paralelas al flujo y las perpendiculares. Las rejillas paralelas al flujo tienen una capacidad mayor de descargar caudal debido a que su orientación permite que el caudal caiga sin sufrir pérdidas de energía. Por el contrario, en las rejillas perpendiculares al flujo el caudal sufre pérdidas de energía al chocar contra el lado opuesto del orificio. Esta pérdida de energía en caudal que cae genera una menor desviación de caudal por parte de estas rejillas. Siguiendo dentro de las características de las rejillas, se tienen otros parámetros que inciden en esto, tales como el área total de aberturas y la relación ancho orificio sobre separación de los orificios (D/s). Respecto al área total de aberturas, se obtienen los resultados lógicos, que al tener mayor área de abertura el caudal descargado será mayor. Mientras que la relación D/s incide sobre el caudal generando un aumento del caudal descargado al crecer esta relación (lo que significa aumentar el ancho de orificios o disminuir la separación entre éstos).

Al comparar los resultados obtenidos con los propuestos por autores para este tópico, se tienen comportamientos similares de crecimiento, sin embargo, a medida que los valores crecen, se tienen resultados distintos ya que los obtenidos con los autores escapan de los resultados físicos posibles (obteniendo porcentajes de descarga superiores al 100%). Profundizando en este tema se tiene que las ecuaciones de estos autores fueron propuestas para condiciones base distintas a las utilizadas en este proyecto, ya que las mediciones realizadas por los autores utilizan relación de b/L menor a 1.0, L/h_c menores a 4.5 y D/s de hasta 5.5, mientras que en este trabajo se utilizan b/L igual a 2.0, L/h_c de hasta 20.0 y D/s menores a 1.0. Estas diferencias dejan claramente especificado que no es posible comparar de igual a igual los resultados obtenidos, por eso es que este trabajo deja la

opción de en el futuro construir rejillas de características similares a la de los autores para de esta forma comparar los resultados de manera más certera.

Por otro lado, se estudió también los coeficientes de descarga de las rejillas, obteniendo estos para las rejillas construidas y luego comparando los resultados con los autores existentes.

Para las 15 rejillas existentes, se realizaron mediciones para distintos caudales y pendientes con el fin de obtener el coeficiente de descarga en cada uno de estos casos y analizar su comportamiento. Los resultados obtenidos muestran ciertas tendencias en común para todas las rejillas, siendo los más destacados el efecto de la pendiente y el caudal. El coeficiente de descarga se ve disminuido al aumentar la pendiente en el canal, de manera contraria, cuando el caudal aumenta, el coeficiente de descarga también lo hace. Esto fue posible apreciarlo en todas las rejillas, pero con la diferencia de la magnitud de estos cambios, en algunas son muy pequeños mientras que en otras son más notorios.

A la hora de comparar los resultados obtenidos en este trabajo con los propuestos por los autores se debe destacar los siguientes puntos: actualmente no existe consenso sobre la obtención de los coeficientes de descarga, ya que autores postulan ecuaciones dependientes únicamente de las características del flujo (N° de Froude, tipo de flujo, etc.) mientras que otros únicamente dependiente de características de las rejillas (Largo, ancho orificios, etc.). Unos pocos proponen ecuaciones que consideren ambos factores, según lo observado en este trabajo, ambos factores son sumamente importantes para la obtención del coeficiente de descarga. El segundo punto hace hincapié en las grandes diferencias en los resultados que se tienen al utilizar las ecuaciones propuestas por los autores, pudiendo tener para un mismo caso coeficientes de descarga en un rango de entre 0.1 y 0.9, lo que prácticamente abarca todas las opciones. Finalmente se tiene que los documentos más nuevos al respecto datan del año 2009, siendo éstos en su mayoría adaptaciones de ecuaciones obtenidas antes.

Considerando estos factores antes mencionados se compararon los resultados obtenidos con los propuestos por autores. Los resultados obtenidos en algunos casos coinciden con algún autor, mientras que en otros no existen similitudes algunas, dejando nuevamente al descubierto la alta variabilidad que existe aún en estas ecuaciones, ya que en algunos casos un autor obtiene excelentes resultados para una rejilla, en otra puede obtener resultados sumamente diferentes.

Finalmente se debe mencionar que, a diferencia con el caso de porcentaje de caudal descargado, en el cual se conoce claramente las condiciones en las cuales fueron desarrolladas las ecuaciones, para los coeficientes de descarga se desconoce en la mayoría en qué condiciones fueron desarrolladas, agregando más incertidumbre al tema y sin saber si las comparaciones son realizables o no. Adicionalmente, se realiza un análisis

estadístico de los resultados obtenidos buscando cual es la ecuación que tiene una menor diferencia porcentual media, obteniendo que la ecuación propuesta por Zagade (1987) para rejillas perpendiculares y tipo de flujo A1 (el estudiado en este trabajo fue B1). Al analizar esta ecuación, se observa un valor constante (0.41) y dos términos adicionales dependiente de las características de la rejilla, pero con un valor ponderado muy bajo (0.03 y 0.0083), obteniendo finalmente resultados sumamente cercanos al valor constante, dejando en evidencia nuevamente que las ecuaciones propuestas distan de estar cerca de los resultados reales.

Como punto final de este trabajo se proponen tres ecuaciones distintas para obtener el porcentaje de caudal descargado en rejillas paralelas, perpendiculares de orificios rectangulares y perpendiculares de orificios circulares. Las ecuaciones propuestas son dependientes de la relación D/s y la pendiente, para el caso de rejilla paralela y perpendicular de orificios rectangulares, y del diámetro para el caso de rejilla perpendicular de orificios circulares. Las ecuaciones propuestas se adaptan muy bien a los resultados experimentales obtenidos en laboratorio, como se puede apreciar en los gráficos entregados.

Se proponen también tres ecuaciones distintas para obtener el coeficiente de descarga en rejillas paralelas, perpendiculares de orificios rectangulares y perpendiculares de orificios circulares. Estas ecuaciones dependen tanto de parámetros geométricos de la rejilla como de características físicas del flujo, pudiendo ser obtenido el coeficiente de descarga en función de parámetros como pendiente del canal, N° de Froude, relación de abertura de la rejilla, y relación D/s y b/L . Los resultados obtenidos con estas ecuaciones se ajustan muy bien a cada una de las rejillas, teniendo diferencias medias en el cálculo del coeficiente de descarga con respecto a las mediciones, mucho menores a los obtenidos con las ecuaciones de autores, donde esta última en el mejor de los casos se tenía un error medio de un 13%. En cambio, con las ecuaciones propuestas se tienen errores medios de 3%, 6% y 5% para rejillas paralelas, perpendiculares de orificios rectangulares y perpendiculares de orificios circulares respectivamente.

Para estudios futuros se propone el diseño y construcción de rejillas con características similares a las estudiadas por los distintos autores, con el fin de realizar mejores comparaciones con la literatura existente. Adicionalmente, se propone el diseño y construcción de otras rejillas con el fin de contar con un espectro más amplio de experimentación.

Finalmente, se recomienda estudiar los otros tipos de flujos existentes para el caso de rejillas de fondo, ya que esta memoria se centra en la experimentación y estudio del tipo de flujo B1, pero aún es posible experimentar y estudiar los tipos de flujo A1, A2, A3 y B2 que también pueden ser reproducidos en el canal.

Como comentarios adicionales, se destaca la construcción de este equipo por parte de alumnos de la Universidad, con gran cantidad de características e implementos que permiten que sea utilizado tanto como para investigación y docencia. El desarrollo del proyecto estuvo acompañado de un sinnúmero de inconvenientes dentro de los cuales se destacan incumplimientos en plazos por parte de proveedores, problemas con facturas, aumento de costos debido a cambios en el transcurso y otros problemas que fue necesario resolver en el día a día. El trabajo podría ser mejorado con un diseño previo realizado de mejor manera, esto con el objetivo de no modificar el diseño mientras se construye el equipo, adicionalmente sería posible agregar nuevas tecnologías de medición de altura de agua, caudales, pendiente, etc. Si bien la precisión del canal no se puede comparar con un canal comercial, este tiene otros beneficios entre los que se destacan precios mucho más bajos y adaptación a lo que se necesita (en cuanto a dimensiones y características).

12. REFERENCIAS

- Castillo, L., & Lima, P. (2010). Análisis del dimensionamiento de la longitud de reja en una captación de fondo. *XXIV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA*. Punta del Este.
- Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. Santafé de Bogotá: McGRAW-HILL INTERAMERICANA S.A.
- Domínguez, F. J. (1974). *Hidráulica*. Santiago: Editorial Universitaria S.A.
- Mostkow, M. A. (1957). Theoretical study of bottom type water intake. *La Houille Blanche*, N°4, 570-580.
- Potter, M., & Wiggert, D. (2002). *Mecánica de fluidos*. México: Thomson.
- Rocha, A. (2007). *Hidráulica de tuberías y canales*.
- Shafaibejistan, M. (2008). *Experimental investigation of bottom intake structures*. Ahwas: Golestan Blvd.
- Shukla, S. K. (1987). *Flow over longitudinal bar bottom-racks*. Kanpur: Indian institute of technology.
- Singh, S. R. (1988). *Flow over inclined bottom racks*. Kanpur: Indian institute of technology.
- Sotelo Ávila, G. (2002). *Hidráulica de canales*. Ciudad de México: UNAM, Facultad de Ingeniería.
- Subramanya, K. (2009). *Flow in Open Channels*. New Delhi: McGraw-Hill.
- Yassa, A. (1979). *Analysis of flow in channels with bottom intakes*. Montreal: Concordia University.
- Zagade, S. (1987). *Flow over perforated bottom plates*. Kanpur: Indian institute of technology.

13. ANEXOS

13.1 Detalle de las características de las rejillas

A continuación, se presentan tablas más detalladas de la información de cada rejilla diseñada:

Tabla 13.1 Características rejilla N°1

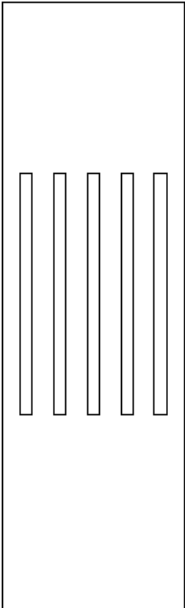
	Rejilla N° 1		
	Ancho abertura	1	cm
	Separación	1,75	cm
	Largo abertura	20	cm
	Cantidad	5	
	Área agujeros	100	cm ²
	Largo efectivo	20	cm
	Ancho	15,2	cm
	Área total	304	cm ²
	e	32,89%	
	D/s	0,57	

Tabla 13.2 Características rejilla N°2

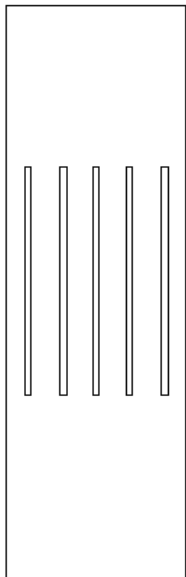
	Rejilla N° 2		
	Ancho abertura	0,5	cm
	Separación	2,5	cm
	Largo abertura	20	cm
	Cantidad	5	
	Área agujeros	50	cm ²
	Largo efectivo	20	cm
	Ancho	15,2	cm
	Área total	304	cm ²
	e	16,45%	
	D/s	0,20	

Tabla 13.3 Características rejilla N°3

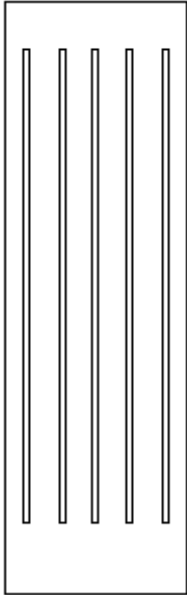
	Rejilla N° 3		
	Ancho abertura	0,5	cm
	Separación	2,5	cm
	Largo abertura	40	cm
	Cantidad	5	
	Área agujeros	100	cm ²
	Largo efectivo	40	cm
	Ancho	15,2	cm
	Área total	608	cm ²
	e	16,45 %	
	D/s	0,20	

Tabla 13.4 Características rejilla N°4

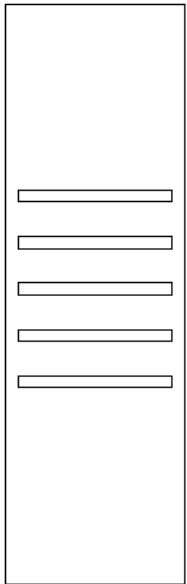
	Rejilla N° 4		
	Ancho abertura	1	cm
	Separación	3	cm
	Largo abertura	13	cm
	Cantidad	5	
	Área agujeros	65	cm ²
	Largo efectivo	17	cm
	Ancho	15,2	cm
	Área total	258,4	cm ²
	e	25,15 %	
	D/s	0,33	

Tabla 13.5 Características rejilla N°5

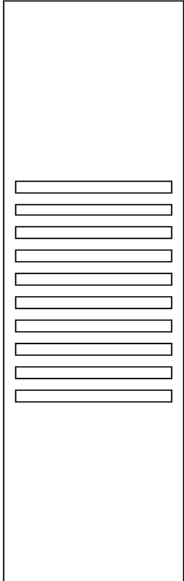
	Rejilla N° 5		
	Ancho abertura	1	cm
	Separación	1	cm
	Largo abertura	13	cm
	Cantidad	10	
	Área agujeros	130	cm ²
	Largo efectivo	19	cm
	Ancho	15,2	cm
	Área total	288,8	cm ²
	e	45,01 %	
	D/s	1,00	

Tabla 13.6 Características rejilla N°6

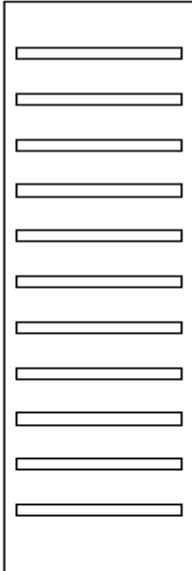
	Rejilla N° 6		
	Ancho abertura	1	cm
	Separación	3	cm
	Largo abertura	13	cm
	Cantidad	11	
	Área agujeros	143	cm ²
	Largo efectivo	41	cm
	Ancho	15,2	cm
	Área total	623,2	cm ²
	e	22,95 %	
	D/s	0,33	

Tabla 13.7 Características rejilla N°7

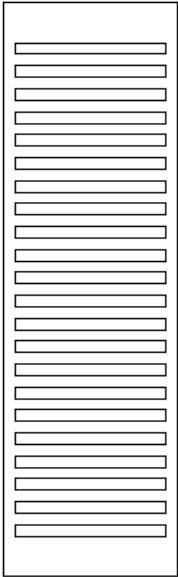
	Rejilla N° 7		
	Ancho abertura	1	cm
	Separación	1	cm
	Largo abertura	13	cm
	Cantidad	22	
	Área agujeros	286	cm ²
	Largo efectivo	43	cm
	Ancho	15,2	cm
	Área total	653,6	cm ²
	e	43,76%	
	D/s	1,00	

Tabla 13.8 Características rejilla N°8

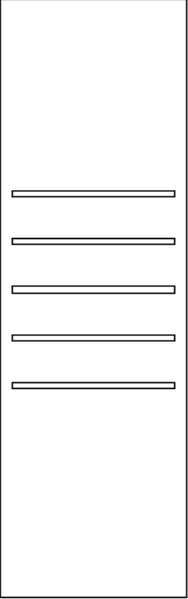
	Rejilla N° 8		
	Ancho abertura	0,5	cm
	Separación	3,5	cm
	Largo abertura	13	cm
	Cantidad	5	
	Área agujeros	33	cm ²
	Largo efectivo	16,5	cm
	Ancho	15,2	cm
	Área total	250,8	cm ²
	e	12,96%	
	D/s	0,14	

Tabla 13.9 Características rejilla N°9

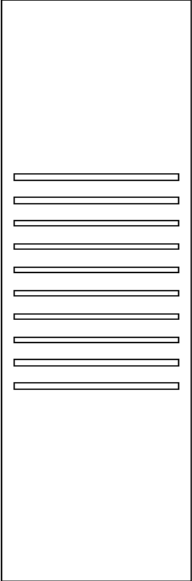
	Rejilla N° 9		
	Ancho abertura	0,5	cm
	Separación	1,5	cm
	Largo abertura	13	cm
	Cantidad	10	
	Área agujeros	65	cm ²
	Largo efectivo	18,5	cm
	Ancho	15,2	cm
	Área total	281,2	cm ²
	e	23,12%	
	D/s	0,33	

Tabla 13.10 Características rejilla N°10

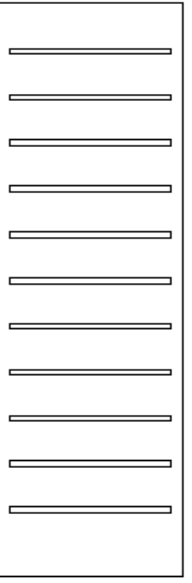
	Rejilla N° 10		
	Ancho abertura	0,5	cm
	Separación	3,5	cm
	Largo abertura	13	cm
	Cantidad	11	
	Área agujeros	72	cm ²
	Largo efectivo	40,5	cm
	Ancho	15,2	cm
	Área total	615,6	cm ²
	e	11,61%	
	D/s	0,14	

Tabla 13.11 Características rejilla N°11

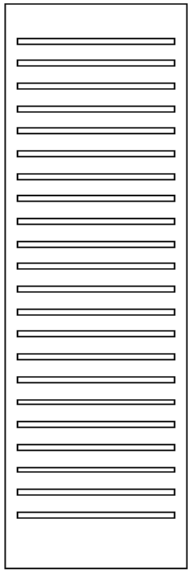
Rejilla N° 11	
	Ancho abertura 0,5 cm
	Separación 1,5 cm
	Largo abertura 13 cm
	Cantidad 22
	Área agujeros 143 cm ²
	Largo efectivo 42,5 cm
	Ancho 15,2 cm
	Área total 646 cm ²
	e 22,14%
	D/s 0,33

Tabla 13.12 Características rejilla N°12

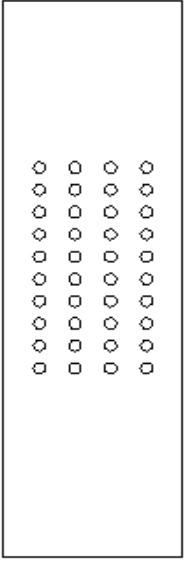
Rejilla N° 12	
	Diámetro orificios 1 cm
	Cantidad 40
	Separación 1 cm
	Área agujeros 31,4 cm ²
	Largo efectivo 19 cm
	Ancho 15,2 cm
	Área total 288,8 cm ²
	e 10,88%
	D/s 1,00

Tabla 13.13 Características rejilla N°13

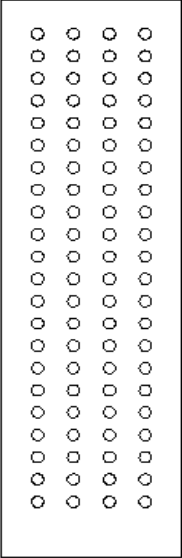
	Rejilla N° 13		
	Diámetro orificios	1	cm
	Cantidad	88	
	Separación	1	cm
	Área agujeros	69,1	cm ²
	Largo efectivo	45,2	cm
	Ancho	15,2	cm
	Área total	687,04	cm ²
	e	10,06%	
	D/s	1,00	

Tabla 13.14 Características rejilla N°14

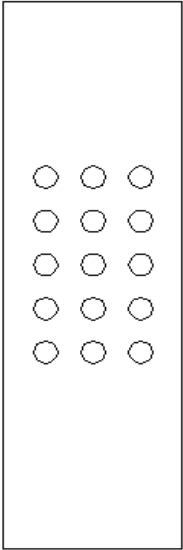
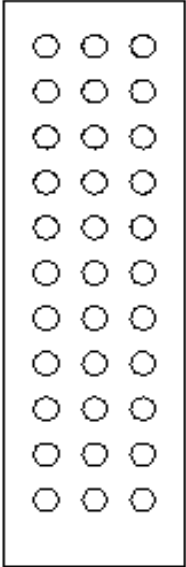
	Rejilla N° 14		
	Diámetro orificios	2	cm
	Cantidad	15	
	Separación	2	cm
	Área agujeros	47,1	cm ²
	Largo efectivo	18	cm
	Ancho	15,2	cm
	Área total	273,6	cm ²
	e	17,22%	
	D/s	1,00	

Tabla 13.15 Características rejilla N°15

	Rejilla N° 15		
	Diámetro orificios	2	cm
	Cantidad	33	
	Separación	2	cm
	Área agujeros	103,7	cm ²
	Largo efectivo	42	cm
	Ancho	15,2	cm
	Área total	638,4	cm ²
	e	16,24%	
	D/s	1,00	

13.2 Gastos del canal

Presupuesto inicial para el proyecto:

Tabla 13.16 Presupuesto inicial detallado

PRESUPUESTO DE GASTO DE VALE A RENDIR					
ACTIVIDAD	DETALLE	ITEM	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Acrílico	Plancha 240x180 cm dimensionada, 10mm.	101	1	\$ 243.420	\$ 243.420
Acrílico	Plancha 200x140 cm dimensionada, 10 mm.	102	1	\$ 133.728	\$ 133.728
Acrílico	Piezas corte laser, 10mm.	103	1	\$ 228.974	\$ 228.974
Acrílico	Plancha 120x180, 5 mm.	104	1	\$ 55.322	\$ 55.322
Acrílico	Piezas corte laser, 5 mm.	105	1	\$ 47.092	\$ 47.092
Pegamento Acrílico	Cloroformo 200 ml	106	3	\$ 2.390	\$ 7.170
Pegamento Acrílico	Aplicador	107	2	\$ 2.406	\$ 4.812
Bomba	Bomba PENTAX CST150/2 1.5 HP, 220 volt.	201	1	\$ 270.100	\$ 270.100
Caudalímetro	Caudalímetro VisualFlow Polipropileno. POLMAC.	301	1	\$ 550.000	\$ 550.000
Recipientes	Contenedor 250 Litros	401	1	\$ 90.000	\$ 90.000
Recipientes	Contenedor 820 Litros	402	1	\$ 250.000	\$ 250.000
Herramienta	Sierra caladora Bauker 710 watt	501	1	\$ 30.664	\$ 30.664
Herramienta	Sierra copa 64 [mm]	502	1	\$ 8.990	\$ 8.990
Herramienta	Eje de sierra copa	503	1	\$ 6.290	\$ 6.290
Plomería	Tubería PVC ϕ 63 [mm], venta por metro.	601	4	\$ 1.594	\$ 6.376
Plomería	Terminal con hilo interior paso de 63 [mm] a 2".	602	1	\$ 2.344	\$ 2.344
Plomería	Filtro de 2" para proteger la bomba.	603	1	\$ 1.562	\$ 1.562
Plomería	Codo PVC ϕ 63 [mm].	604	1	\$ 1.831	\$ 1.831
Plomería	Terminal con hilo exterior paso de 63 [mm] a 2".	605	8	\$ 1.422	\$ 11.375
Plomería	Válvula de compuerta (material latón) 2".	606	1	\$ 14.921	\$ 14.921
Plomería	Válvula de bola pvc tamaño 2".	607	1	\$ 3.913	\$ 3.913
Plomería	Terminal espiga PVC HE 2" PVC.	608	2	\$ 5.084	\$ 10.168
Plomería	Terminal HI 63 [mm] x 2".	609	2	\$ 3.429	\$ 6.858
Plomería	Manguera "presión" 50 [mm]. 2", venta por metro.	610	2	\$ 2.070	\$ 4.140
Plomería	Abrazadera.	611	2	\$ 1.400	\$ 2.800
Plomería	Vinilit. Adhesivo para PVC rápido 250 cc	612	1	\$ 1.481	\$ 1.481
Plomería	Salida de estanque (SOL/HE) 63 mm 2"	613	2	\$ 4.303	\$ 8.606
Plomería	Sello de goma para flange 63 mm	614	4	\$ 1.093	\$ 4.372
Soporte	Soporte nivelador	701	8	\$ 3.553	\$ 28.424
Soporte	Perfiles tipo canal de acero de 30x30, tira de 6 [m]	702	2	\$ 5.622	\$ 11.244
Soporte	Pintura anticorrosiva 1/4 galón Sherwin Williams	703	1	\$ 8.815	\$ 8.815
Cambio de pendiente	Barra roscada 1/2 mt, Φ 5/8"	801	1	\$ 4.613,45	\$ 4.613
				SUBTOTAL	\$ 2.060.406
				IVA	\$ 391.477
				TOTAL	\$ 2.451.883

Y los gastos finales:

Tabla 13.17 Gastos finales detallados

PRESUPUESTO DE GASTO DE VALE A RENDIR					
ACTIVIDAD	DETALLE	ITEM	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Acrílico	Plancha 240x180 cm dimensionada, 10mm.	101	1	\$ 221.750	\$ 221.750
	Servicio corte acrilico	102	1	\$ 14.900	\$ 14.900
	Plancha 200x140 cm dimensionada, 10 mm.	103	1	\$ 123.503	\$ 123.503
	Piezas corte laser, 10mm.	104	1	\$ 239.199	\$ 239.199
	Plancha 120x180, 5 mm. Y corte laser	105	1	\$ 89.761	\$ 89.761
	Cortes dimensionados	106	1	\$ 60.797	\$ 60.797
	Cortes dimensionados	107	1	\$ 50.120	\$ 50.120
	Cortes dimensionados	108	1	\$ 35.640	\$ 35.640
	Cortes dimensionados	109	1	\$ 108.791	\$ 108.791
	Cloroformo 200 ml	110	3	\$ 2.396	\$ 7.188
	Aplicador	111	2	\$ 2.187	\$ 4.374
				Subtotal	\$ 956.023
Bomba	Bomba PENTAX CST150/2 1.5 HP, 220 volt.	201	1	\$ 229.585	\$ 229.585
				Subtotal	\$ 229.585
Caudalimetro	Caudalimetro VisualFlow Polipropileno. POLMAC.	301	1	\$ 550.000	\$ 550.000
				Subtotal	\$ 550.000
Estanques	Contenedor 250 Litros	401	1	\$ 75.630	\$ 75.630
	Valvula Bola	402	1	\$ 5.600	\$ 5.600
	Despacho	403	1	\$ 8.500	\$ 8.500
	Contenedor 1700 Litros	404	1	\$ 550.000	\$ 550.000
				Subtotal	\$ 639.730
Herramienta	Sierra caladora SKIL 400W	501	1	\$ 16.186	\$ 16.186
	Set Hoja Calar	502	3	\$ 4.732	\$ 14.196
	Hoja Sierra	503	1	\$ 2.362	\$ 2.362
	Pistola Calafatera	504	1	\$ 3.504	\$ 3.504
				Subtotal	\$ 36.248
Plomería	Tubería PVC ϕ 63 [mm], venta por metro.	601	3	\$ 2.521	\$ 7.563
	Tubería PVC ϕ 110 [mm], venta por metro.	602	1	\$ 7.739	\$ 7.739
	Codo PVC 25 mm	603	1	\$ 89	\$ 89
	Codo PVC ϕ 110 [mm].	604	1	\$ 13.345	\$ 13.345
	Codo PVC ϕ 63 [mm].	605	2	\$ 1.815	\$ 3.630
	Buching HE- HI 2" x 1 1/4"	606	1	\$ 1.731	\$ 1.731
	Niple HE 2" BLC	607	1	\$ 1.353	\$ 1.353
	Niple PVC 3/4 HE-HE	608	1	\$ 231	\$ 231
	Niple HE 1 1/4" BLC	609	1	\$ 630	\$ 630
	Copla HI 2"	610	1	\$ 2.311	\$ 2.311
	Terminal con HE de 63 [mm] a 2".	611	1	\$ 1.824	\$ 1.824
	Válvula de compuerta bronce 2" Hi.	612	1	\$ 28.387	\$ 28.387

PRESUPUESTO DE GASTO DE VALE A RENDIR					
ACTIVIDAD	DETALLE	ITEM	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
	Válvula de bola pvc cementar 110.	613	1	\$ 71.597	\$ 71.597
	Valvula bola Zinc 3/4	614	1	\$ 2.176	\$ 2.176
	Válvula de bola pvc cementar 2".	615	1	\$ 8.429	\$ 8.429
	Teflon 3/4"	616	2	\$ 1.748	\$ 3.496
	Teflon 3/4"	617	1	\$ 219	\$ 219
	Terminal con HE de 63 [mm] a 2".	618	1	\$ 1.111	\$ 1.111
	Terminal con HE de 63 [mm] a 2".	619	1	\$ 1.850	\$ 1.850
	Terminal HI 63 [mm] x 2".	620	1	\$ 1.915	\$ 1.915
	Terminal HI 63 [mm] x 2".	621	3	\$ 2.236	\$ 6.707
	Vinilit. Adhesivo para PVC	622	1	\$ 3.504	\$ 3.504
	Vinilit. Adhesivo para PVC rápido 60 cc	623	1	\$ 790	\$ 790
	Union americana 63 mm	624	2	\$ 4.966	\$ 9.932
	Abrazadera Cremallera	625	2	\$ 600	\$ 1.200
	Terminal Poli HE 2"	626	1	\$ 3.700	\$ 3.700
	Terminal Poli HI 2"	627	1	\$ 5.712	\$ 5.712
	Manguera 2"	628	2	\$ 9.990	\$ 19.980
	Manguera 2" plana	629	2	\$ 2.647	\$ 5.294
	Salida de estanque (SOL/HE) 110 mm 4"	630	2	\$ 29.017	\$ 58.034
	Salida de estanque (SOL/HE) 63 mm 2"	631	1	\$ 5.983	\$ 5.983
	Sello de goma para flange 110 mm	632	5	\$ 2.353	\$ 11.765
	Sello de goma para flange 63 mm	633	4	\$ 1.210	\$ 4.840
				Subtotal	\$ 297.066
Soporte	Soldadura	701	1	\$ 149.580	\$ 149.580
	Perno Hexagonal 5/8"	702	2	\$ 1.010	\$ 2.020
	Tuerca Hexagonal 5/8	703	14	\$ 99	\$ 1.386
	Golilla Hexagonal 5/8	704	10	\$ 65	\$ 650
	Golilla Hexagonal 5/8	705	4	\$ 39	\$ 154
	Perfiles tipo canal de acero de 30x30, tira de 6 [m]	706	8	\$ 5.211	\$ 41.688
	Despacho	707	3	\$ 5.034	\$ 15.102
	Esmalte sintético azul	708	1	\$ 9.471	\$ 9.471
	Electrodo 6011 3/32	709	3	\$ 3.348	\$ 10.044
	Pletinas soporte a medida	710	2	\$ 18.500	\$ 37.000
	Disco Corte metal	711	1	\$ 703	\$ 703
	Pintura anticorrosiva 1/4 galón Sherwin Williams	712	1	\$ 8.287	\$ 8.287
				Subtotal	\$ 276.085
Cambio de pendiente	Tuerca Hexagonal 5/8	801	2	\$ 790	\$ 1.580
	Golilla Hexagonal 5/8	802	1	\$ 790	\$ 790
	Gata tijera 1.5T	803	1	\$ 7.227	\$ 7.227
	Hilo 5/8	804	1	\$ 2.009	\$ 2.009
	Barra roscada 1/2 mt, Φ 5/8"	805	1	\$ 4.382	\$ 4.382
				Subtotal	\$ 15.988
Instalacion electrica	Enchufe	901	1	\$ 1.804	\$ 1.804
	Alargador	902	1	\$ 4.370	\$ 4.370

PRESUPUESTO DE GASTO DE VALE A RENDIR					
ACTIVIDAD	DETALLE	ITEM	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
	Terminales U	903	6	\$ 42	\$ 252
	Transformador 12 v	904	1	\$ 3.193	\$ 3.193
	Interruptor 9/12 Simple	905	1	\$ 1.645	\$ 1.645
	Interruptor	906	1	\$ 655	\$ 655
	Caja interruptor	907	1	\$ 10.130	\$ 10.130
	Cordon 3x1,5 mm	908	1	\$ 790	\$ 790
				Subtotal	\$ 22.839
Otros	Cinta masking tape 50x50	1001	1	\$ 2.849	\$ 2.849
	Cinta masking tape 50x25	1002	1	\$ 1.504	\$ 1.504
	La gotita gel	1003	1	\$ 1.840	\$ 1.840
	La gotita liquida	1004	1	\$ 1.924	\$ 1.924
	Masilla epoxica	1005	1	\$ 2.899	\$ 2.899
	Agores	1006	1	\$ 2.605	\$ 2.605
	Esponja 3x10mm	1007	8	\$ 256	\$ 2.051
	Esponja autoadhesiva	1008	1	\$ 6.159	\$ 6.159
	Lija metal N° 80	1009	2	\$ 277	\$ 554
	Lija al agua N° 80	1010	2	\$ 210	\$ 420
	Lija al agua N° 120	1011	2	\$ 210	\$ 420
	Lija al agua N° 180	1012	4	\$ 210	\$ 840
	Bolsa basura	1013	2	\$ 3.252	\$ 6.504
	Sellador Silicona	1014	3	\$ 4.866	\$ 14.598
	Regaton	1015	42	\$ 84	\$ 3.528
	Brocha chica	1016	1	\$ 748	\$ 748
	Brocha grande	1017	1	\$ 1.084	\$ 1.084
				Subtotal	\$ 50.527
				SUBTOTAL	\$ 3.074.091
				Descuentos (PA)	\$ 82.703
				Subtotal desct	\$ 2.991.388
				IVA	\$ 568.364
				TOTAL	\$ 3.559.752

13.3 Resultados

13.3.1 Tablas coeficientes de descarga

En esta sección se tienen las mediciones realizadas para obtener los coeficientes de descarga.

Tabla 13.18 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°1

Rejilla N°1							
Caudal		Pendiente [%]	h1 [cm]	h2 [cm]	E [cm]	Cd	Froude
[l/min]	[l/s]						
399,0	6,650	0	4,64	0,39	9,17	0,438	1,397
449,0	7,483	0	5,00	0,59	9,94	0,449	1,407
500,0	8,333	0	5,29	0,86	10,76	0,448	1,437
549,0	9,150	0	5,72	1,09	11,37	0,455	1,406
401,5	6,692	1	3,95	0,41	10,28	0,410	1,789
453,0	7,550	1	4,27	0,59	11,17	0,422	1,799
499,0	8,317	1	4,62	0,80	11,77	0,430	1,760
551,0	9,183	1	4,97	1,10	12,51	0,427	1,742
398,0	6,633	2	3,44	0,63	11,63	0,346	2,180
454,5	7,575	2	3,78	0,83	12,63	0,359	2,163
499,0	8,317	2	4,07	1,07	13,27	0,360	2,126
547,0	9,117	2	4,40	1,32	13,87	0,361	2,075

Tabla 13.19 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°2

Rejilla N°2							
Caudal		Pendiente [%]	h1 [cm]	h2 [cm]	E [cm]	Cd	Froude
[l/min]	[l/s]						
252,3	4,205	0	3,57	0,90	6,63	0,483	1,312
300,0	5,000	0	4,01	1,22	7,44	0,489	1,306
351,0	5,850	0	4,49	1,58	8,24	0,488	1,292
400,0	6,667	0	4,91	1,89	8,98	0,495	1,287
450,0	7,500	0	5,23	2,25	9,77	0,483	1,317
499,0	8,317	0	5,66	2,60	10,42	0,479	1,298
254,0	4,233	1	2,96	0,90	7,48	0,441	1,748
299,0	4,983	1	3,35	1,21	8,24	0,444	1,709
350,5	5,842	1	3,76	1,53	9,08	0,450	1,682
400,0	6,667	1	4,07	1,86	9,98	0,443	1,703
448,5	7,475	1	4,43	2,12	10,72	0,453	1,686
501,0	8,350	1	4,74	2,49	11,59	0,437	1,701
251,0	4,183	2	2,58	0,78	8,39	0,426	2,123
304,0	5,067	2	2,98	1,08	9,36	0,439	2,071
350,0	5,833	2	3,30	1,37	10,19	0,439	2,042
399,0	6,650	2	3,66	1,65	10,95	0,445	1,997
451,5	7,525	2	3,98	1,95	11,87	0,445	1,991
499,0	8,317	2	4,29	2,24	12,58	0,441	1,965

Tabla 13.20 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°3

Rejilla N°3							
Caudal		Pendiente [%]	h1 [cm]	h2 [cm]	E [cm]	Cd	Froude
[l/min]	[l/s]						
404,0	6,733	0	4,72	0,35	9,21	0,449	1,378
448,0	7,467	0	5,08	0,46	9,85	0,469	1,370
499,0	8,317	0	5,42	0,65	10,62	0,481	1,386
554,0	9,233	0	5,84	0,88	11,36	0,490	1,376
399,0	6,650	1	4,10	0,33	9,90	0,427	1,683
451,5	7,525	1	4,44	0,52	10,77	0,440	1,687
499,0	8,317	1	4,80	0,72	11,42	0,449	1,661
548,0	9,133	1	5,08	0,82	12,21	0,469	1,677
402,0	6,700	2	3,57	0,38	11,33	0,392	2,085
450,0	7,500	2	3,88	0,53	12,12	0,408	2,060
501,5	8,358	2	4,17	0,70	13,02	0,419	2,059
552,0	9,200	2	4,57	0,90	13,52	0,433	1,981

Tabla 13.21 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°4

Rejilla N°4							
Caudal		Pendiente [%]	h1 [cm]	h2 [cm]	E [cm]	Cd	Froude
[l/min]	[l/s]						
249,5	4,158	0	3,44	1,69	6,67	0,366	1,370
299,5	4,992	0	3,94	2,04	7,48	0,371	1,339
349,0	5,817	0	4,42	2,46	8,24	0,353	1,316
399,5	6,658	0	4,90	2,82	8,97	0,354	1,289
449,0	7,483	0	5,25	3,16	9,73	0,351	1,306
500,5	8,342	0	5,70	3,40	10,42	0,380	1,287
254,0	4,233	1	2,88	1,65	7,64	0,357	1,817
300,0	5,000	1	3,25	1,97	8,47	0,354	1,791
352,0	5,867	1	3,66	2,34	9,33	0,345	1,760
401,0	6,683	1	3,99	2,65	10,18	0,344	1,760
451,0	7,517	1	4,31	2,94	11,02	0,349	1,763
500,0	8,333	1	4,68	3,26	11,67	0,347	1,728
253,0	4,217	2	2,51	1,60	8,73	0,328	2,225

Rejilla N°4							
Caudal		Pendiente [%]	h1 [cm]	h2 [cm]	E [cm]	Cd	Froude
[l/min]	[l/s]						
297,0	4,950	2	2,90	1,87	9,33	0,344	2,108
350,0	5,833	2	3,28	2,20	10,25	0,345	2,061
399,0	6,650	2	3,63	2,48	11,04	0,353	2,021
450,0	7,500	2	4,01	2,82	11,72	0,347	1,960
498,0	8,300	2	4,30	3,07	12,51	0,354	1,953

Tabla 13.22 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°5

Rejilla N°5							
Caudal		Pendiente [%]	h1 [cm]	h2 [cm]	E [cm]	Cd	Froude
[l/min]	[l/s]						
250,5	4,175	0	3,28	0,71	6,85	0,409	1,474
300,5	5,008	0	3,74	1,01	7,69	0,399	1,453
352,0	5,867	0	4,26	1,28	8,45	0,402	1,403
401,5	6,692	0	4,69	1,56	9,18	0,400	1,385
452,0	7,533	0	5,11	1,74	9,90	0,420	1,368
500,0	8,333	0	5,46	1,99	10,60	0,421	1,373
247,5	4,125	1	2,75	0,81	7,70	0,374	1,896
301,5	5,025	1	3,23	1,13	8,57	0,364	1,818
348,5	5,808	1	3,51	1,32	9,56	0,379	1,858
401,0	6,683	1	3,91	1,58	10,35	0,384	1,813
449,0	7,483	1	4,28	1,83	11,02	0,386	1,775
498,0	8,300	1	4,63	2,07	11,72	0,389	1,749
255,0	4,250	2	2,52	0,97	8,80	0,332	2,234
300,5	5,008	2	2,84	1,18	9,71	0,341	2,200
348,0	5,800	2	3,17	1,40	10,57	0,348	2,163
400,5	6,675	2	3,59	1,67	11,20	0,353	2,058
452,0	7,533	2	3,88	1,93	12,20	0,352	2,072
500,0	8,333	2	4,16	2,14	13,02	0,357	2,064

Tabla 13.23 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°6

Rejilla N°6							
Caudal		Pendiente [%]	h1 [cm]	h2 [cm]	E [cm]	Cd	Froude
[l/min]	[l/s]						
251,0	4,183	0	3,46	0,84	6,69	0,336	1,366
299,5	4,992	0	3,85	1,12	7,55	0,335	1,386
350,0	5,833	0	4,33	1,36	8,34	0,344	1,362
399,5	6,658	0	4,72	1,65	9,11	0,343	1,363
453,0	7,550	0	5,11	1,93	9,93	0,346	1,373
498,0	8,300	0	5,47	2,19	10,55	0,344	1,364
252,0	4,200	1	2,88	0,97	7,56	0,302	1,801
301,0	5,017	1	3,25	1,20	8,50	0,315	1,797
350,0	5,833	1	3,70	1,55	9,18	0,298	1,719
400,5	6,675	1	4,04	1,81	10,06	0,303	1,725
449,0	7,483	1	4,34	2,02	10,90	0,314	1,739
501,0	8,350	1	4,76	2,30	11,54	0,314	1,687
251,0	4,183	2	2,53	1,02	8,57	0,282	2,186
298,0	4,967	2	2,89	1,26	9,40	0,288	2,121
351,0	5,850	2	3,26	1,53	10,37	0,292	2,090
399,0	6,650	2	3,61	1,81	11,10	0,288	2,036
450,0	7,500	2	3,88	2,00	12,11	0,301	2,058
500,0	8,333	2	4,18	2,24	12,95	0,304	2,048

Tabla 13.24 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°7

Rejilla N°7							
Caudal		Pendiente [%]	h1 [cm]	h2 [cm]	E [cm]	Cd	Froude
[l/min]	[l/s]						
301,0	5,017	0	3,69	0,19	7,77	0,339	1,488
352,0	5,867	0	4,17	0,35	8,54	0,335	1,449
402,0	6,700	0	4,53	0,50	9,35	0,339	1,459
448,5	7,475	0	4,95	0,71	9,98	0,330	1,427
502,0	8,367	0	5,37	0,87	10,73	0,336	1,413
543,0	9,050	0	5,65	1,00	11,31	0,339	1,417
250,0	4,167	1	2,75	0,25	7,80	0,281	1,915
297,5	4,958	1	3,18	0,42	8,55	0,281	1,838
353,0	5,883	1	3,54	0,62	9,63	0,282	1,855
399,0	6,650	1	3,93	0,75	10,26	0,292	1,796
450,0	7,500	1	4,24	0,95	11,14	0,293	1,804
500,0	8,333	1	4,30	1,09	12,59	0,303	1,963
245,7	4,095	2	2,42	0,45	8,75	0,233	2,288
301,0	5,017	2	2,81	0,62	9,83	0,245	2,232
348,7	5,812	2	3,23	0,78	10,36	0,252	2,099
401,0	6,683	2	3,58	0,93	11,27	0,263	2,072
450,0	7,500	2	3,83	1,11	12,30	0,267	2,103
500,0	8,333	2	4,23	1,28	12,79	0,273	2,011

Tabla 13.25 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°8

Rejilla N°8							
Caudal		Pendiente [%]	h1 [cm]	h2 [cm]	E [cm]	Cd	Froude
[l/min]	[l/s]						
248,6	4,143	0	3,52	2,21	6,58	0,431	1,319
302,6	5,043	0	4,04	2,68	7,48	0,419	1,307
349,5	5,825	0	4,57	3,04	8,16	0,432	1,253
400,0	6,667	0	4,97	3,45	8,94	0,420	1,262
450,6	7,510	0	5,35	3,81	9,70	0,424	1,275
500,5	8,342	0	5,82	4,23	10,35	0,405	1,249
251,0	4,183	1	2,94	2,10	7,41	0,411	1,743
300,0	5,000	1	3,34	2,52	8,29	0,378	1,722
350,0	5,833	1	3,73	2,87	9,13	0,382	1,701
400,5	6,675	1	4,15	3,21	9,85	0,404	1,657
453,0	7,550	1	4,53	3,58	10,65	0,393	1,644
499,0	8,317	1	4,89	3,92	11,26	0,388	1,614
248,0	4,133	2	2,61	1,87	8,15	0,460	2,061
298,5	4,975	2	3,01	2,22	9,03	0,464	1,999
347,0	5,783	2	3,32	2,53	10,00	0,458	2,005
404,0	6,733	2	3,72	2,94	10,96	0,432	1,974
448,5	7,475	2	4,03	3,22	11,63	0,435	1,944
502,5	8,375	2	4,39	3,58	12,41	0,424	1,911

Tabla 13.26 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°9

Rejilla N°9							
Caudal		Pendiente [%]	h1 [cm]	h2 [cm]	E [cm]	Cd	Froude
[l/min]	[l/s]						
248,5	4,142	0	3,45	1,58	6,63	0,401	1,360
296,5	4,942	0	3,99	1,93	7,37	0,400	1,302
350,5	5,842	0	4,48	2,32	8,23	0,400	1,292
400,0	6,667	0	4,95	2,67	8,95	0,398	1,273
449,0	7,483	0	5,33	2,97	9,68	0,406	1,278
500,5	8,342	0	5,73	3,31	10,40	0,405	1,277
248,0	4,133	1	2,83	1,60	7,54	0,357	1,824

Rejilla N°9							
Caudal		Pendiente [%]	h1 [cm]	h2 [cm]	E [cm]	Cd	Froude
[l/min]	[l/s]						
301,0	5,017	1	3,30	1,97	8,40	0,360	1,759
351,0	5,850	1	3,65	2,29	9,32	0,361	1,764
402,0	6,700	1	4,07	2,64	10,04	0,358	1,711
448,0	7,467	1	4,35	2,87	10,85	0,372	1,727
501,0	8,350	1	4,83	3,19	11,43	0,385	1,653
248,0	4,133	2	2,50	1,45	8,51	0,387	2,191
299,0	4,983	2	2,89	1,78	9,44	0,381	2,128
353,5	5,892	2	3,25	2,11	10,49	0,382	2,108
399,0	6,650	2	3,60	2,37	11,12	0,392	2,043
449,0	7,483	2	4,03	2,65	11,64	0,408	1,944
500,0	8,333	2	4,24	2,95	12,77	0,388	2,006

Tabla 13.27 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°10

Rejilla N°10							
Caudal		Pendiente [%]	h1 [cm]	h2 [cm]	E [cm]	Cd	Froude
[l/min]	[l/s]						
249,5	4,158	0	3,52	1,37	6,60	0,440	1,324
301,0	5,017	0	4,01	1,77	7,46	0,424	1,311
351,5	5,858	0	4,45	2,05	8,27	0,443	1,312
399,0	6,650	0	4,87	2,42	8,98	0,425	1,300
449,0	7,483	0	5,29	2,72	9,71	0,431	1,293
500,5	8,342	0	5,68	3,03	10,44	0,436	1,295
249,0	4,150	1	2,96	1,48	7,30	0,380	1,712
301,0	5,017	1	3,34	1,86	8,32	0,367	1,726
348,0	5,800	1	3,80	2,24	8,94	0,351	1,643
398,5	6,642	1	4,20	2,55	9,71	0,358	1,618
447,0	7,450	1	4,52	2,80	10,52	0,370	1,630
500,0	8,333	1	4,91	3,18	11,26	0,358	1,607
254,0	4,233	2	2,62	1,52	8,37	0,346	2,094
299,0	4,983	2	2,99	1,79	9,13	0,357	2,029
354,0	5,900	2	3,38	2,10	10,11	0,368	1,998
399,0	6,650	2	3,62	2,35	11,06	0,366	2,026
449,0	7,483	2	4,03	2,65	11,64	0,372	1,944
500,5	8,342	2	4,30	2,92	12,61	0,374	1,968

Tabla 13.28 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°11

Rejilla N°11							
Caudal		Pendiente [%]	h1 [cm]	h2 [cm]	E [cm]	Cd	Froude
[l/min]	[l/s]						
254,0	4,233	0	3,47	0,66	6,75	0,391	1,376
298,0	4,967	0	3,90	0,89	7,48	0,389	1,355
354,0	5,900	0	4,39	1,16	8,37	0,395	1,347
400,0	6,667	0	4,77	1,41	9,08	0,394	1,344
449,5	7,492	0	5,18	1,66	9,79	0,397	1,334
500,0	8,333	0	5,57	1,89	10,51	0,403	1,332
250,5	4,175	1	2,87	0,85	7,53	0,333	1,802
297,0	4,950	1	3,28	1,07	8,31	0,342	1,752
348,3	5,805	1	3,67	1,33	9,19	0,345	1,733
402,5	6,708	1	4,05	1,62	10,11	0,345	1,730
449,3	7,488	1	4,43	1,84	10,74	0,352	1,689
499,0	8,317	1	4,78	2,09	11,46	0,354	1,672
250,7	4,178	2	2,44	0,92	8,91	0,306	2,303
302,0	5,033	2	2,80	1,18	9,93	0,310	2,257
349,5	5,825	2	3,16	1,40	10,64	0,319	2,174

Rejilla N°11							
Caudal		Pendiente	h1	h2	E	Cd	Froude
[l/min]	[l/s]						
404,7	6,745	2	3,53	1,62	11,57	0,334	2,133
449,0	7,483	2	3,83	1,84	12,25	0,334	2,097
497,0	8,283	2	4,14	2,05	12,96	0,341	2,064

Tabla 13.29 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°12

Rejilla N°12							
Caudal		Pendiente	h1	h2	E	Cd	Froude
[l/min]	[l/s]						
253,5	4,225	0	3,74	2,29	6,55	0,442	1,225
304,0	5,067	0	4,22	2,71	7,40	0,439	1,226
347,0	5,783	0	4,64	3,08	8,07	0,431	1,216
399,0	6,650	0	5,11	3,53	8,85	0,412	1,211
452,0	7,533	0	5,52	3,85	9,63	0,437	1,221
498,5	8,308	0	5,91	4,20	10,27	0,436	1,214
252,0	4,200	1	2,98	2,15	7,36	0,403	1,715
301,0	5,017	1	3,41	2,52	8,18	0,410	1,670
353,5	5,892	1	3,83	2,94	9,05	0,391	1,650
401,0	6,683	1	4,20	3,20	9,79	0,431	1,632
452,0	7,533	1	4,64	3,57	10,46	0,438	1,584
503,0	8,383	1	4,96	3,86	11,27	0,449	1,595
247,0	4,117	2	2,54	1,88	8,34	0,438	2,139
299,0	4,983	2	2,92	2,24	9,36	0,432	2,102
349,0	5,817	2	3,30	2,59	10,15	0,432	2,036
397,0	6,617	2	3,62	2,86	10,98	0,455	2,015
450,5	7,508	2	4,00	3,23	11,78	0,434	1,974
503,0	8,383	2	4,32	3,57	12,63	0,415	1,961

Tabla 13.30 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°13

Rejilla N°13							
Caudal		Pendiente	h1	h2	E	Cd	Froude
[l/min]	[l/s]						
201,7	3,362	0	3,18	0,94	5,64	0,496	1,243
260,0	4,333	0	3,71	1,33	6,72	0,499	1,275
309,4	5,157	0	4,25	1,68	7,50	0,492	1,235
360,0	6,000	0	4,70	2,02	8,30	0,489	1,238
408,5	6,808	0	5,13	2,33	9,02	0,492	1,232
464,0	7,733	0	5,60	2,69	9,81	0,489	1,226
199,0	3,317	1	2,54	1,00	6,30	0,455	1,721
252,8	4,213	1	2,98	1,34	7,38	0,460	1,717
310,5	5,175	1	3,39	1,70	8,54	0,462	1,745
359,0	5,983	1	3,83	2,02	9,21	0,458	1,674
408,5	6,808	1	4,22	2,37	9,97	0,444	1,652
459,5	7,658	1	4,59	2,61	10,74	0,467	1,638
203,0	3,383	2	2,18	1,02	7,50	0,434	2,211
249,5	4,158	2	2,51	1,31	8,57	0,430	2,199
306,0	5,100	2	2,90	1,64	9,73	0,432	2,171
357,5	5,958	2	3,27	1,98	10,59	0,418	2,115
409,5	6,825	2	3,60	2,25	11,52	0,430	2,095
456,0	7,600	2	3,91	2,50	12,26	0,435	2,068

Tabla 13.31 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°14

Rejilla N°14							
Caudal		Pendiente [%]	h1 [cm]	h2 [cm]	E [cm]	Cd	Froude
[l/min]	[l/s]						
250,0	4,167	0	3,47	1,96	6,65	0,390	1,354
295,0	4,917	0	3,95	2,24	7,37	0,419	1,316
349,0	5,817	0	4,48	2,66	8,20	0,416	1,290
399,5	6,658	0	4,93	2,99	8,95	0,431	1,276
449,0	7,483	0	5,34	3,35	9,67	0,427	1,275
498,0	8,300	0	5,65	3,67	10,41	0,426	1,297
251,0	4,183	1	2,86	1,80	7,58	0,402	1,819
300,5	5,008	1	3,25	2,12	8,48	0,417	1,792
355,0	5,917	1	3,72	2,47	9,29	0,434	1,729
401,0	6,683	1	4,12	2,79	9,92	0,436	1,677
449,0	7,483	1	4,42	3,08	10,74	0,433	1,692
500,0	8,333	1	4,82	3,42	11,41	0,434	1,652
251,0	4,183	2	2,54	1,72	8,51	0,387	2,166
299,0	4,983	2	2,92	2,08	9,33	0,371	2,094
350,5	5,842	2	3,24	2,35	10,43	0,386	2,108
398,0	6,633	2	3,62	2,68	11,03	0,384	2,023
447,0	7,450	2	3,96	2,96	11,78	0,396	1,989
504,0	8,400	2	4,32	3,31	12,67	0,390	1,966

Tabla 13.32 Mediciones para coeficiente de descarga, rejilla N°15

Rejilla N°15							
Caudal		Pendiente [%]	h1 [cm]	h2 [cm]	E [cm]	Cd	Froude
[l/min]	[l/s]						
251,7	4,195	0	3,41	0,99	6,75	0,415	1,398
298,0	4,967	0	3,89	1,28	7,49	0,410	1,362
350,0	5,833	0	4,31	1,57	8,35	0,416	1,370
398,0	6,633	0	4,80	1,88	9,01	0,411	1,323
450,0	7,500	0	5,23	2,12	9,77	0,426	1,319
500,0	8,333	0	5,64	2,42	10,46	0,424	1,308
250,0	4,167	1	2,90	1,17	7,45	0,347	1,770
303,0	5,050	1	3,37	1,45	8,33	0,363	1,718
347,0	5,783	1	3,67	1,72	9,15	0,360	1,728
399,0	6,650	1	4,10	2,03	9,90	0,359	1,680
449,0	7,483	1	4,45	2,33	10,69	0,358	1,674
500,0	8,333	1	4,81	2,59	11,44	0,364	1,660
255,0	4,250	2	2,54	1,18	8,71	0,340	2,203
300,0	5,000	2	2,88	1,40	9,54	0,353	2,151
352,0	5,867	2	3,29	1,66	10,32	0,365	2,069
397,0	6,617	2	3,59	1,89	11,08	0,369	2,043
448,5	7,475	2	3,97	2,21	11,80	0,362	1,986
500,0	8,333	2	4,22	2,45	12,83	0,365	2,022

13.3.2 Gráficos coeficientes de descarga

A continuación se presentan los demás gráficos de Coeficiente de descarga en función del caudal.

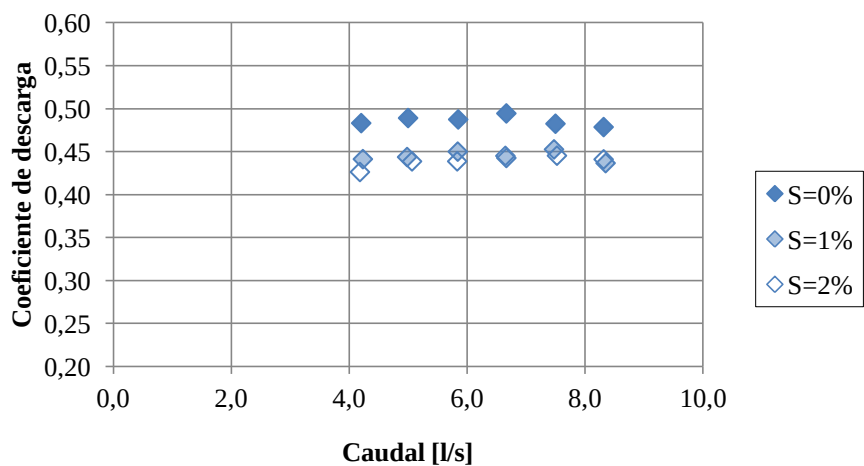


Figura 13.1 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°2

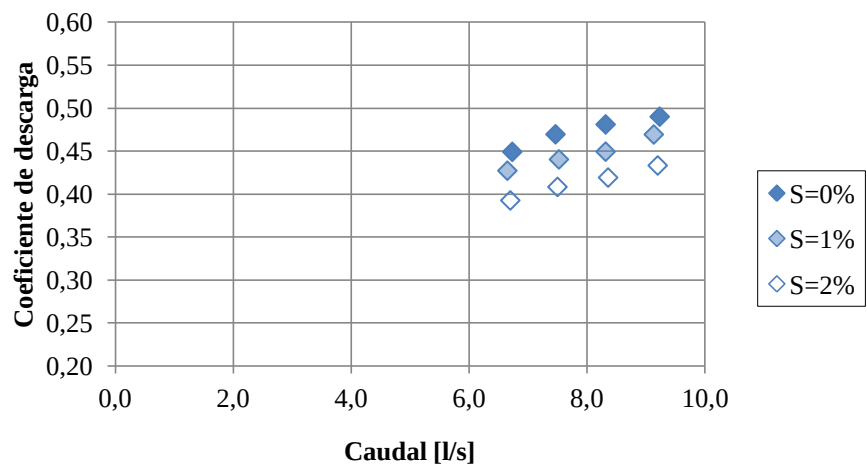


Figura 13.2 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°3

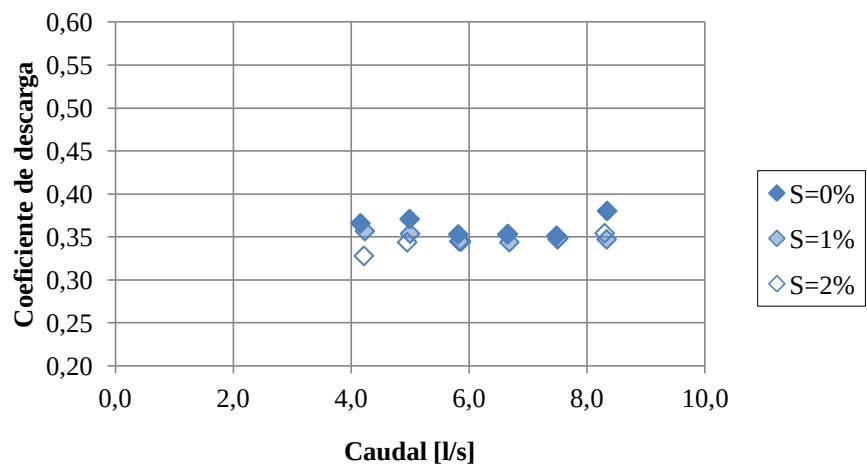


Figura 13.3 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°4

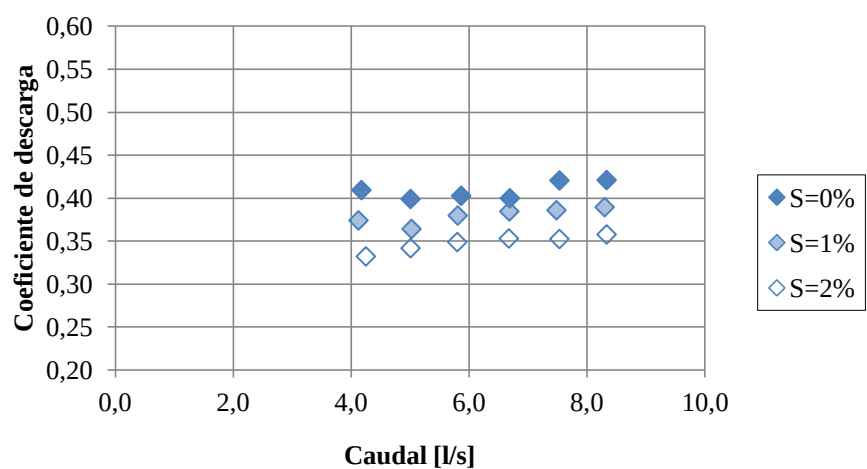


Figura 13.4 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°5

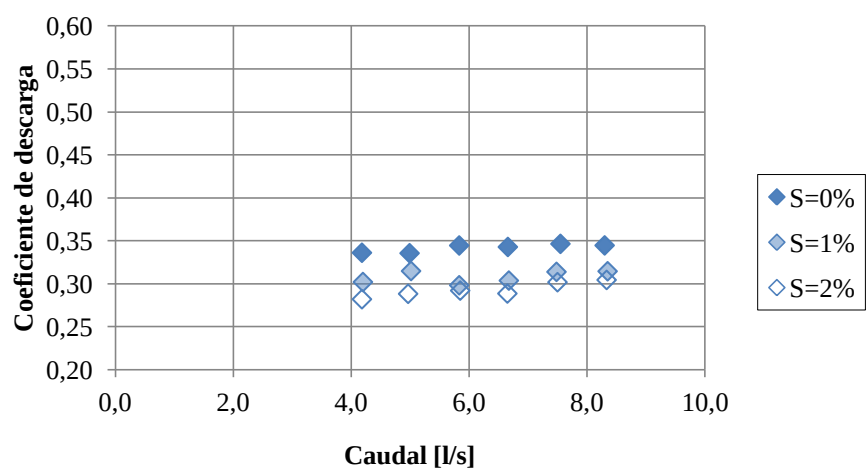


Figura 13.5 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°6

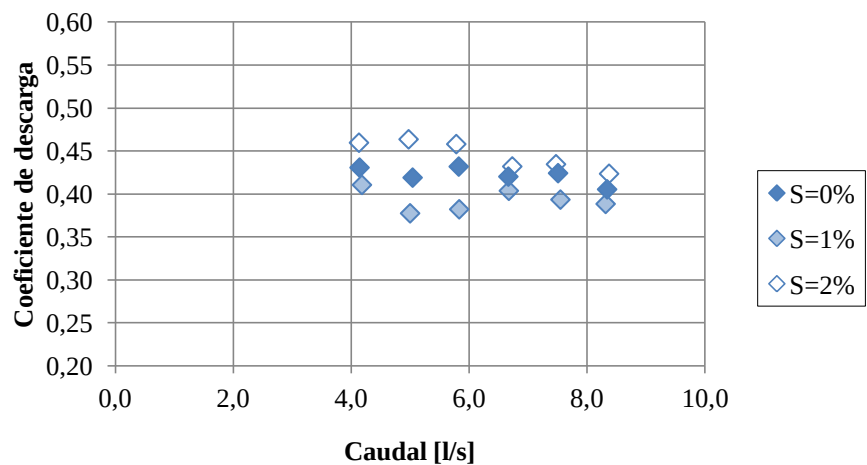


Figura 13.6 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°8

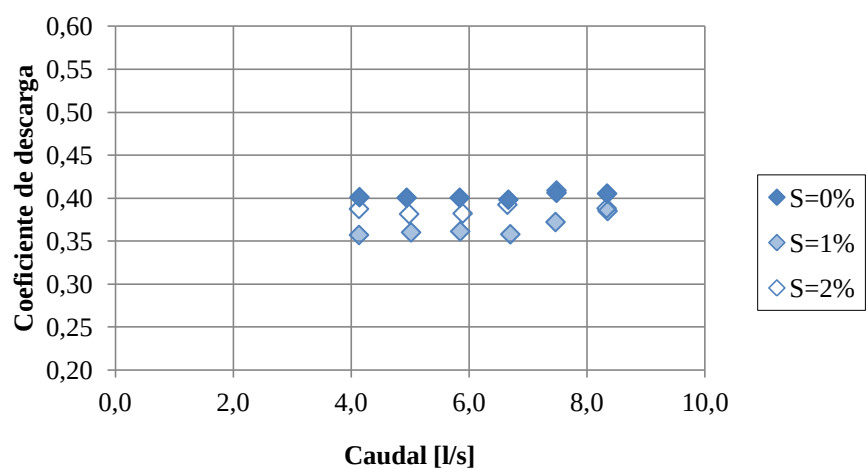


Figura 13.7 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°9

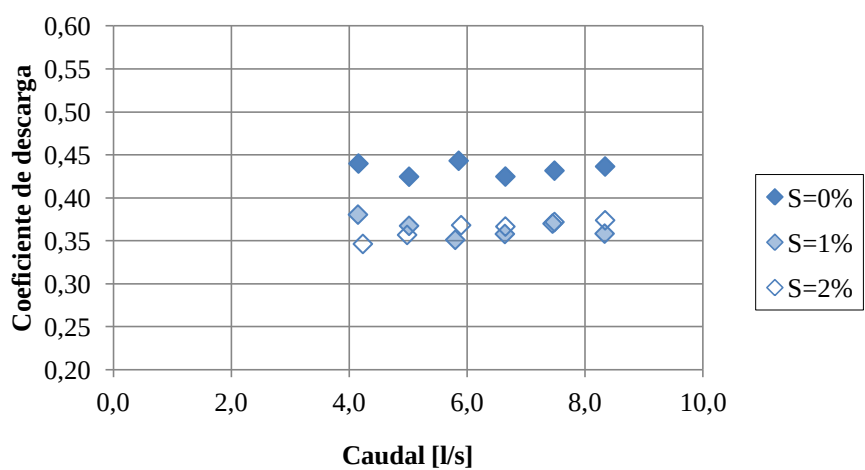


Figura 13.8 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°10

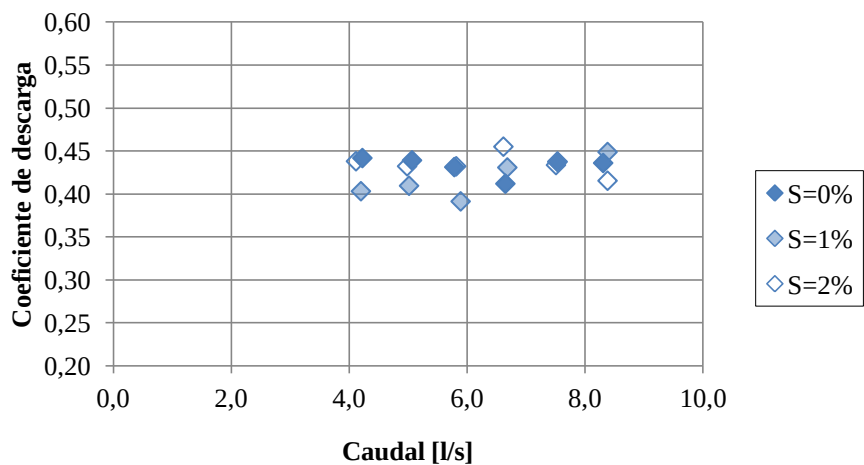


Figura 13.9 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°12

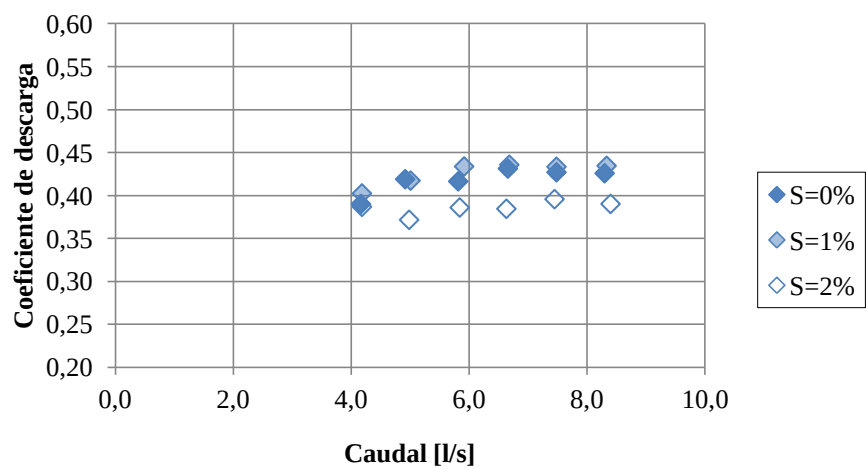


Figura 13.10 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°14

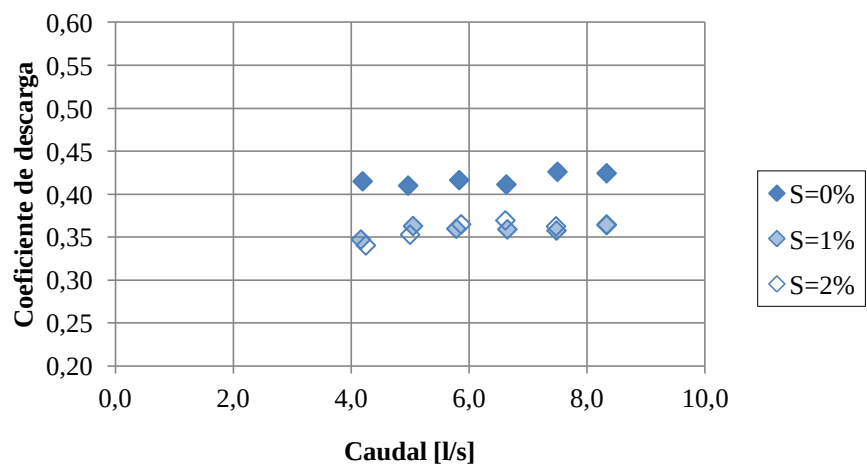


Figura 13.11 Coeficiente de descarga v/s caudal, rejilla N°15

Finalmente se presentan los del Coeficiente de descarga en función del N° de Froude.

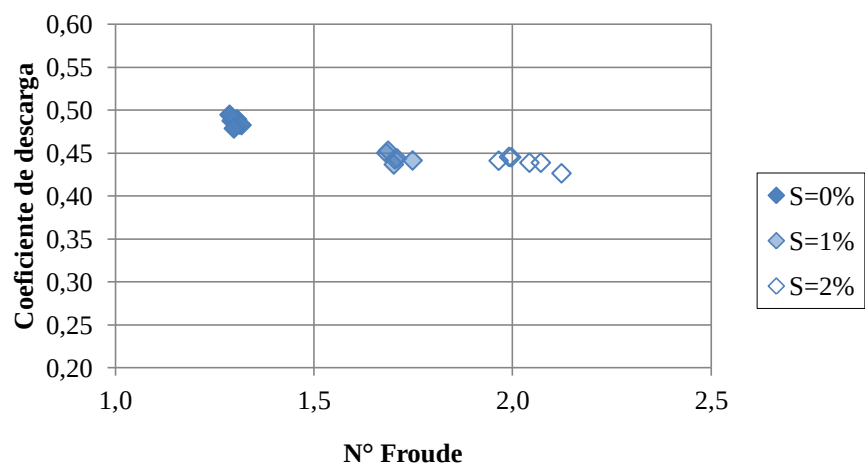


Figura 13.12 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°2

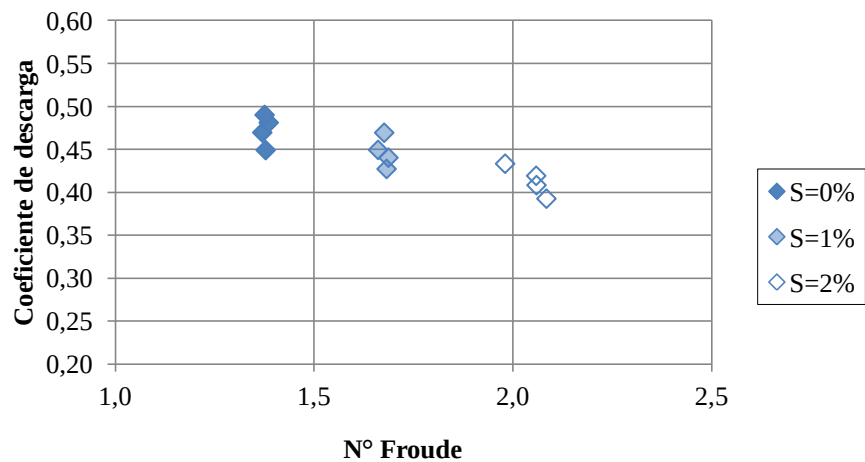


Figura 13.13 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°3

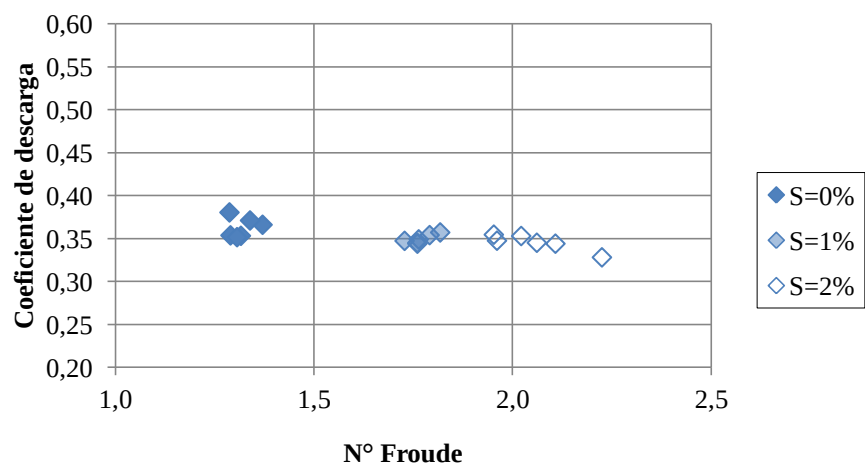


Figura 13.14 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°4

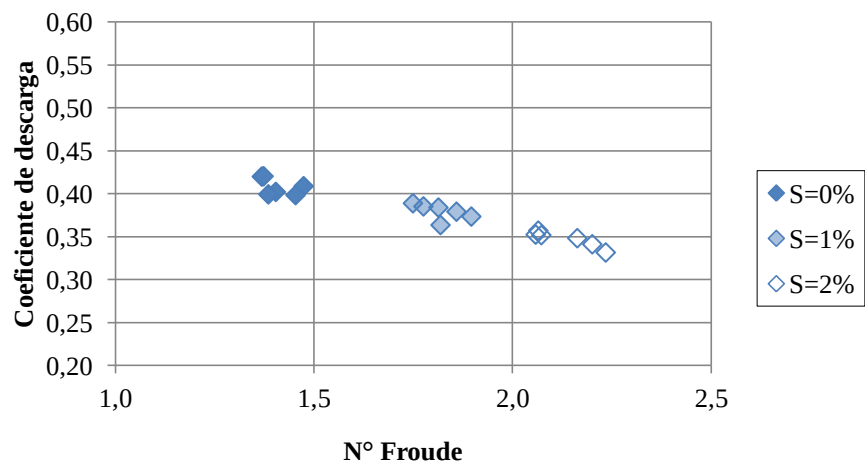


Figura 13.15 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°5

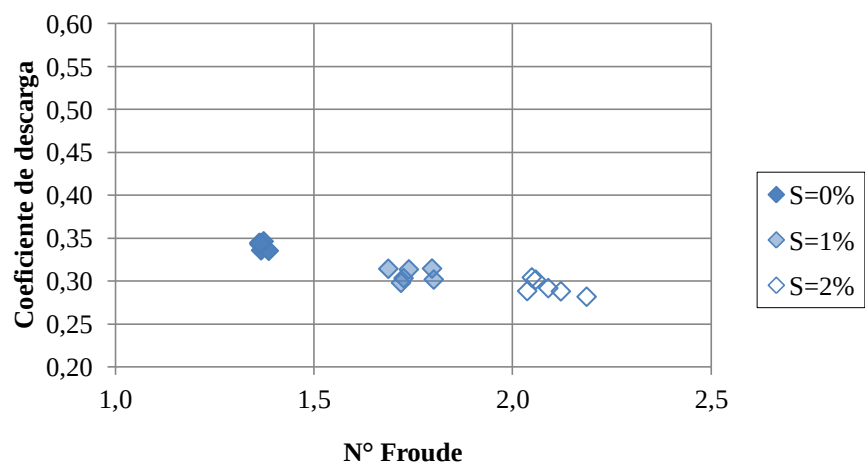


Figura 13.16 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°6

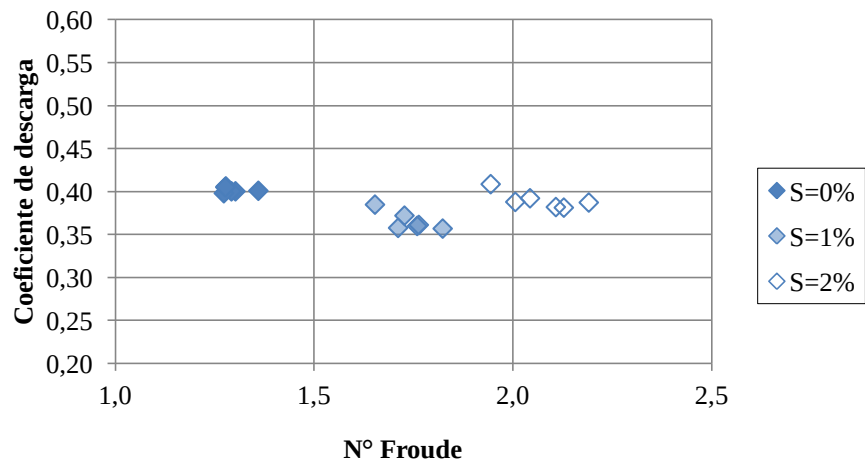


Figura 13.17 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°9

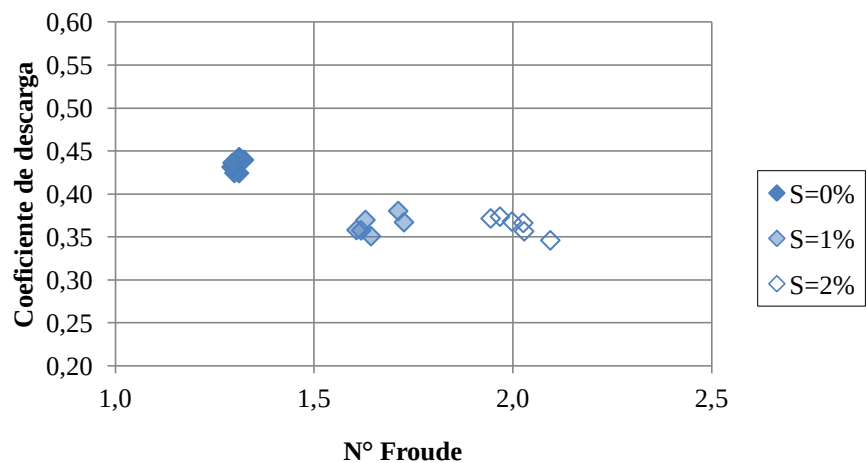


Figura 13.18 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°10

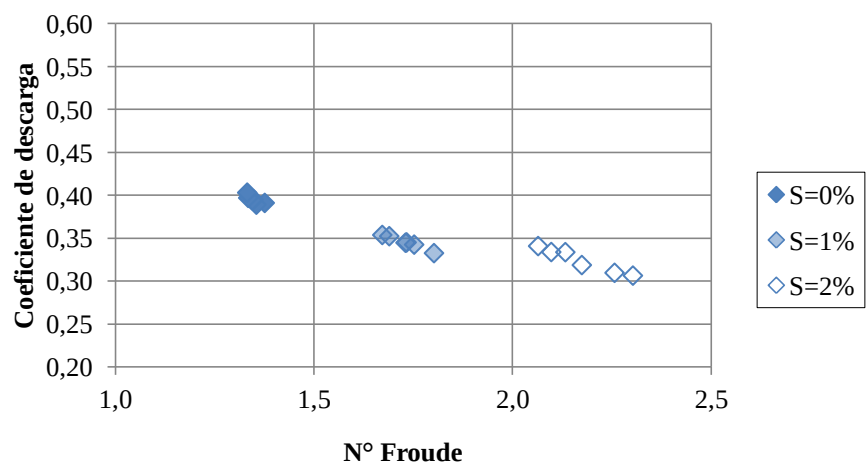


Figura 13.19 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°11

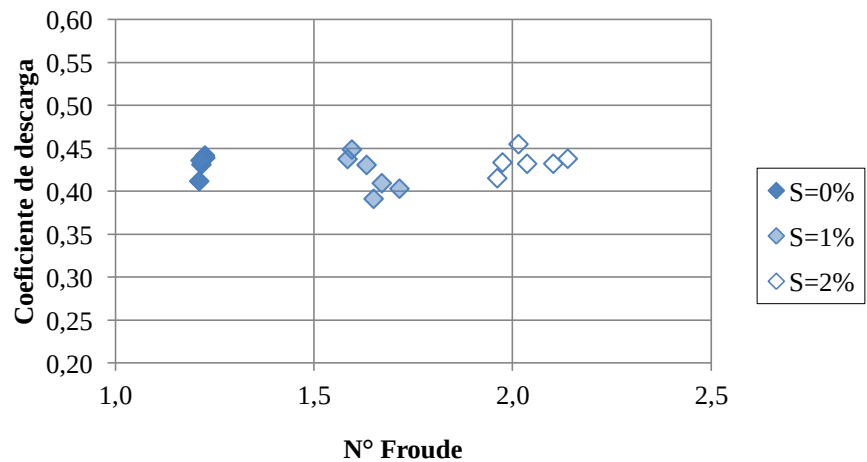


Figura 13.20 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°12

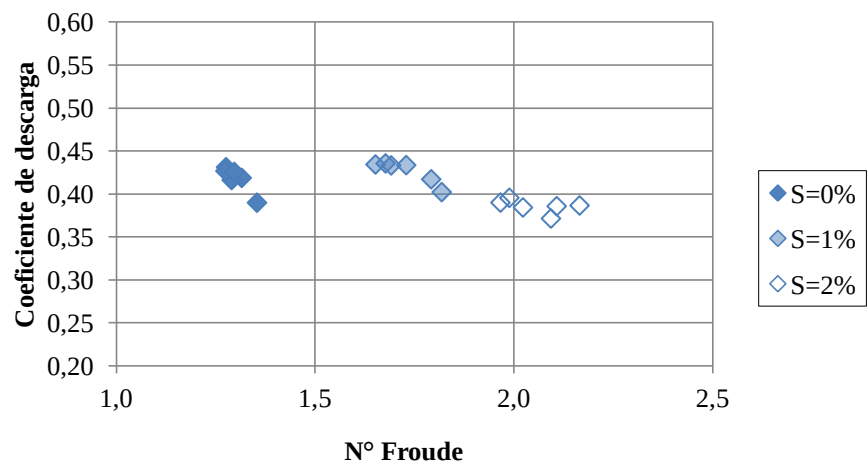


Figura 13.21 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°14

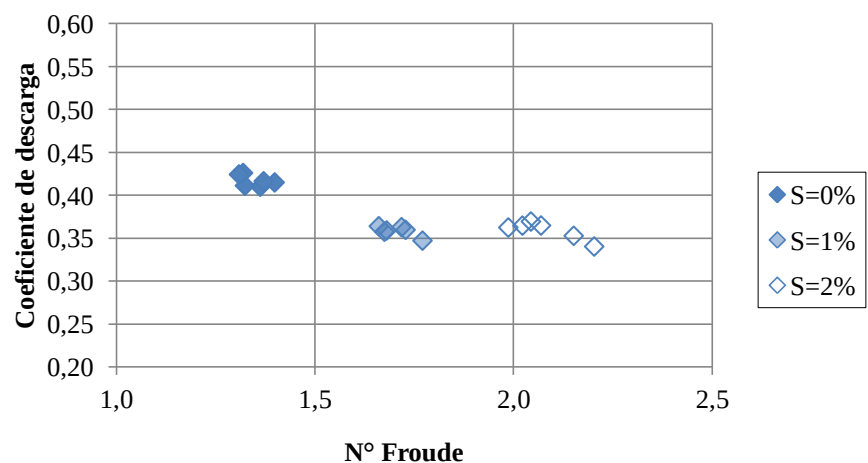


Figura 13.22 Coeficiente de descarga v/s N° de Froude, rejilla N°15

13.3.3 Comparación con autores sobre el coeficiente de descarga

En esta sección se presentan los resultados propuestos por los distintos autores para cada una de las rejillas estudiadas.

Los valores en rojo representan resultados que según el autor corresponden a otro tipo de rejilla o condición de flujo.

Tabla 13.33 Coeficiente de descarga propuestos por autores (1)

Rejilla	Caudal [l/s]	Pendiente [%]	Nº Froude	Coeficiente de descarga				
				Medido	Noseda	Subramanya y Shukla	Shafai bejestan and Shakouhirad	Ghosh y Ahmad
				-	-	-	-	Paralelas
				-	-	A1	-	-
1	6,650	0	1,397	0,438	0,663	0,433	0,426	0,213
1	7,483	0	1,407	0,449	0,656	0,433	0,426	0,213
1	8,333	0	1,437	0,448	0,652	0,433	0,423	0,213
1	9,150	0	1,406	0,455	0,645	0,433	0,426	0,213
1	6,692	1	1,789	0,410	0,677	0,427	0,396	0,213
1	7,550	1	1,799	0,422	0,670	0,427	0,396	0,213
1	8,317	1	1,760	0,430	0,663	0,427	0,398	0,213
1	9,183	1	1,742	0,427	0,657	0,427	0,400	0,213
1	6,633	2	2,180	0,346	0,689	0,421	0,374	0,213
1	7,575	2	2,163	0,359	0,681	0,421	0,375	0,213
1	8,317	2	2,126	0,360	0,674	0,421	0,377	0,213
1	9,117	2	2,075	0,361	0,667	0,421	0,379	0,213
2	4,205	0	1,312	0,483	0,664	0,250	0,766	0,202
2	5,000	0	1,306	0,489	0,654	0,250	0,767	0,202
2	5,850	0	1,292	0,488	0,645	0,250	0,769	0,202
2	6,667	0	1,287	0,495	0,637	0,250	0,770	0,202
2	7,500	0	1,317	0,483	0,632	0,250	0,765	0,202
2	8,317	0	1,298	0,479	0,626	0,250	0,768	0,202
2	4,233	1	1,748	0,441	0,681	0,244	0,704	0,202
2	4,983	1	1,709	0,444	0,670	0,244	0,708	0,202
2	5,842	1	1,682	0,450	0,660	0,244	0,712	0,202
2	6,667	1	1,703	0,443	0,653	0,244	0,709	0,202
2	7,475	1	1,686	0,453	0,646	0,244	0,711	0,202
2	8,350	1	1,701	0,437	0,640	0,244	0,709	0,202
2	4,183	2	2,123	0,426	0,693	0,238	0,664	0,202
2	5,067	2	2,071	0,439	0,680	0,238	0,669	0,202
2	5,833	2	2,042	0,439	0,671	0,238	0,672	0,202
2	6,650	2	1,997	0,445	0,662	0,238	0,676	0,202
2	7,525	2	1,991	0,445	0,655	0,238	0,677	0,202
2	8,317	2	1,965	0,441	0,649	0,238	0,680	0,202
3	6,733	0	1,378	0,449	0,641	0,250	0,727	0,202
3	7,467	0	1,370	0,469	0,635	0,250	0,728	0,202
3	8,317	0	1,386	0,481	0,629	0,250	0,726	0,202
3	9,233	0	1,376	0,490	0,623	0,250	0,727	0,202
3	6,650	1	1,683	0,427	0,652	0,244	0,685	0,202
3	7,525	1	1,687	0,440	0,646	0,244	0,685	0,202
3	8,317	1	1,661	0,449	0,639	0,244	0,688	0,202
3	9,133	1	1,677	0,469	0,635	0,244	0,686	0,202
3	6,700	2	2,085	0,392	0,664	0,238	0,643	0,202
3	7,500	2	2,060	0,408	0,657	0,238	0,646	0,202
3	8,358	2	2,059	0,419	0,651	0,238	0,646	0,202
3	9,200	2	1,981	0,433	0,643	0,238	0,653	0,202
4	4,158	0	1,370	0,366	0,705	0,339	0,551	0,198
4	4,992	0	1,339	0,371	0,692	0,339	0,554	0,198
4	5,817	0	1,316	0,353	0,682	0,339	0,557	0,198
4	6,658	0	1,289	0,354	0,673	0,339	0,560	0,198
4	7,483	0	1,306	0,351	0,667	0,339	0,558	0,198
4	8,342	0	1,287	0,380	0,660	0,339	0,561	0,198

Rejilla	Caudal [l/s]	Pendiente [%]	Nº Froude	Coeficiente de descarga				
				Medido	Noseda	Subramanya y Shukla	Shafai bejestan and Shakouhirad	Ghosh y Ahmad
				-	-	-	-	Paralelas
				-	-	A1	-	-
4	4,233	1	1,817	0,357	0,721	0,333	0,507	0,198
4	5,000	1	1,791	0,354	0,710	0,333	0,509	0,198
4	5,867	1	1,760	0,345	0,699	0,333	0,511	0,198
4	6,683	1	1,760	0,344	0,691	0,333	0,511	0,198
4	7,517	1	1,763	0,349	0,684	0,333	0,511	0,198
4	8,333	1	1,728	0,347	0,677	0,333	0,514	0,198
4	4,217	2	2,225	0,328	0,734	0,327	0,477	0,198
4	4,950	2	2,108	0,344	0,721	0,327	0,485	0,198
4	5,833	2	2,061	0,345	0,709	0,327	0,488	0,198
4	6,650	2	2,021	0,353	0,700	0,327	0,491	0,198
4	7,500	2	1,960	0,347	0,691	0,327	0,495	0,198
4	8,300	2	1,953	0,354	0,685	0,327	0,496	0,198
5	4,175	0	1,474	0,409	0,691	0,530	0,319	0,241
5	5,008	0	1,453	0,399	0,680	0,530	0,320	0,241
5	5,867	0	1,403	0,402	0,668	0,530	0,323	0,241
5	6,692	0	1,385	0,400	0,660	0,530	0,325	0,241
5	7,533	0	1,368	0,420	0,653	0,530	0,326	0,241
5	8,333	0	1,373	0,421	0,647	0,530	0,325	0,241
5	4,125	1	1,896	0,374	0,707	0,524	0,296	0,241
5	5,025	1	1,818	0,364	0,693	0,524	0,300	0,241
5	5,808	1	1,858	0,379	0,686	0,524	0,298	0,241
5	6,683	1	1,813	0,384	0,676	0,524	0,300	0,241
5	7,483	1	1,775	0,386	0,668	0,524	0,302	0,241
5	8,300	1	1,749	0,389	0,661	0,524	0,303	0,241
5	4,250	2	2,234	0,332	0,716	0,518	0,282	0,241
5	5,008	2	2,200	0,341	0,705	0,518	0,283	0,241
5	5,800	2	2,163	0,348	0,695	0,518	0,285	0,241
5	6,675	2	2,058	0,353	0,683	0,518	0,289	0,241
5	7,533	2	2,072	0,352	0,677	0,518	0,288	0,241
5	8,333	2	2,064	0,357	0,670	0,518	0,289	0,241
6	4,183	0	1,366	0,336	0,704	0,339	0,565	0,198
6	4,992	0	1,386	0,335	0,694	0,339	0,563	0,198
6	5,833	0	1,362	0,344	0,684	0,339	0,566	0,198
6	6,658	0	1,363	0,343	0,676	0,339	0,565	0,198
6	7,550	0	1,373	0,346	0,669	0,339	0,564	0,198
6	8,300	0	1,364	0,344	0,664	0,339	0,565	0,198
6	4,200	1	1,801	0,302	0,721	0,333	0,521	0,198
6	5,017	1	1,797	0,315	0,710	0,333	0,521	0,198
6	5,833	1	1,719	0,298	0,698	0,333	0,528	0,198
6	6,675	1	1,725	0,303	0,690	0,333	0,527	0,198
6	7,483	1	1,739	0,314	0,684	0,333	0,526	0,198
6	8,350	1	1,687	0,314	0,676	0,333	0,531	0,198
6	4,183	2	2,186	0,282	0,734	0,327	0,492	0,198
6	4,967	2	2,121	0,288	0,721	0,327	0,496	0,198
6	5,850	2	2,090	0,292	0,710	0,327	0,498	0,198
6	6,650	2	2,036	0,288	0,700	0,327	0,502	0,198
6	7,500	2	2,058	0,301	0,694	0,327	0,501	0,198
6	8,333	2	2,048	0,304	0,687	0,327	0,501	0,198
7	5,017	0	1,488	0,339	0,681	0,530	0,311	0,241
7	5,867	0	1,449	0,335	0,670	0,530	0,313	0,241
7	6,700	0	1,459	0,339	0,663	0,530	0,313	0,241
7	7,475	0	1,427	0,330	0,655	0,530	0,315	0,241
7	8,367	0	1,413	0,336	0,649	0,530	0,316	0,241
7	9,050	0	1,417	0,339	0,644	0,530	0,316	0,241
7	4,167	1	1,915	0,281	0,707	0,524	0,289	0,241
7	4,958	1	1,838	0,281	0,694	0,524	0,292	0,241
7	5,883	1	1,855	0,282	0,685	0,524	0,291	0,241
7	6,650	1	1,796	0,292	0,676	0,524	0,294	0,241
7	7,500	1	1,804	0,293	0,669	0,524	0,294	0,241
7	8,333	1	1,963	0,303	0,668	0,524	0,287	0,241

Rejilla	Caudal [l/s]	Pendiente [%]	Nº Froude	Coeficiente de descarga				
				Medido	Noseda	Subramanya y Shukla	Shafai bejestan and Shakouhirad	Ghosh y Ahmad
				-	-	-	-	Paralelas
				-	-	A1	-	-
7	4,095	2	2,288	0,233	0,719	0,518	0,274	0,241
7	5,017	2	2,232	0,245	0,705	0,518	0,276	0,241
7	5,812	2	2,099	0,252	0,693	0,518	0,281	0,241
7	6,683	2	2,072	0,263	0,684	0,518	0,282	0,241
7	7,500	2	2,103	0,267	0,678	0,518	0,281	0,241
7	8,333	2	2,011	0,273	0,669	0,518	0,285	0,241
8	4,143	0	1,319	0,431	0,686	0,192	0,950	0,195
8	5,043	0	1,307	0,419	0,673	0,192	0,952	0,195
8	5,825	0	1,253	0,432	0,663	0,192	0,964	0,195
8	6,667	0	1,262	0,420	0,655	0,192	0,962	0,195
8	7,510	0	1,275	0,424	0,649	0,192	0,959	0,195
8	8,342	0	1,249	0,405	0,642	0,192	0,965	0,195
8	4,183	1	1,743	0,411	0,702	0,186	0,875	0,195
8	5,000	1	1,722	0,378	0,690	0,186	0,878	0,195
8	5,833	1	1,701	0,382	0,680	0,186	0,881	0,195
8	6,675	1	1,657	0,404	0,671	0,186	0,888	0,195
8	7,550	1	1,644	0,393	0,663	0,186	0,890	0,195
8	8,317	1	1,614	0,388	0,657	0,186	0,895	0,195
8	4,133	2	2,061	0,460	0,713	0,180	0,832	0,195
8	4,975	2	1,999	0,464	0,700	0,180	0,840	0,195
8	5,783	2	2,005	0,458	0,691	0,180	0,839	0,195
8	6,733	2	1,974	0,432	0,681	0,180	0,843	0,195
8	7,475	2	1,944	0,435	0,674	0,180	0,847	0,195
8	8,375	2	1,911	0,424	0,666	0,180	0,851	0,195
9	4,142	0	1,360	0,401	0,644	0,339	0,566	0,220
9	4,942	0	1,302	0,400	0,632	0,339	0,573	0,220
9	5,842	0	1,292	0,400	0,622	0,339	0,574	0,220
9	6,667	0	1,273	0,398	0,614	0,339	0,577	0,220
9	7,483	0	1,278	0,406	0,608	0,339	0,576	0,220
9	8,342	0	1,277	0,405	0,603	0,339	0,576	0,220
9	4,133	1	1,824	0,357	0,661	0,333	0,519	0,220
9	5,017	1	1,759	0,360	0,648	0,333	0,524	0,220
9	5,850	1	1,764	0,361	0,639	0,333	0,524	0,220
9	6,700	1	1,711	0,358	0,630	0,333	0,529	0,220
9	7,467	1	1,727	0,372	0,625	0,333	0,527	0,220
9	8,350	1	1,653	0,385	0,616	0,333	0,534	0,220
9	4,133	2	2,191	0,387	0,671	0,327	0,491	0,219
9	4,983	2	2,128	0,381	0,659	0,327	0,496	0,219
9	5,892	2	2,108	0,382	0,649	0,327	0,497	0,219
9	6,650	2	2,043	0,392	0,640	0,327	0,502	0,219
9	7,483	2	1,944	0,408	0,631	0,327	0,509	0,219
9	8,333	2	2,006	0,388	0,627	0,327	0,504	0,219
10	4,158	0	1,324	0,440	0,686	0,192	0,985	0,195
10	5,017	0	1,311	0,424	0,674	0,192	0,988	0,195
10	5,858	0	1,312	0,443	0,665	0,192	0,988	0,195
10	6,650	0	1,300	0,425	0,657	0,192	0,991	0,195
10	7,483	0	1,293	0,431	0,650	0,192	0,992	0,195
10	8,342	0	1,295	0,436	0,644	0,192	0,992	0,195
10	4,150	1	1,712	0,380	0,701	0,186	0,913	0,195
10	5,017	1	1,726	0,367	0,690	0,186	0,911	0,195
10	5,800	1	1,643	0,351	0,679	0,186	0,924	0,195
10	6,642	1	1,618	0,358	0,670	0,186	0,929	0,195
10	7,450	1	1,630	0,370	0,664	0,186	0,927	0,195
10	8,333	1	1,607	0,358	0,656	0,186	0,931	0,195
10	4,233	2	2,094	0,346	0,712	0,180	0,861	0,195
10	4,983	2	2,029	0,357	0,700	0,180	0,869	0,195
10	5,900	2	1,998	0,368	0,689	0,180	0,873	0,195
10	6,650	2	2,026	0,366	0,683	0,180	0,869	0,195
10	7,483	2	1,944	0,372	0,674	0,180	0,880	0,195
10	8,342	2	1,968	0,374	0,668	0,180	0,877	0,195

Rejilla	Caudal [l/s]	Pendiente [%]	Nº Froude	Coeficiente de descarga				
				Medido	Noseda	Subramanya y Shukla	Shafai bejestan and Shakouhirad	Ghosh y Ahmad
				-	-	-	-	Paralelas
				-	-	A1	-	-
11	4,233	0	1,376	0,391	0,643	0,339	0,558	0,220
11	4,967	0	1,355	0,389	0,634	0,339	0,560	0,220
11	5,900	0	1,347	0,395	0,624	0,339	0,561	0,220
11	6,667	0	1,344	0,394	0,617	0,339	0,562	0,220
11	7,492	0	1,334	0,397	0,611	0,339	0,563	0,220
11	8,333	0	1,332	0,403	0,605	0,339	0,563	0,220
11	4,175	1	1,802	0,333	0,659	0,333	0,515	0,220
11	4,950	1	1,752	0,342	0,648	0,333	0,519	0,220
11	5,805	1	1,733	0,345	0,639	0,333	0,521	0,220
11	6,708	1	1,730	0,345	0,631	0,333	0,521	0,220
11	7,488	1	1,689	0,352	0,623	0,333	0,525	0,220
11	8,317	1	1,672	0,354	0,617	0,333	0,527	0,220
11	4,178	2	2,303	0,306	0,673	0,327	0,479	0,219
11	5,033	2	2,257	0,310	0,662	0,327	0,482	0,219
11	5,825	2	2,174	0,319	0,651	0,327	0,487	0,219
11	6,745	2	2,133	0,334	0,642	0,327	0,490	0,219
11	7,483	2	2,097	0,334	0,635	0,327	0,492	0,219
11	8,283	2	2,064	0,341	0,629	0,327	0,495	0,219
12	4,225	0	1,225	0,442	0,680	0,530	1,034	0,241
12	5,067	0	1,226	0,439	0,669	0,530	1,033	0,241
12	5,783	0	1,216	0,431	0,661	0,530	1,036	0,241
12	6,650	0	1,211	0,412	0,653	0,530	1,037	0,241
12	7,533	0	1,221	0,437	0,646	0,530	1,035	0,241
12	8,308	0	1,214	0,436	0,640	0,530	1,036	0,241
12	4,200	1	1,715	0,403	0,700	0,524	0,936	0,241
12	5,017	1	1,670	0,410	0,688	0,524	0,943	0,241
12	5,892	1	1,650	0,391	0,678	0,524	0,947	0,241
12	6,683	1	1,632	0,431	0,670	0,524	0,950	0,241
12	7,533	1	1,584	0,438	0,661	0,524	0,958	0,241
12	8,383	1	1,595	0,449	0,655	0,524	0,956	0,241
12	4,117	2	2,139	0,438	0,715	0,518	0,877	0,241
12	4,983	2	2,102	0,432	0,702	0,518	0,881	0,241
12	5,817	2	2,036	0,432	0,691	0,518	0,890	0,241
12	6,617	2	2,015	0,455	0,683	0,518	0,893	0,241
12	7,508	2	1,974	0,434	0,674	0,518	0,898	0,241
12	8,383	2	1,961	0,415	0,667	0,518	0,900	0,241
13	3,362	0	1,243	0,496	0,694	0,530	1,045	0,241
13	4,333	0	1,275	0,499	0,681	0,530	1,037	0,241
13	5,157	0	1,235	0,492	0,668	0,530	1,047	0,241
13	6,000	0	1,238	0,489	0,660	0,530	1,046	0,241
13	6,808	0	1,232	0,492	0,652	0,530	1,047	0,241
13	7,733	0	1,226	0,489	0,645	0,530	1,049	0,241
13	3,317	1	1,721	0,455	0,715	0,524	0,949	0,241
13	4,213	1	1,717	0,460	0,700	0,524	0,950	0,241
13	5,175	1	1,745	0,462	0,689	0,524	0,945	0,241
13	5,983	1	1,674	0,458	0,678	0,524	0,957	0,241
13	6,808	1	1,652	0,444	0,669	0,524	0,961	0,241
13	7,658	1	1,638	0,467	0,662	0,524	0,963	0,241
13	3,383	2	2,211	0,434	0,729	0,518	0,882	0,241
13	4,158	2	2,199	0,430	0,716	0,518	0,883	0,241
13	5,100	2	2,171	0,432	0,703	0,518	0,886	0,241
13	5,958	2	2,115	0,418	0,692	0,518	0,893	0,241
13	6,825	2	2,095	0,430	0,683	0,518	0,896	0,241
13	7,600	2	2,068	0,435	0,676	0,518	0,899	0,241
14	4,167	0	1,354	0,390	0,751	0,530	0,727	0,209
14	4,917	0	1,316	0,419	0,739	0,530	0,733	0,209
14	5,817	0	1,290	0,416	0,727	0,530	0,737	0,209
14	6,658	0	1,276	0,431	0,718	0,530	0,740	0,209
14	7,483	0	1,275	0,427	0,710	0,530	0,740	0,209
14	8,300	0	1,297	0,426	0,705	0,530	0,736	0,209

Rejilla	Caudal [l/s]	Pendiente [%]	Nº Froude	Coeficiente de descarga				
				Medido	Noseda	Subramanya y Shukla	Shafai bejestan and Shakouhirad	Ghosh y Ahmad
				-	-	-	-	Paralelas
				-	-	A1	-	-
14	4,183	1	1,819	0,402	0,770	0,524	0,666	0,209
14	5,008	1	1,792	0,417	0,757	0,524	0,669	0,209
14	5,917	1	1,729	0,434	0,744	0,524	0,676	0,209
14	6,683	1	1,677	0,436	0,735	0,524	0,682	0,209
14	7,483	1	1,692	0,433	0,728	0,524	0,681	0,209
14	8,333	1	1,652	0,434	0,720	0,524	0,685	0,209
14	4,183	2	2,166	0,387	0,782	0,518	0,633	0,209
14	4,983	2	2,094	0,371	0,768	0,518	0,639	0,209
14	5,842	2	2,108	0,386	0,758	0,518	0,638	0,209
14	6,633	2	2,023	0,384	0,747	0,518	0,646	0,209
14	7,450	2	1,989	0,396	0,738	0,518	0,649	0,209
14	8,400	2	1,966	0,390	0,730	0,518	0,651	0,209
15	4,195	0	1,398	0,415	0,753	0,530	0,720	0,209
15	4,967	0	1,362	0,410	0,740	0,530	0,726	0,209
15	5,833	0	1,370	0,416	0,730	0,530	0,725	0,209
15	6,633	0	1,323	0,411	0,720	0,530	0,732	0,209
15	7,500	0	1,319	0,426	0,712	0,530	0,733	0,209
15	8,333	0	1,308	0,424	0,705	0,530	0,735	0,209
15	4,167	1	1,770	0,347	0,769	0,524	0,672	0,209
15	5,050	1	1,718	0,363	0,754	0,524	0,678	0,209
15	5,783	1	1,728	0,360	0,746	0,524	0,677	0,209
15	6,650	1	1,680	0,359	0,735	0,524	0,682	0,209
15	7,483	1	1,674	0,358	0,727	0,524	0,683	0,209
15	8,333	1	1,660	0,364	0,720	0,524	0,685	0,209
15	4,250	2	2,203	0,340	0,782	0,518	0,630	0,209
15	5,000	2	2,151	0,353	0,770	0,518	0,634	0,209
15	5,867	2	2,069	0,365	0,757	0,518	0,642	0,209
15	6,617	2	2,043	0,369	0,748	0,518	0,644	0,209
15	7,475	2	1,986	0,362	0,738	0,518	0,650	0,209
15	8,333	2	2,022	0,365	0,732	0,518	0,646	0,209

Tabla 13.34 Coeficiente de descarga propuestos por autores (2)

Rejilla	Caudal [l/s]	Pendiente [%]	N° Froude	Coeficiente de descarga												
				Medido	Subramanya						Zagade					
					-	Paralela inclinada		Paralela horizontal			Orificios circulares		Paralela		Perpendicular	
						-	A1	B1	A1	A3	B1	A1	B1	A1	B1	A1
1	6,650	0	1,397	0,438	0,433	-	0,430	0,405	0,492	0,409	0,170	0,324	0,383	0,409	-0,037	
1	7,483	0	1,407	0,449	0,433	-	0,430	0,403	0,488	0,409	0,170	0,324	0,381	0,409	-0,040	
1	8,333	0	1,437	0,448	0,433	-	0,427	0,397	0,477	0,409	0,169	0,324	0,374	0,409	-0,050	
1	9,150	0	1,406	0,455	0,433	-	0,430	0,403	0,489	0,409	0,170	0,324	0,381	0,409	-0,040	
1	6,692	1	1,789	0,410	0,427	0,832	0,400	0,336	0,360	0,409	0,157	0,324	0,305	0,409	-0,173	
1	7,550	1	1,799	0,422	0,427	0,830	0,400	0,335	0,358	0,409	0,156	0,324	0,303	0,409	-0,177	
1	8,317	1	1,760	0,430	0,427	0,838	0,402	0,341	0,369	0,409	0,158	0,324	0,310	0,409	-0,163	
1	9,183	1	1,742	0,427	0,427	0,842	0,404	0,343	0,374	0,409	0,159	0,324	0,313	0,409	-0,156	
1	6,633	2	2,180	0,346	0,421	0,611	0,379	0,286	0,265	0,409	0,137	0,324	0,248	0,409	-0,323	
1	7,575	2	2,163	0,359	0,421	0,613	0,379	0,288	0,268	0,409	0,138	0,324	0,250	0,409	-0,317	
1	8,317	2	2,126	0,360	0,421	0,619	0,381	0,292	0,276	0,409	0,140	0,324	0,255	0,409	-0,302	
1	9,117	2	2,075	0,361	0,421	0,628	0,384	0,298	0,287	0,409	0,143	0,324	0,262	0,409	-0,282	
2	4,205	0	1,312	0,483	0,250	-	0,347	0,295	0,362	0,412	0,171	0,326	0,403	0,412	-0,011	
2	5,000	0	1,306	0,489	0,250	-	0,348	0,296	0,364	0,412	0,171	0,326	0,405	0,412	-0,009	
2	5,850	0	1,292	0,488	0,250	-	0,349	0,299	0,370	0,412	0,171	0,326	0,408	0,412	-0,005	
2	6,667	0	1,287	0,495	0,250	-	0,349	0,300	0,372	0,412	0,171	0,326	0,409	0,412	-0,004	
2	7,500	0	1,317	0,483	0,250	-	0,346	0,294	0,360	0,412	0,171	0,326	0,402	0,412	-0,012	
2	8,317	0	1,298	0,479	0,250	-	0,348	0,298	0,368	0,412	0,171	0,326	0,406	0,412	-0,007	

Rejilla	Caudal [l/s]	Pendiente [%]	Nº Froude	Coeficiente de descarga											
				Medido	Subramanya							Zagade			
					Paralela inclinada		Paralela horizontal			Orificios circulares		Paralela		Perpendicular	
					-	-	A1	B1	A1	A3	B1	A1	B1	A1	B1
2	4,233	1	1,748	0,441	0,244	0,718	0,312	0,215	0,208	0,412	0,159	0,326	0,312	0,412	-0,158
2	4,983	1	1,709	0,444	0,244	0,727	0,315	0,221	0,220	0,412	0,160	0,326	0,319	0,412	-0,144
2	5,842	1	1,682	0,450	0,244	0,733	0,317	0,225	0,228	0,412	0,161	0,326	0,324	0,412	-0,134
2	6,667	1	1,703	0,443	0,244	0,728	0,315	0,222	0,222	0,412	0,161	0,326	0,320	0,412	-0,142
2	7,475	1	1,686	0,453	0,244	0,732	0,316	0,225	0,227	0,412	0,161	0,326	0,323	0,412	-0,136
2	8,350	1	1,701	0,437	0,244	0,728	0,315	0,222	0,223	0,412	0,161	0,326	0,320	0,412	-0,141
2	4,183	2	2,123	0,426	0,238	0,497	0,290	0,165	0,113	0,412	0,140	0,326	0,255	0,412	-0,301
2	5,067	2	2,071	0,439	0,238	0,505	0,293	0,171	0,124	0,412	0,143	0,326	0,262	0,412	-0,281
2	5,833	2	2,042	0,439	0,238	0,510	0,294	0,174	0,131	0,412	0,144	0,326	0,266	0,412	-0,270
2	6,650	2	1,997	0,445	0,238	0,518	0,297	0,180	0,142	0,412	0,147	0,326	0,272	0,412	-0,252
2	7,525	2	1,991	0,445	0,238	0,519	0,297	0,181	0,143	0,412	0,147	0,326	0,273	0,412	-0,250
2	8,317	2	1,965	0,441	0,238	0,524	0,299	0,184	0,149	0,412	0,148	0,326	0,277	0,412	-0,240
3	6,733	0	1,378	0,449	0,250	-	0,341	0,281	0,335	0,412	0,170	0,326	0,387	0,412	-0,031
3	7,467	0	1,370	0,469	0,250	-	0,342	0,283	0,339	0,412	0,170	0,326	0,389	0,412	-0,028
3	8,317	0	1,386	0,481	0,250	-	0,340	0,279	0,332	0,412	0,170	0,326	0,385	0,412	-0,033
3	9,233	0	1,376	0,490	0,250	-	0,341	0,282	0,336	0,412	0,170	0,326	0,388	0,412	-0,030
3	6,650	1	1,683	0,427	0,244	0,732	0,316	0,225	0,228	0,412	0,161	0,326	0,324	0,412	-0,134
3	7,525	1	1,687	0,440	0,244	0,731	0,316	0,224	0,227	0,412	0,161	0,326	0,323	0,412	-0,136
3	8,317	1	1,661	0,449	0,244	0,737	0,318	0,229	0,235	0,412	0,162	0,326	0,328	0,412	-0,127
3	9,133	1	1,677	0,469	0,244	0,734	0,317	0,226	0,230	0,412	0,162	0,326	0,325	0,412	-0,132
3	6,700	2	2,085	0,392	0,238	0,503	0,292	0,169	0,121	0,412	0,142	0,326	0,260	0,412	-0,286
3	7,500	2	2,060	0,408	0,238	0,507	0,293	0,172	0,127	0,412	0,144	0,326	0,264	0,412	-0,276
3	8,358	2	2,059	0,419	0,238	0,507	0,293	0,172	0,127	0,412	0,144	0,326	0,264	0,412	-0,276
3	9,200	2	1,981	0,433	0,238	0,521	0,298	0,182	0,145	0,412	0,148	0,326	0,275	0,412	-0,246
4	4,158	0	1,370	0,366	0,339	-	0,386	0,345	0,418	0,417	0,170	0,328	0,389	0,417	-0,029
4	4,992	0	1,339	0,371	0,339	-	0,389	0,351	0,431	0,417	0,171	0,328	0,397	0,417	-0,019
4	5,817	0	1,316	0,353	0,339	-	0,391	0,356	0,440	0,417	0,171	0,328	0,402	0,417	-0,012
4	6,658	0	1,289	0,354	0,339	-	0,393	0,362	0,451	0,417	0,171	0,328	0,409	0,417	-0,004
4	7,483	0	1,306	0,351	0,339	-	0,392	0,358	0,444	0,417	0,171	0,328	0,405	0,417	-0,009
4	8,342	0	1,287	0,380	0,339	-	0,394	0,362	0,452	0,417	0,171	0,328	0,409	0,417	-0,003
4	4,233	1	1,817	0,357	0,333	0,763	0,352	0,266	0,268	0,417	0,156	0,328	0,300	0,417	-0,184
4	5,000	1	1,791	0,354	0,333	0,768	0,353	0,270	0,276	0,417	0,157	0,328	0,305	0,417	-0,174
4	5,867	1	1,760	0,345	0,333	0,775	0,355	0,275	0,285	0,417	0,158	0,328	0,310	0,417	-0,163
4	6,683	1	1,760	0,344	0,333	0,775	0,355	0,275	0,285	0,417	0,158	0,328	0,310	0,417	-0,163
4	7,517	1	1,763	0,349	0,333	0,774	0,355	0,275	0,284	0,417	0,158	0,328	0,309	0,417	-0,164
4	8,333	1	1,728	0,347	0,333	0,782	0,358	0,280	0,294	0,417	0,160	0,328	0,316	0,417	-0,151
4	4,217	2	2,225	0,328	0,327	0,541	0,330	0,216	0,171	0,417	0,135	0,328	0,243	0,417	-0,341
4	4,950	2	2,108	0,344	0,327	0,559	0,335	0,229	0,196	0,417	0,141	0,328	0,257	0,417	-0,295
4	5,833	2	2,061	0,345	0,327	0,567	0,338	0,234	0,206	0,417	0,144	0,328	0,264	0,417	-0,277
4	6,650	2	2,021	0,353	0,327	0,574	0,340	0,239	0,215	0,417	0,146	0,328	0,269	0,417	-0,262
4	7,500	2	1,960	0,347	0,327	0,584	0,343	0,247	0,230	0,417	0,149	0,328	0,278	0,417	-0,238
4	8,300	2	1,953	0,354	0,327	0,586	0,344	0,248	0,232	0,417	0,149	0,328	0,279	0,417	-0,235
5	4,175	0	1,474	0,409	0,530	-	0,472	0,458	0,551	0,397	0,168	0,315	0,366	0,397	-0,062
5	5,008	0	1,453	0,399	0,530	-	0,474	0,462	0,558	0,397	0,169	0,315	0,370	0,397	-0,055
5	5,867	0	1,403	0,402	0,530	-	0,478	0,472	0,577	0,397	0,170	0,315	0,381	0,397	-0,039
5	6,692	0	1,385	0,400	0,530	-	0,480	0,475	0,584	0,397	0,170	0,315	0,386	0,397	-0,033
5	7,533	0	1,368	0,420	0,530	-	0,482	0,479	0,591	0,397	0,171	0,315	0,390	0,397	-0,028
5	8,333	0	1,373	0,421	0,530	-	0,481	0,478	0,589	0,397	0,170	0,315	0,389	0,397	-0,029
5	4,125	1	1,896	0,374	0,524	0,876	0,442	0,389	0,419	0,397	0,152	0,315	0,288	0,397	-0,214
5	5,025	1	1,818	0,364	0,524	0,892	0,447	0,400	0,440	0,397	0,156	0,315	0,300	0,397	-0,184
5	5,808	1	1,858	0,379	0,524	0,883	0,445	0,394	0,429	0,397	0,154	0,315	0,293	0,397	-0,199
5	6,683	1	1,813	0,384	0,524	0,893	0,447	0,401	0,441	0,397	0,156	0,315	0,301	0,397	-0,182
5	7,483	1	1,775	0,386	0,524	0,901	0,450	0,406	0,452	0,397	0,157	0,315	0,307	0,397	-0,168
5	8,300	1	1,749	0,389	0,524	0,906	0,452	0,410	0,460	0,397	0,159	0,315	0,312	0,397	-0,159
5	4,250	2	2,234	0,332	0,518	0,668	0,425	0,349	0,341	0,397	0,134	0,315	0,242	0,397	-0,344
5	5,008	2	2,200	0,341	0,518	0,673	0,426	0,352	0,348	0,397	0,136	0,315	0,246	0,397	-0,331
5	5,800	2	2,163	0,348	0,518	0,679	0,428	0,356	0,356	0,397	0,138	0,315	0,250	0,397	-0,316
5	6,675	2	2,058	0,353	0,518	0,696	0,433	0,368	0,379	0,397	0,144	0,315	0,264	0,397	-0,276
5	7,533	2	2,072	0,352	0,518	0,694	0,432	0,367	0,375	0,397	0,143	0,315	0,262	0,397	-0,281

Rejilla	Caudal [l/s]	Pendiente [%]	Nº Froude	Coeficiente de descarga											
				Medido	Subramanya							Zagade			
					Paralela inclinada		Paralela horizontal			Orificios circulares		Paralela		Perpendicular	
					-	-	A1	B1	A1	A3	B1	A1	B1	A1	B1
5	8,333	2	2,064	0,357	0,518	0,695	0,433	0,367	0,377	0,397	0,143	0,315	0,263	0,397	-0,278
6	4,183	0	1,366	0,336	0,339	-	0,386	0,346	0,420	0,417	0,171	0,328	0,390	0,417	-0,027
6	4,992	0	1,386	0,335	0,339	-	0,385	0,342	0,412	0,417	0,170	0,328	0,386	0,417	-0,033
6	5,833	0	1,362	0,344	0,339	-	0,387	0,347	0,422	0,417	0,171	0,328	0,391	0,417	-0,026
6	6,658	0	1,363	0,343	0,339	-	0,387	0,346	0,421	0,417	0,171	0,328	0,391	0,417	-0,026
6	7,550	0	1,373	0,346	0,339	-	0,386	0,344	0,417	0,417	0,170	0,328	0,389	0,417	-0,029
6	8,300	0	1,364	0,344	0,339	-	0,387	0,346	0,421	0,417	0,171	0,328	0,391	0,417	-0,027
6	4,200	1	1,801	0,302	0,333	0,766	0,353	0,269	0,273	0,417	0,156	0,328	0,303	0,417	-0,178
6	5,017	1	1,797	0,315	0,333	0,767	0,353	0,270	0,274	0,417	0,157	0,328	0,304	0,417	-0,176
6	5,833	1	1,719	0,298	0,333	0,784	0,358	0,281	0,297	0,417	0,160	0,328	0,317	0,417	-0,148
6	6,675	1	1,725	0,303	0,333	0,783	0,358	0,280	0,295	0,417	0,160	0,328	0,316	0,417	-0,150
6	7,483	1	1,739	0,314	0,333	0,780	0,357	0,278	0,291	0,417	0,159	0,328	0,314	0,417	-0,155
6	8,350	1	1,687	0,314	0,333	0,791	0,361	0,287	0,307	0,417	0,161	0,328	0,323	0,417	-0,136
6	4,183	2	2,186	0,282	0,327	0,547	0,331	0,220	0,179	0,417	0,137	0,328	0,247	0,417	-0,325
6	4,967	2	2,121	0,288	0,327	0,557	0,335	0,227	0,193	0,417	0,140	0,328	0,256	0,417	-0,300
6	5,850	2	2,090	0,292	0,327	0,562	0,336	0,231	0,200	0,417	0,142	0,328	0,260	0,417	-0,288
6	6,650	2	2,036	0,288	0,327	0,571	0,339	0,237	0,212	0,417	0,145	0,328	0,267	0,417	-0,267
6	7,500	2	2,058	0,301	0,327	0,567	0,338	0,235	0,207	0,417	0,144	0,328	0,264	0,417	-0,276
6	8,333	2	2,048	0,304	0,327	0,569	0,338	0,236	0,209	0,417	0,144	0,328	0,265	0,417	-0,272
7	5,017	0	1,488	0,339	0,530	-	0,471	0,455	0,546	0,397	0,168	0,315	0,363	0,397	-0,067
7	5,867	0	1,449	0,335	0,530	-	0,474	0,463	0,560	0,397	0,169	0,315	0,371	0,397	-0,054
7	6,700	0	1,459	0,339	0,530	-	0,474	0,461	0,556	0,397	0,169	0,315	0,369	0,397	-0,057
7	7,475	0	1,427	0,330	0,530	-	0,476	0,467	0,568	0,397	0,169	0,315	0,376	0,397	-0,046
7	8,367	0	1,413	0,336	0,530	-	0,478	0,470	0,573	0,397	0,170	0,315	0,379	0,397	-0,042
7	9,050	0	1,417	0,339	0,530	-	0,477	0,469	0,572	0,397	0,170	0,315	0,378	0,397	-0,043
7	4,167	1	1,915	0,281	0,524	0,872	0,441	0,386	0,414	0,397	0,151	0,315	0,285	0,397	-0,221
7	4,958	1	1,838	0,281	0,524	0,887	0,446	0,397	0,434	0,397	0,155	0,315	0,297	0,397	-0,192
7	5,883	1	1,855	0,282	0,524	0,884	0,445	0,395	0,429	0,397	0,154	0,315	0,294	0,397	-0,198
7	6,650	1	1,796	0,292	0,524	0,896	0,449	0,403	0,446	0,397	0,157	0,315	0,304	0,397	-0,176
7	7,500	1	1,804	0,293	0,524	0,894	0,448	0,402	0,443	0,397	0,156	0,315	0,302	0,397	-0,179
7	8,333	1	1,963	0,303	0,524	0,863	0,438	0,380	0,401	0,397	0,149	0,315	0,277	0,397	-0,239
7	4,095	2	2,288	0,233	0,518	0,661	0,422	0,343	0,331	0,397	0,131	0,315	0,236	0,397	-0,365
7	5,017	2	2,232	0,245	0,518	0,669	0,425	0,349	0,341	0,397	0,134	0,315	0,242	0,397	-0,344
7	5,812	2	2,099	0,252	0,518	0,689	0,431	0,363	0,369	0,397	0,142	0,315	0,258	0,397	-0,292
7	6,683	2	2,072	0,263	0,518	0,694	0,432	0,367	0,375	0,397	0,143	0,315	0,262	0,397	-0,281
7	7,500	2	2,103	0,267	0,518	0,689	0,431	0,363	0,368	0,397	0,141	0,315	0,258	0,397	-0,293
7	8,333	2	2,011	0,273	0,518	0,704	0,436	0,374	0,390	0,397	0,146	0,315	0,270	0,397	-0,257
8	4,143	0	1,319	0,431	0,192	-	0,317	0,253	0,307	0,414	0,171	0,327	0,401	0,414	-0,013
8	5,043	0	1,307	0,419	0,192	-	0,318	0,255	0,312	0,414	0,171	0,327	0,404	0,414	-0,009
8	5,825	0	1,253	0,432	0,192	-	0,323	0,267	0,334	0,414	0,171	0,327	0,418	0,414	0,006
8	6,667	0	1,262	0,420	0,192	-	0,322	0,265	0,330	0,414	0,171	0,327	0,415	0,414	0,004
8	7,510	0	1,275	0,424	0,192	-	0,321	0,262	0,325	0,414	0,171	0,327	0,412	0,414	0,000
8	8,342	0	1,249	0,405	0,192	-	0,324	0,268	0,336	0,414	0,171	0,327	0,419	0,414	0,007
8	4,183	1	1,743	0,411	0,186	0,679	0,283	0,175	0,157	0,414	0,159	0,327	0,313	0,414	-0,156
8	5,000	1	1,722	0,378	0,186	0,684	0,284	0,178	0,163	0,414	0,160	0,327	0,317	0,414	-0,149
8	5,833	1	1,701	0,382	0,186	0,689	0,286	0,181	0,170	0,414	0,161	0,327	0,320	0,414	-0,141
8	6,675	1	1,657	0,404	0,186	0,699	0,289	0,188	0,184	0,414	0,162	0,327	0,329	0,414	-0,125
8	7,550	1	1,644	0,393	0,186	0,702	0,290	0,191	0,188	0,414	0,163	0,327	0,331	0,414	-0,120
8	8,317	1	1,614	0,388	0,186	0,709	0,292	0,196	0,198	0,414	0,164	0,327	0,337	0,414	-0,110
8	4,133	2	2,061	0,460	0,180	0,467	0,264	0,131	0,074	0,414	0,143	0,327	0,263	0,414	-0,277
8	4,975	2	1,999	0,464	0,180	0,478	0,267	0,139	0,088	0,414	0,147	0,327	0,272	0,414	-0,253
8	5,783	2	2,005	0,458	0,180	0,477	0,267	0,138	0,087	0,414	0,146	0,327	0,271	0,414	-0,255
8	6,733	2	1,974	0,432	0,180	0,483	0,269	0,142	0,094	0,414	0,148	0,327	0,276	0,414	-0,244
8	7,475	2	1,944	0,435	0,180	0,488	0,270	0,146	0,102	0,414	0,150	0,327	0,280	0,414	-0,232
8	8,375	2	1,911	0,424	0,180	0,494	0,272	0,150	0,110	0,414	0,151	0,327	0,285	0,414	-0,219
9	4,142	0	1,360	0,401	0,339	-	0,387	0,347	0,422	0,408	0,171	0,323	0,392	0,408	-0,025
9	4,942	0	1,302	0,400	0,339	-	0,392	0,359	0,446	0,408	0,171	0,323	0,405	0,408	-0,008
9	5,842	0	1,292	0,400	0,339	-	0,393	0,361	0,450	0,408	0,171	0,323	0,408	0,408	-0,005
9	6,667	0	1,273	0,398	0,339	-	0,395	0,366	0,458	0,408	0,171	0,323	0,413	0,408	0,000

Rejilla	Caudal [l/s]	Pendiente [%]	N° Froude	Coeficiente de descarga												
				Medido	Subramanya							Zagade				
					-	Paralela inclinada		Paralela horizontal			Orificios circulares		Paralela		Perpendicular	
						-	A1	B1	A1	A3	B1	A1	B1	A1	B1	A1
9	7,483	0	1,278	0,406	0,339	-	0,395	0,364	0,456	0,408	0,171	0,323	0,411	0,408	-0,001	
9	8,342	0	1,277	0,405	0,339	-	0,395	0,365	0,456	0,408	0,171	0,323	0,412	0,408	-0,001	
9	4,133	1	1,824	0,357	0,333	0,762	0,351	0,266	0,266	0,408	0,155	0,323	0,299	0,408	-0,186	
9	5,017	1	1,759	0,360	0,333	0,775	0,356	0,275	0,285	0,408	0,158	0,323	0,310	0,408	-0,162	
9	5,850	1	1,764	0,361	0,333	0,774	0,355	0,275	0,283	0,408	0,158	0,323	0,309	0,408	-0,164	
9	6,700	1	1,711	0,358	0,333	0,786	0,359	0,283	0,299	0,408	0,160	0,323	0,318	0,408	-0,145	
9	7,467	1	1,727	0,372	0,333	0,782	0,358	0,280	0,294	0,408	0,160	0,323	0,316	0,408	-0,151	
9	8,350	1	1,653	0,385	0,333	0,799	0,363	0,292	0,317	0,408	0,163	0,323	0,329	0,408	-0,124	
9	4,133	2	2,191	0,387	0,327	0,546	0,331	0,220	0,178	0,408	0,137	0,323	0,247	0,408	-0,327	
9	4,983	2	2,128	0,381	0,327	0,556	0,334	0,226	0,191	0,408	0,140	0,323	0,255	0,408	-0,303	
9	5,892	2	2,108	0,382	0,327	0,559	0,335	0,229	0,196	0,408	0,141	0,323	0,257	0,408	-0,295	
9	6,650	2	2,043	0,392	0,327	0,570	0,339	0,236	0,210	0,408	0,144	0,323	0,266	0,408	-0,270	
9	7,483	2	1,944	0,408	0,327	0,587	0,344	0,249	0,234	0,408	0,149	0,323	0,280	0,408	-0,232	
9	8,333	2	2,006	0,388	0,327	0,576	0,341	0,241	0,219	0,408	0,146	0,323	0,271	0,408	-0,256	
10	4,158	0	1,324	0,440	0,192	-	0,317	0,252	0,305	0,414	0,171	0,327	0,400	0,414	-0,014	
10	5,017	0	1,311	0,424	0,192	-	0,318	0,254	0,310	0,414	0,171	0,327	0,403	0,414	-0,011	
10	5,858	0	1,312	0,443	0,192	-	0,318	0,254	0,309	0,414	0,171	0,327	0,403	0,414	-0,011	
10	6,650	0	1,300	0,425	0,192	-	0,319	0,257	0,314	0,414	0,171	0,327	0,406	0,414	-0,007	
10	7,483	0	1,293	0,431	0,192	-	0,320	0,258	0,317	0,414	0,171	0,327	0,408	0,414	-0,005	
10	8,342	0	1,295	0,436	0,192	-	0,319	0,258	0,316	0,414	0,171	0,327	0,407	0,414	-0,006	
10	4,150	1	1,712	0,380	0,186	0,686	0,285	0,180	0,167	0,414	0,160	0,327	0,318	0,414	-0,145	
10	5,017	1	1,726	0,367	0,186	0,683	0,284	0,177	0,162	0,414	0,160	0,327	0,316	0,414	-0,150	
10	5,800	1	1,643	0,351	0,186	0,702	0,290	0,191	0,188	0,414	0,163	0,327	0,331	0,414	-0,120	
10	6,642	1	1,618	0,358	0,186	0,708	0,292	0,195	0,196	0,414	0,164	0,327	0,336	0,414	-0,111	
10	7,450	1	1,630	0,370	0,186	0,706	0,291	0,193	0,192	0,414	0,163	0,327	0,334	0,414	-0,115	
10	8,333	1	1,607	0,358	0,186	0,711	0,293	0,197	0,200	0,414	0,164	0,327	0,338	0,414	-0,107	
10	4,233	2	2,094	0,346	0,180	0,462	0,262	0,127	0,066	0,414	0,142	0,327	0,259	0,414	-0,290	
10	4,983	2	2,029	0,357	0,180	0,473	0,266	0,135	0,081	0,414	0,145	0,327	0,268	0,414	-0,264	
10	5,900	2	1,998	0,368	0,180	0,478	0,267	0,139	0,089	0,414	0,147	0,327	0,272	0,414	-0,253	
10	6,650	2	2,026	0,366	0,180	0,473	0,266	0,135	0,082	0,414	0,145	0,327	0,268	0,414	-0,263	
10	7,483	2	1,944	0,372	0,180	0,488	0,270	0,146	0,102	0,414	0,149	0,327	0,280	0,414	-0,232	
10	8,342	2	1,968	0,374	0,180	0,484	0,269	0,143	0,096	0,414	0,148	0,327	0,277	0,414	-0,241	
11	4,233	0	1,376	0,391	0,339	-	0,385	0,344	0,416	0,408	0,170	0,323	0,388	0,408	-0,030	
11	4,967	0	1,355	0,389	0,339	-	0,387	0,348	0,425	0,408	0,171	0,323	0,393	0,408	-0,024	
11	5,900	0	1,347	0,395	0,339	-	0,388	0,350	0,427	0,408	0,171	0,323	0,395	0,408	-0,022	
11	6,667	0	1,344	0,394	0,339	-	0,388	0,350	0,429	0,408	0,171	0,323	0,395	0,408	-0,021	
11	7,492	0	1,334	0,397	0,339	-	0,389	0,352	0,433	0,408	0,171	0,323	0,398	0,408	-0,017	
11	8,333	0	1,332	0,403	0,339	-	0,390	0,353	0,434	0,408	0,171	0,323	0,398	0,408	-0,017	
11	4,175	1	1,802	0,333	0,333	0,766	0,353	0,269	0,272	0,408	0,156	0,323	0,303	0,408	-0,178	
11	4,950	1	1,752	0,342	0,333	0,777	0,356	0,276	0,287	0,408	0,158	0,323	0,311	0,408	-0,160	
11	5,805	1	1,733	0,345	0,333	0,781	0,357	0,279	0,293	0,408	0,159	0,323	0,315	0,408	-0,153	
11	6,708	1	1,730	0,345	0,333	0,782	0,358	0,280	0,293	0,408	0,159	0,323	0,315	0,408	-0,152	
11	7,488	1	1,689	0,352	0,333	0,791	0,360	0,286	0,306	0,408	0,161	0,323	0,323	0,408	-0,137	
11	8,317	1	1,672	0,354	0,333	0,795	0,362	0,289	0,311	0,408	0,162	0,323	0,326	0,408	-0,130	
11	4,178	2	2,303	0,306	0,327	0,530	0,326	0,208	0,156	0,408	0,131	0,323	0,234	0,408	-0,371	
11	5,033	2	2,257	0,310	0,327	0,536	0,328	0,213	0,165	0,408	0,133	0,323	0,239	0,408	-0,353	
11	5,825	2	2,174	0,319	0,327	0,549	0,332	0,221	0,182	0,408	0,138	0,323	0,249	0,408	-0,321	
11	6,745	2	2,133	0,334	0,327	0,555	0,334	0,226	0,190	0,408	0,140	0,323	0,254	0,408	-0,305	
11	7,483	2	2,097	0,334	0,327	0,561	0,336	0,230	0,198	0,408	0,142	0,323	0,259	0,408	-0,291	
11	8,283	2	2,064	0,341	0,327	0,566	0,337	0,234	0,206	0,408	0,143	0,323	0,263	0,408	-0,278	
12	4,225	0	1,225	0,442	0,530	-	0,495	0,510	0,650	0,397	0,171	0,315	0,425	0,397	0,014	
12	5,067	0	1,226	0,439	0,530	-	0,495	0,510	0,650	0,397	0,171	0,315	0,425	0,397	0,014	
12	5,783	0	1,216	0,431	0,530	-	0,496	0,512	0,654	0,397	0,171	0,315	0,427	0,397	0,016	
12	6,650	0	1,211	0,412	0,530	-	0,497	0,513	0,657	0,397	0,171	0,315	0,428	0,397	0,018	
12	7,533	0	1,221	0,437	0,530	-	0,496	0,511	0,652	0,397	0,171	0,315	0,426	0,397	0,015	
12	8,308	0	1,214	0,436	0,530	-	0,496	0,512	0,655	0,397	0,171	0,315	0,428	0,397	0,017	
12	4,200	1	1,715	0,403	0,524	0,914	0,454	0,416	0,470	0,397	0,160	0,315	0,318	0,397	-0,146	
12	5,017	1	1,670	0,410	0,524	0,924	0,457	0,423	0,484	0,397	0,162	0,315	0,326	0,397	-0,130	
12	5,892	1	1,650	0,391	0,524	0,929	0,459	0,426	0,490	0,397	0,163	0,315	0,330	0,397	-0,123	

Rejilla	Caudal [l/s]	Pendiente [%]	Nº Froude	Coeficiente de descarga											
				Medido	Subramanya							Zagade			
					Paralela inclinada		Paralela horizontal			Orificios circulares		Paralela		Perpendicular	
					-	-	A1	B1	A1	A3	B1	A1	B1	A1	B1
12	6,683	1	1,632	0,431	0,524	0,933	0,460	0,429	0,496	0,397	0,163	0,315	0,333	0,397	-0,116
12	7,533	1	1,584	0,438	0,524	0,945	0,464	0,438	0,512	0,397	0,165	0,315	0,343	0,397	-0,099
12	8,383	1	1,595	0,449	0,524	0,942	0,463	0,436	0,508	0,397	0,165	0,315	0,341	0,397	-0,103
12	4,117	2	2,139	0,438	0,518	0,683	0,429	0,359	0,361	0,397	0,139	0,315	0,253	0,397	-0,307
12	4,983	2	2,102	0,432	0,518	0,689	0,431	0,363	0,369	0,397	0,141	0,315	0,258	0,397	-0,293
12	5,817	2	2,036	0,432	0,518	0,700	0,434	0,371	0,384	0,397	0,145	0,315	0,267	0,397	-0,267
12	6,617	2	2,015	0,455	0,518	0,704	0,436	0,374	0,389	0,397	0,146	0,315	0,270	0,397	-0,259
12	7,508	2	1,974	0,434	0,518	0,711	0,438	0,379	0,399	0,397	0,148	0,315	0,276	0,397	-0,243
12	8,383	2	1,961	0,415	0,518	0,713	0,439	0,380	0,402	0,397	0,149	0,315	0,278	0,397	-0,238
13	3,362	0	1,243	0,496	0,530	-	0,493	0,506	0,643	0,397	0,171	0,315	0,420	0,397	0,009
13	4,333	0	1,275	0,499	0,530	-	0,490	0,499	0,629	0,397	0,171	0,315	0,412	0,397	0,000
13	5,157	0	1,235	0,492	0,530	-	0,494	0,508	0,646	0,397	0,171	0,315	0,422	0,397	0,011
13	6,000	0	1,238	0,489	0,530	-	0,494	0,507	0,645	0,397	0,171	0,315	0,422	0,397	0,010
13	6,808	0	1,232	0,492	0,530	-	0,494	0,508	0,647	0,397	0,171	0,315	0,423	0,397	0,012
13	7,733	0	1,226	0,489	0,530	-	0,495	0,509	0,650	0,397	0,171	0,315	0,424	0,397	0,014
13	3,317	1	1,721	0,455	0,524	0,912	0,454	0,415	0,468	0,397	0,160	0,315	0,317	0,397	-0,148
13	4,213	1	1,717	0,460	0,524	0,913	0,454	0,415	0,469	0,397	0,160	0,315	0,318	0,397	-0,147
13	5,175	1	1,745	0,462	0,524	0,907	0,452	0,411	0,461	0,397	0,159	0,315	0,313	0,397	-0,157
13	5,983	1	1,674	0,458	0,524	0,923	0,457	0,422	0,482	0,397	0,162	0,315	0,325	0,397	-0,131
13	6,808	1	1,652	0,444	0,524	0,928	0,458	0,426	0,489	0,397	0,163	0,315	0,330	0,397	-0,123
13	7,658	1	1,638	0,467	0,524	0,932	0,459	0,428	0,494	0,397	0,163	0,315	0,332	0,397	-0,118
13	3,383	2	2,211	0,434	0,518	0,672	0,426	0,351	0,346	0,397	0,136	0,315	0,244	0,397	-0,335
13	4,158	2	2,199	0,430	0,518	0,674	0,426	0,352	0,348	0,397	0,136	0,315	0,246	0,397	-0,331
13	5,100	2	2,171	0,432	0,518	0,678	0,428	0,355	0,354	0,397	0,138	0,315	0,249	0,397	-0,320
13	5,958	2	2,115	0,418	0,518	0,687	0,430	0,362	0,366	0,397	0,141	0,315	0,256	0,397	-0,298
13	6,825	2	2,095	0,430	0,518	0,690	0,431	0,364	0,370	0,397	0,142	0,315	0,259	0,397	-0,290
13	7,600	2	2,068	0,435	0,518	0,694	0,433	0,367	0,376	0,397	0,143	0,315	0,263	0,397	-0,280
14	4,167	0	1,354	0,390	0,530	-	0,483	0,482	0,597	0,413	0,171	0,325	0,393	0,413	-0,024
14	4,917	0	1,316	0,419	0,530	-	0,486	0,490	0,612	0,413	0,171	0,325	0,402	0,413	-0,012
14	5,817	0	1,290	0,416	0,530	-	0,489	0,495	0,623	0,413	0,171	0,325	0,408	0,413	-0,004
14	6,658	0	1,276	0,431	0,530	-	0,490	0,498	0,628	0,413	0,171	0,325	0,412	0,413	0,000
14	7,483	0	1,275	0,427	0,530	-	0,490	0,499	0,629	0,413	0,171	0,325	0,412	0,413	0,000
14	8,300	0	1,297	0,426	0,530	-	0,488	0,494	0,620	0,413	0,171	0,325	0,407	0,413	-0,006
14	4,183	1	1,819	0,402	0,524	0,891	0,447	0,400	0,439	0,413	0,156	0,325	0,300	0,413	-0,184
14	5,008	1	1,792	0,417	0,524	0,897	0,449	0,404	0,447	0,413	0,157	0,325	0,304	0,413	-0,175
14	5,917	1	1,729	0,434	0,524	0,911	0,453	0,413	0,465	0,413	0,159	0,325	0,315	0,413	-0,151
14	6,683	1	1,677	0,436	0,524	0,922	0,457	0,422	0,481	0,413	0,162	0,325	0,325	0,413	-0,133
14	7,483	1	1,692	0,433	0,524	0,919	0,456	0,419	0,477	0,413	0,161	0,325	0,322	0,413	-0,138
14	8,333	1	1,652	0,434	0,524	0,928	0,458	0,426	0,489	0,413	0,163	0,325	0,329	0,413	-0,123
14	4,183	2	2,166	0,387	0,518	0,679	0,428	0,356	0,355	0,413	0,138	0,325	0,250	0,413	-0,317
14	4,983	2	2,094	0,371	0,518	0,690	0,431	0,364	0,371	0,413	0,142	0,325	0,259	0,413	-0,289
14	5,842	2	2,108	0,386	0,518	0,688	0,431	0,362	0,367	0,413	0,141	0,325	0,257	0,413	-0,295
14	6,633	2	2,023	0,384	0,518	0,702	0,435	0,372	0,387	0,413	0,145	0,325	0,269	0,413	-0,262
14	7,450	2	1,989	0,396	0,518	0,708	0,437	0,377	0,395	0,413	0,147	0,325	0,274	0,413	-0,249
14	8,400	2	1,966	0,390	0,518	0,712	0,438	0,380	0,401	0,413	0,148	0,325	0,277	0,413	-0,240
15	4,195	0	1,398	0,415	0,530	-	0,479	0,473	0,579	0,413	0,170	0,325	0,383	0,413	-0,037
15	4,967	0	1,362	0,410	0,530	-	0,482	0,480	0,593	0,413	0,171	0,325	0,391	0,413	-0,026
15	5,833	0	1,370	0,416	0,530	-	0,481	0,478	0,590	0,413	0,170	0,325	0,389	0,413	-0,029
15	6,633	0	1,323	0,411	0,530	-	0,486	0,488	0,609	0,413	0,171	0,325	0,400	0,413	-0,014
15	7,500	0	1,319	0,426	0,530	-	0,486	0,489	0,611	0,413	0,171	0,325	0,401	0,413	-0,013
15	8,333	0	1,308	0,424	0,530	-	0,487	0,491	0,615	0,413	0,171	0,325	0,404	0,413	-0,010
15	4,167	1	1,770	0,347	0,524	0,902	0,450	0,407	0,453	0,413	0,158	0,325	0,308	0,413	-0,167
15	5,050	1	1,718	0,363	0,524	0,913	0,454	0,415	0,469	0,413	0,160	0,325	0,317	0,413	-0,147
15	5,783	1	1,728	0,360	0,524	0,911	0,453	0,414	0,466	0,413	0,160	0,325	0,316	0,413	-0,151
15	6,650	1	1,680	0,359	0,524	0,922	0,456	0,421	0,481	0,413	0,161	0,325	0,324	0,413	-0,134
15	7,483	1	1,674	0,358	0,524	0,923	0,457	0,422	0,482	0,413	0,162	0,325	0,325	0,413	-0,131
15	8,333	1	1,660	0,364	0,524	0,926	0,458	0,425	0,487	0,413	0,162	0,325	0,328	0,413	-0,126
15	4,250	2	2,203	0,340	0,518	0,673	0,426	0,352	0,347	0,413	0,136	0,325	0,245	0,413	-0,332
15	5,000	2	2,151	0,353	0,518	0,681	0,429	0,358	0,358	0,413	0,139	0,325	0,252	0,413	-0,312

Rejilla	Caudal [l/s]	Pendiente [%]	N° Froude	Coeficiente de descarga												
				Medido	Subramanya							Zagade				
					-	Paralela inclinada		Paralela horizontal			Orificios circulares		Paralela		Perpendicular	
						-	A1	B1	A1	A3	B1	A1	B1	A1	B1	A1
15	5,867	2	2,069	0,365	0,518	0,694	0,433	0,367	0,376	0,413	0,143	0,325	0,262	0,413	-0,280	
15	6,617	2	2,043	0,369	0,518	0,699	0,434	0,370	0,382	0,413	0,144	0,325	0,266	0,413	-0,270	
15	7,475	2	1,986	0,362	0,518	0,709	0,437	0,377	0,396	0,413	0,147	0,325	0,274	0,413	-0,248	
15	8,333	2	2,022	0,365	0,518	0,702	0,435	0,373	0,387	0,413	0,146	0,325	0,269	0,413	-0,262	

Tabla 13.35 Porcentaje de error obtenido con autores

Rejilla	Caudal [l/s]	Pendiente [%]	Noseda	Subrama nya y Shukla	Shafai bejestan and Shakouhirad	Ghosh y Ahmad	Subramanya							Zagade			
			-	-	-	Paralelas	Paralela inclinada		Paralela horizontal			Orificios circulares		Paralela		Perpendicular	
			-	A1	-	-	A1	B1	A1	A3	B1	A1	B1	A1	B1	A1	B1
1	6,650	0	51%	1%	3%	51%	1%		2%	8%	12%	7%	61%	26%	13%	7%	108%
1	7,483	0	46%	4%	5%	52%	4%		4%	10%	9%	9%	62%	28%	15%	9%	109%
1	8,333	0	45%	3%	6%	52%	3%		5%	11%	6%	9%	62%	28%	17%	9%	111%
1	9,150	0	42%	5%	6%	53%	5%		6%	11%	7%	10%	63%	29%	16%	10%	109%
1	6,692	1	65%	4%	3%	48%	4%	103%	2%	18%	12%	0%	62%	21%	26%	0%	142%
1	7,550	1	59%	1%	6%	49%	1%	96%	5%	21%	15%	3%	63%	23%	28%	3%	142%
1	8,317	1	54%	1%	7%	50%	1%	95%	6%	21%	14%	5%	63%	25%	28%	5%	138%
1	9,183	1	54%	0%	6%	50%	0%	97%	5%	20%	12%	4%	63%	24%	27%	4%	137%
1	6,633	2	99%	22%	8%	38%	22%	77%	9%	17%	23%	18%	60%	6%	28%	18%	193%
1	7,575	2	90%	17%	4%	41%	17%	71%	6%	20%	25%	14%	62%	10%	30%	14%	188%
1	8,317	2	87%	17%	5%	41%	17%	72%	6%	19%	23%	14%	61%	10%	29%	14%	184%
1	9,117	2	85%	16%	5%	41%	16%	74%	6%	17%	20%	13%	60%	10%	28%	13%	178%
2	4,205	0	37%	48%	58%	58%	48%		28%	39%	25%	15%	65%	33%	17%	15%	102%
2	5,000	0	34%	49%	57%	59%	49%		29%	39%	25%	16%	65%	33%	17%	16%	102%
2	5,850	0	32%	49%	58%	59%	49%		28%	39%	24%	15%	65%	33%	16%	15%	101%
2	6,667	0	29%	49%	56%	59%	49%		29%	39%	25%	17%	65%	34%	17%	17%	101%
2	7,500	0	31%	48%	58%	58%	48%		28%	39%	25%	15%	65%	32%	17%	15%	103%
2	8,317	0	31%	48%	60%	58%	48%		27%	38%	23%	14%	64%	32%	15%	14%	101%
2	4,233	1	54%	45%	59%	54%	45%	63%	29%	51%	53%	7%	64%	26%	29%	7%	136%
2	4,983	1	51%	45%	60%	54%	45%	64%	29%	50%	50%	7%	64%	27%	28%	7%	132%
2	5,842	1	47%	46%	58%	55%	46%	63%	30%	50%	49%	8%	64%	28%	28%	8%	130%
2	6,667	1	48%	45%	60%	54%	45%	64%	29%	50%	50%	7%	64%	26%	28%	7%	132%
2	7,475	1	43%	46%	57%	55%	46%	62%	30%	50%	50%	9%	64%	28%	29%	9%	130%
2	8,350	1	47%	44%	62%	54%	44%	67%	28%	49%	49%	6%	63%	25%	27%	6%	132%
2	4,183	2	63%	44%	56%	53%	44%	16%	32%	61%	74%	3%	67%	24%	40%	3%	171%
2	5,067	2	55%	46%	53%	54%	46%	15%	33%	61%	72%	6%	67%	26%	40%	6%	164%
2	5,833	2	53%	46%	53%	54%	46%	16%	33%	60%	70%	6%	67%	26%	39%	6%	161%
2	6,650	2	49%	46%	52%	55%	46%	16%	33%	60%	68%	7%	67%	27%	39%	7%	157%
2	7,525	2	47%	47%	52%	55%	47%	17%	33%	59%	68%	7%	67%	27%	39%	7%	156%
2	8,317	2	47%	46%	54%	54%	46%	19%	32%	58%	66%	7%	66%	26%	37%	7%	154%
3	6,733	0	43%	44%	62%	55%	44%		24%	37%	25%	8%	62%	27%	14%	8%	107%
3	7,467	0	35%	47%	55%	57%	47%		27%	40%	28%	12%	64%	31%	17%	12%	106%
3	8,317	0	31%	48%	51%	58%	48%		29%	42%	31%	14%	65%	32%	20%	14%	107%
3	9,233	0	27%	49%	48%	59%	49%		30%	43%	31%	16%	65%	33%	21%	16%	106%
3	6,650	1	53%	43%	60%	53%	43%	72%	26%	47%	47%	3%	62%	24%	24%	3%	131%
3	7,525	1	47%	45%	56%	54%	45%	66%	28%	49%	49%	6%	63%	26%	27%	6%	131%
3	8,317	1	42%	46%	53%	55%	46%	64%	29%	49%	48%	8%	64%	27%	27%	8%	128%
3	9,133	1	35%	48%	46%	57%	48%	56%	32%	52%	51%	12%	66%	31%	31%	12%	128%
3	6,700	2	69%	39%	64%	48%	39%	28%	26%	57%	69%	5%	64%	17%	34%	5%	173%
3	7,500	2	61%	42%	58%	50%	42%	24%	28%	58%	69%	1%	65%	20%	35%	1%	168%
3	8,358	2	55%	43%	54%	52%	43%	21%	30%	59%	70%	2%	66%	22%	37%	2%	166%

Rejilla	Caudal [l/s]	Pendiente [%]	Noseda	Subrama nya y Shukla	Shafai bejestan and Shakouhirad	Ghosh y Ahmad	Subramanya								Zagade			
			-	-	-	Paralelas	Paralela inclinada		Paralela horizontal			Orificios circulares		Paralela		Perpendicular		
			-	A1	-	-	A1	B1	A1	A3	B1	A1	B1	A1	B1	A1	B1	
3	9,200	2	49%	45%	51%	53%	45%	20%	31%	58%	66%	5%	66%	25%	37%	5%	157%	
4	4,158	0	93%	7%	50%	46%	7%		6%	6%	14%	14%	53%	10%	6%	14%	108%	
4	4,992	0	87%	9%	49%	47%	9%		5%	5%	16%	12%	54%	11%	7%	12%	105%	
4	5,817	0	93%	4%	58%	44%	4%		11%	1%	25%	18%	52%	7%	14%	18%	103%	
4	6,658	0	90%	4%	59%	44%	4%		11%	2%	28%	18%	52%	7%	16%	18%	101%	
4	7,483	0	90%	3%	59%	44%	3%		12%	2%	26%	19%	51%	7%	15%	19%	103%	
4	8,342	0	74%	11%	47%	48%	11%		4%	5%	19%	10%	55%	14%	8%	10%	101%	
4	4,233	1	102%	7%	42%	45%	7%	114%	1%	25%	25%	17%	56%	8%	16%	17%	152%	
4	5,000	1	101%	6%	44%	44%	6%	117%	0%	24%	22%	18%	56%	7%	14%	18%	149%	
4	5,867	1	103%	3%	48%	43%	3%	125%	3%	20%	17%	21%	54%	5%	10%	21%	147%	
4	6,683	1	101%	3%	49%	42%	3%	125%	3%	20%	17%	21%	54%	5%	10%	21%	147%	
4	7,517	1	96%	5%	47%	43%	5%	122%	2%	21%	19%	19%	55%	6%	11%	19%	147%	
4	8,333	1	95%	4%	48%	43%	4%	125%	3%	19%	15%	20%	54%	5%	9%	20%	143%	
4	4,217	2	124%	0%	46%	40%	0%	65%	1%	34%	48%	27%	59%	0%	26%	27%	204%	
4	4,950	2	110%	5%	41%	42%	5%	63%	2%	33%	43%	21%	59%	5%	25%	21%	186%	
4	5,833	2	106%	5%	42%	43%	5%	64%	2%	32%	40%	21%	58%	5%	24%	21%	180%	
4	6,650	2	98%	7%	39%	44%	7%	63%	4%	32%	39%	18%	59%	7%	24%	18%	174%	
4	7,500	2	99%	6%	43%	43%	6%	68%	1%	29%	34%	20%	57%	5%	20%	20%	169%	
4	8,300	2	93%	8%	40%	44%	8%	65%	3%	30%	34%	18%	58%	7%	21%	18%	166%	
5	4,175	0	69%	30%	22%	41%	30%		16%	12%	35%	3%	59%	23%	11%	3%	115%	
5	5,008	0	71%	33%	20%	39%	33%		19%	16%	40%	1%	58%	21%	7%	1%	114%	
5	5,867	0	66%	32%	20%	40%	32%		19%	17%	43%	1%	58%	22%	5%	1%	110%	
5	6,692	0	65%	33%	19%	40%	33%		20%	19%	46%	1%	57%	21%	3%	1%	108%	
5	7,533	0	55%	26%	22%	43%	26%		15%	14%	41%	6%	59%	25%	7%	6%	107%	
5	8,333	0	54%	26%	23%	43%	26%		14%	14%	40%	6%	59%	25%	8%	6%	107%	
5	4,125	1	89%	40%	21%	35%	40%	134%	18%	4%	12%	6%	59%	16%	23%	6%	157%	
5	5,025	1	90%	44%	18%	34%	44%	145%	23%	10%	21%	9%	57%	13%	18%	9%	151%	
5	5,808	1	81%	38%	22%	36%	38%	133%	17%	4%	13%	5%	59%	17%	23%	5%	153%	
5	6,683	1	76%	36%	22%	37%	36%	132%	16%	4%	15%	3%	59%	18%	22%	3%	147%	
5	7,483	1	73%	36%	22%	37%	36%	134%	17%	5%	17%	3%	59%	18%	20%	3%	144%	
5	8,300	1	70%	35%	22%	38%	35%	133%	16%	5%	18%	2%	59%	19%	20%	2%	141%	
5	4,250	2	116%	56%	15%	27%	56%	101%	28%	5%	3%	20%	60%	5%	27%	20%	204%	
5	5,008	2	106%	52%	17%	29%	52%	97%	25%	3%	2%	16%	60%	8%	28%	16%	197%	
5	5,800	2	99%	49%	18%	31%	49%	95%	23%	2%	2%	14%	60%	10%	28%	14%	191%	
5	6,675	2	94%	47%	18%	32%	47%	97%	23%	4%	7%	12%	59%	11%	25%	12%	178%	
5	7,533	2	92%	47%	18%	32%	47%	97%	23%	4%	7%	13%	59%	11%	26%	13%	180%	
5	8,333	2	88%	45%	19%	33%	45%	95%	21%	3%	6%	11%	60%	12%	26%	11%	178%	
6	4,183	0	110%	1%	68%	41%	1%		15%	3%	25%	24%	49%	2%	16%	24%	108%	
6	4,992	0	107%	1%	68%	41%	1%		15%	2%	23%	24%	49%	2%	15%	24%	110%	
6	5,833	0	99%	1%	64%	42%	1%		12%	1%	22%	21%	50%	5%	14%	21%	108%	
6	6,658	0	97%	1%	65%	42%	1%		13%	1%	23%	22%	50%	4%	14%	22%	108%	
6	7,550	0	93%	2%	63%	43%	2%		11%	1%	21%	20%	51%	5%	12%	20%	108%	
6	8,300	0	93%	2%	64%	42%	2%		12%	0%	22%	21%	50%	5%	13%	21%	108%	
6	4,200	1	139%	10%	73%	34%	10%	154%	17%	11%	10%	38%	48%	9%	0%	38%	159%	
6	5,017	1	126%	6%	66%	37%	6%	144%	12%	14%	13%	32%	50%	4%	3%	32%	156%	
6	5,833	1	134%	12%	77%	34%	12%	163%	20%	6%	0%	40%	46%	10%	6%	40%	150%	
6	6,675	1	127%	10%	74%	35%	10%	158%	18%	8%	3%	37%	47%	8%	4%	37%	149%	
6	7,483	1	118%	6%	68%	37%	6%	149%	14%	11%	7%	33%	49%	5%	0%	33%	149%	
6	8,350	1	115%	6%	69%	37%	6%	152%	15%	9%	2%	33%	49%	4%	3%	33%	143%	
6	4,183	2	160%	16%	75%	30%	16%	94%	18%	22%	36%	48%	51%	17%	12%	48%	216%	
6	4,967	2	150%	14%	72%	31%	14%	93%	16%	21%	33%	45%	51%	14%	11%	45%	204%	
6	5,850	2	143%	12%	71%	32%	12%	93%	15%	21%	32%	43%	51%	13%	11%	43%	199%	
6	6,650	2	143%	13%	74%	31%	13%	98%	18%	18%	27%	44%	50%	14%	7%	44%	193%	
6	7,500	2	130%	8%	66%	34%	8%	88%	12%	22%	31%	38%	52%	9%	12%	38%	191%	
6	8,333	2	126%	7%	65%	35%	7%	87%	11%	22%	31%	37%	53%	8%	13%	37%	189%	
7	5,017	0	101%	56%	8%	29%	56%		39%	34%	61%	17%	51%	7%	7%	17%	120%	
7	5,867	0	100%	58%	6%	28%	58%		42%	38%	67%	18%	50%	6%	11%	18%	116%	
7	6,700	0	95%	56%	8%	29%	56%		40%	36%	64%	17%	50%	7%	9%	17%	117%	
7	7,475	0	99%	61%	4%	27%	61%		45%	42%	72%	20%	49%	4%	14%	20%	114%	

Rejilla	Caudal [l/s]	Pendiente [%]	Noseda	Subrama nya y Shukla	Shafai bejestan and Shakouhirad	Ghosh y Ahmad	Subramanya								Zagade			
			-	-	-	Paralelas	Paralela inclinada		Paralela horizontal			Orificios circulares		Paralela		Perpendicular		
			-	A1	-	-	A1	B1	A1	A3	B1	A1	B1	A1	B1	A1	B1	
7	8,367	0	93%	58%	6%	28%	58%		42%	40%	70%	18%	50%	6%	13%	18%	112%	
7	9,050	0	90%	56%	7%	29%	56%		41%	38%	69%	17%	50%	7%	11%	17%	113%	
7	4,167	1	152%	86%	3%	14%	86%	210%	57%	37%	47%	41%	46%	12%	1%	41%	179%	
7	4,958	1	147%	87%	4%	14%	87%	216%	59%	41%	55%	41%	45%	12%	6%	41%	168%	
7	5,883	1	142%	85%	3%	15%	85%	213%	57%	40%	52%	40%	46%	12%	4%	40%	170%	
7	6,650	1	131%	79%	1%	18%	79%	206%	53%	38%	53%	36%	46%	8%	4%	36%	160%	
7	7,500	1	129%	79%	0%	18%	79%	206%	53%	37%	52%	36%	47%	8%	3%	36%	161%	
7	8,333	1	120%	73%	5%	20%	73%	185%	45%	25%	32%	31%	51%	4%	9%	31%	179%	
7	4,095	2	209%	122%	18%	4%	122%	184%	81%	47%	42%	70%	44%	35%	1%	70%	257%	
7	5,017	2	188%	112%	13%	2%	112%	173%	74%	43%	39%	62%	45%	29%	1%	62%	240%	
7	5,812	2	175%	105%	11%	4%	105%	173%	71%	44%	47%	57%	44%	25%	3%	57%	216%	
7	6,683	2	160%	97%	7%	9%	97%	163%	64%	39%	43%	51%	46%	20%	1%	51%	207%	
7	7,500	2	154%	94%	5%	10%	94%	158%	62%	36%	38%	49%	47%	18%	3%	49%	210%	
7	8,333	2	145%	90%	4%	12%	90%	158%	60%	37%	43%	45%	46%	15%	1%	45%	194%	
8	4,143	0	59%	55%	120%	55%	55%		26%	41%	29%	4%	60%	24%	7%	4%	103%	
8	5,043	0	61%	54%	127%	53%	54%		24%	39%	26%	1%	59%	22%	4%	1%	102%	
8	5,825	0	53%	56%	123%	55%	56%		25%	38%	23%	4%	60%	24%	3%	4%	99%	
8	6,667	0	56%	54%	129%	54%	54%		23%	37%	21%	1%	59%	22%	1%	1%	99%	
8	7,510	0	53%	55%	126%	54%	55%		24%	38%	24%	2%	60%	23%	3%	2%	100%	
8	8,342	0	58%	53%	138%	52%	53%		20%	34%	17%	2%	58%	19%	3%	2%	98%	
8	4,183	1	71%	55%	113%	53%	55%	65%	31%	57%	62%	1%	61%	20%	24%	1%	138%	
8	5,000	1	83%	51%	133%	48%	51%	81%	25%	53%	57%	10%	58%	13%	16%	10%	139%	
8	5,833	1	78%	51%	131%	49%	51%	80%	25%	53%	56%	8%	58%	14%	16%	8%	137%	
8	6,675	1	66%	54%	120%	52%	54%	73%	28%	53%	55%	3%	60%	19%	19%	3%	131%	
8	7,550	1	69%	53%	126%	50%	53%	78%	26%	52%	52%	5%	59%	17%	16%	5%	131%	
8	8,317	1	69%	52%	130%	50%	52%	83%	25%	50%	49%	7%	58%	16%	13%	7%	128%	
8	4,133	2	55%	61%	81%	58%	61%	2%	43%	71%	84%	10%	69%	29%	43%	10%	160%	
8	4,975	2	51%	61%	81%	58%	61%	3%	42%	70%	81%	11%	68%	29%	41%	11%	155%	
8	5,783	2	51%	61%	83%	57%	61%	4%	42%	70%	81%	10%	68%	29%	41%	10%	156%	
8	6,733	2	58%	58%	95%	55%	58%	12%	38%	67%	78%	4%	66%	24%	36%	4%	156%	
8	7,475	2	55%	59%	95%	55%	59%	12%	38%	66%	77%	5%	66%	25%	36%	5%	153%	
8	8,375	2	57%	58%	101%	54%	58%	17%	36%	65%	74%	2%	64%	23%	33%	2%	152%	
9	4,142	0	61%	15%	41%	45%	15%		3%	13%	5%	2%	57%	19%	2%	2%	106%	
9	4,942	0	58%	15%	43%	45%	15%		2%	10%	11%	2%	57%	19%	1%	2%	102%	
9	5,842	0	56%	15%	44%	45%	15%		2%	10%	12%	2%	57%	19%	2%	2%	101%	
9	6,667	0	54%	15%	45%	45%	15%		1%	8%	15%	3%	57%	19%	4%	3%	100%	
9	7,483	0	50%	16%	42%	46%	16%		3%	10%	12%	1%	58%	20%	1%	1%	100%	
9	8,342	0	49%	16%	42%	46%	16%		3%	10%	13%	1%	58%	20%	2%	1%	100%	
9	4,133	1	85%	7%	45%	38%	7%	114%	2%	26%	25%	14%	56%	9%	16%	14%	152%	
9	5,017	1	80%	7%	46%	39%	7%	115%	1%	24%	21%	13%	56%	10%	14%	13%	145%	
9	5,850	1	77%	8%	45%	39%	8%	115%	2%	24%	21%	13%	56%	10%	14%	13%	145%	
9	6,700	1	76%	7%	48%	39%	7%	120%	0%	21%	16%	14%	55%	10%	11%	14%	141%	
9	7,467	1	68%	10%	42%	41%	10%	110%	4%	25%	21%	10%	57%	13%	15%	10%	141%	
9	8,350	1	60%	13%	39%	43%	13%	108%	6%	24%	18%	6%	58%	16%	14%	6%	132%	
9	4,133	2	73%	16%	27%	43%	16%	41%	14%	43%	54%	5%	65%	16%	36%	5%	185%	
9	4,983	2	73%	14%	30%	42%	14%	46%	12%	41%	50%	7%	63%	15%	33%	7%	180%	
9	5,892	2	70%	14%	30%	43%	14%	46%	12%	40%	49%	7%	63%	15%	33%	7%	177%	
9	6,650	2	63%	17%	28%	44%	17%	45%	14%	40%	46%	4%	63%	18%	32%	4%	169%	
9	7,483	2	54%	20%	25%	46%	20%	44%	16%	39%	43%	0%	63%	21%	31%	0%	157%	
9	8,333	2	62%	16%	30%	43%	16%	49%	12%	38%	44%	5%	62%	17%	30%	5%	166%	
10	4,158	0	56%	56%	124%	56%	56%		28%	43%	31%	6%	61%	26%	9%	6%	103%	
10	5,017	0	59%	55%	133%	54%	55%		25%	40%	27%	2%	60%	23%	5%	2%	103%	
10	5,858	0	50%	57%	123%	56%	57%		28%	43%	30%	7%	61%	26%	9%	7%	102%	
10	6,650	0	55%	55%	133%	54%	55%		25%	40%	26%	2%	60%	23%	4%	2%	102%	
10	7,483	0	51%	56%	130%	55%	56%		26%	40%	26%	4%	60%	24%	5%	4%	101%	
10	8,342	0	48%	56%	127%	55%	56%		27%	41%	27%	5%	61%	25%	7%	5%	101%	
10	4,150	1	84%	51%	140%	49%	51%	81%	25%	53%	56%	9%	58%	14%	16%	9%	138%	
10	5,017	1	88%	49%	148%	47%	49%	86%	23%	52%	56%	13%	57%	11%	14%	13%	141%	
10	5,800	1	93%	47%	163%	44%	47%	100%	17%	46%	46%	18%	54%	7%	6%	18%	134%	

Rejilla	Caudal [l/s]	Pendiente [%]	Noseda	Subrama nya y Shukla	Shafai bejestan and Shakouhirad	Ghosh y Ahmad	Subramanya								Zagade			
			-	-	-	Paralelas	Paralela inclinada		Paralela horizontal			Orificios circulares		Paralela		Perpendicular		
			-	A1	-	-	A1	B1	A1	A3	B1	A1	B1	A1	B1	A1	B1	
10	6,642	1	87%	48%	160%	46%	48%	98%	18%	45%	45%	16%	54%	9%	6%	16%	131%	
10	7,450	1	79%	50%	151%	47%	50%	91%	21%	48%	48%	12%	56%	12%	10%	12%	131%	
10	8,333	1	83%	48%	160%	46%	48%	99%	18%	45%	44%	16%	54%	9%	6%	16%	130%	
10	4,233	2	106%	48%	149%	44%	48%	33%	24%	63%	81%	20%	59%	5%	25%	20%	184%	
10	4,983	2	96%	50%	144%	45%	50%	33%	25%	62%	77%	16%	59%	8%	25%	16%	174%	
10	5,900	2	87%	51%	137%	47%	51%	30%	27%	62%	76%	13%	60%	11%	26%	13%	169%	
10	6,650	2	86%	51%	137%	47%	51%	29%	27%	63%	78%	13%	60%	11%	27%	13%	172%	
10	7,483	2	81%	52%	137%	48%	52%	31%	27%	61%	73%	11%	60%	12%	25%	11%	162%	
10	8,342	2	79%	52%	135%	48%	52%	29%	28%	62%	74%	11%	60%	12%	26%	11%	165%	
11	4,233	0	64%	13%	43%	44%	13%		1%	12%	6%	4%	56%	17%	1%	4%	108%	
11	4,967	0	63%	13%	44%	44%	13%		0%	11%	9%	5%	56%	17%	1%	5%	106%	
11	5,900	0	58%	14%	42%	44%	14%		2%	12%	8%	3%	57%	18%	0%	3%	105%	
11	6,667	0	57%	14%	42%	44%	14%		2%	11%	9%	4%	57%	18%	0%	4%	105%	
11	7,492	0	54%	15%	42%	45%	15%		2%	11%	9%	3%	57%	19%	0%	3%	104%	
11	8,333	0	50%	16%	40%	46%	16%		3%	12%	8%	1%	58%	20%	1%	1%	104%	
11	4,175	1	98%	0%	55%	34%	0%	130%	6%	19%	18%	23%	53%	3%	9%	23%	154%	
11	4,950	1	89%	3%	52%	36%	3%	127%	4%	19%	16%	19%	54%	6%	9%	19%	147%	
11	5,805	1	85%	3%	51%	36%	3%	126%	4%	19%	15%	18%	54%	6%	9%	18%	144%	
11	6,708	1	83%	3%	51%	36%	3%	127%	4%	19%	15%	18%	54%	6%	9%	18%	144%	
11	7,488	1	77%	5%	49%	38%	5%	124%	2%	19%	13%	16%	54%	8%	8%	16%	139%	
11	8,317	1	74%	6%	49%	38%	6%	125%	2%	18%	12%	15%	54%	9%	8%	15%	137%	
11	4,178	2	120%	7%	56%	28%	7%	73%	6%	32%	49%	33%	57%	6%	24%	33%	221%	
11	5,033	2	114%	6%	56%	29%	6%	73%	6%	31%	47%	32%	57%	4%	23%	32%	214%	
11	5,825	2	104%	3%	53%	31%	3%	72%	4%	31%	43%	28%	57%	1%	22%	28%	201%	
11	6,745	2	92%	2%	47%	34%	2%	66%	0%	32%	43%	22%	58%	3%	24%	22%	191%	
11	7,483	2	90%	2%	47%	34%	2%	68%	1%	31%	41%	22%	58%	3%	23%	22%	187%	
11	8,283	2	84%	4%	45%	36%	4%	66%	1%	31%	40%	20%	58%	5%	23%	20%	182%	
12	4,225	0	54%	20%	134%	45%	20%		12%	15%	47%	10%	61%	29%	4%	10%	97%	
12	5,067	0	52%	21%	135%	45%	21%		13%	16%	48%	10%	61%	28%	3%	10%	97%	
12	5,783	0	53%	23%	140%	44%	23%		15%	19%	52%	8%	60%	27%	1%	8%	96%	
12	6,650	0	58%	29%	152%	41%	29%		21%	25%	59%	4%	58%	24%	4%	4%	96%	
12	7,533	0	48%	21%	137%	45%	21%		13%	17%	49%	9%	61%	28%	3%	9%	97%	
12	8,308	0	47%	22%	138%	45%	22%		14%	17%	50%	9%	61%	28%	2%	9%	96%	
12	4,200	1	74%	30%	132%	40%	30%	127%	13%	3%	17%	2%	60%	22%	21%	2%	136%	
12	5,017	1	68%	28%	130%	41%	28%	126%	12%	3%	18%	3%	60%	23%	20%	3%	132%	
12	5,892	1	73%	34%	142%	38%	34%	137%	17%	9%	25%	1%	58%	20%	16%	1%	131%	
12	6,683	1	55%	22%	120%	44%	22%	117%	7%	0%	15%	8%	62%	27%	23%	8%	127%	
12	7,533	1	51%	20%	119%	45%	20%	116%	6%	0%	17%	9%	62%	28%	22%	9%	123%	
12	8,383	1	46%	17%	113%	46%	17%	110%	3%	3%	13%	12%	63%	30%	24%	12%	123%	
12	4,117	2	63%	18%	100%	45%	18%	56%	2%	18%	18%	9%	68%	28%	42%	9%	170%	
12	4,983	2	62%	20%	104%	44%	20%	59%	0%	16%	15%	8%	67%	27%	40%	8%	168%	
12	5,817	2	60%	20%	106%	44%	20%	62%	0%	14%	11%	8%	67%	27%	38%	8%	162%	
12	6,617	2	50%	14%	96%	47%	14%	55%	4%	18%	15%	13%	68%	31%	41%	13%	157%	
12	7,508	2	55%	19%	107%	44%	19%	64%	1%	13%	8%	9%	66%	27%	36%	9%	156%	
12	8,383	2	61%	25%	117%	42%	25%	72%	6%	8%	3%	5%	64%	24%	33%	5%	157%	
13	3,362	0	40%	7%	111%	51%	7%		1%	2%	29%	20%	65%	37%	15%	20%	98%	
13	4,333	0	36%	6%	108%	52%	6%		2%	0%	26%	20%	66%	37%	17%	20%	100%	
13	5,157	0	36%	8%	113%	51%	8%		0%	3%	31%	19%	65%	36%	14%	19%	98%	
13	6,000	0	35%	8%	114%	51%	8%		1%	4%	32%	19%	65%	36%	14%	19%	98%	
13	6,808	0	33%	8%	113%	51%	8%		0%	3%	32%	19%	65%	36%	14%	19%	98%	
13	7,733	0	32%	8%	115%	51%	8%		1%	4%	33%	19%	65%	36%	13%	19%	97%	
13	3,317	1	57%	15%	109%	47%	15%	101%	0%	9%	3%	13%	65%	31%	30%	13%	133%	
13	4,213	1	52%	14%	107%	48%	14%	99%	1%	10%	2%	14%	65%	31%	31%	14%	132%	
13	5,175	1	49%	13%	105%	48%	13%	96%	2%	11%	0%	14%	66%	32%	32%	14%	134%	
13	5,983	1	48%	15%	109%	47%	15%	102%	0%	8%	5%	13%	65%	31%	29%	13%	129%	
13	6,808	1	51%	18%	116%	46%	18%	109%	3%	4%	10%	11%	63%	29%	26%	11%	128%	
13	7,658	1	42%	12%	106%	48%	12%	99%	2%	8%	6%	15%	65%	33%	29%	15%	125%	
13	3,383	2	68%	19%	103%	44%	19%	55%	2%	19%	20%	9%	69%	27%	44%	9%	177%	
13	4,158	2	66%	20%	105%	44%	20%	57%	1%	18%	19%	8%	68%	27%	43%	8%	177%	

Rejilla	Caudal [l/s]	Pendiente [%]	Noseda	Subrama nya y Shukla	Shafai bejestan and Shakouhirad	Ghosh y Ahmad	Subramanya								Zagade			
			-	-	-	Paralelas	Paralela inclinada		Paralela horizontal			Orificios circulares		Paralela		Perpendicular		
			-	A1	-	-	A1	B1	A1	A3	B1	A1	B1	A1	B1	A1	B1	
13	5,100	2	63%	20%	105%	44%	20%	57%	1%	18%	18%	8%	68%	27%	42%	8%	174%	
13	5,958	2	66%	24%	114%	42%	24%	64%	3%	13%	12%	5%	66%	25%	39%	5%	171%	
13	6,825	2	59%	20%	108%	44%	20%	60%	0%	15%	14%	8%	67%	27%	40%	8%	167%	
13	7,600	2	55%	19%	107%	45%	19%	60%	1%	16%	14%	9%	67%	28%	40%	9%	164%	
14	4,167	0	93%	36%	86%	46%	36%		24%	24%	53%	6%	56%	17%	1%	6%	106%	
14	4,917	0	76%	27%	75%	50%	27%		16%	17%	46%	1%	59%	22%	4%	1%	103%	
14	5,817	0	75%	27%	77%	50%	27%		17%	19%	50%	1%	59%	22%	2%	1%	101%	
14	6,658	0	66%	23%	72%	52%	23%		14%	16%	46%	4%	60%	25%	4%	4%	100%	
14	7,483	0	66%	24%	73%	51%	24%		15%	17%	47%	3%	60%	24%	3%	3%	100%	
14	8,300	0	66%	25%	73%	51%	25%		15%	16%	46%	3%	60%	24%	4%	3%	101%	
14	4,183	1	92%	30%	66%	48%	30%	122%	11%	1%	9%	3%	61%	19%	25%	3%	146%	
14	5,008	1	82%	26%	60%	50%	26%	115%	8%	3%	7%	1%	62%	22%	27%	1%	142%	
14	5,917	1	72%	21%	56%	52%	21%	110%	4%	5%	7%	5%	63%	25%	27%	5%	135%	
14	6,683	1	69%	20%	57%	52%	20%	112%	5%	3%	11%	5%	63%	25%	25%	5%	130%	
14	7,483	1	68%	21%	57%	52%	21%	112%	5%	3%	10%	5%	63%	25%	26%	5%	132%	
14	8,333	1	66%	21%	58%	52%	21%	114%	6%	2%	13%	5%	63%	25%	24%	5%	128%	
14	4,183	2	102%	34%	64%	46%	34%	76%	11%	8%	8%	7%	64%	16%	35%	7%	182%	
14	4,983	2	107%	39%	72%	44%	39%	86%	16%	2%	0%	11%	62%	13%	30%	11%	178%	
14	5,842	2	96%	34%	65%	46%	34%	78%	12%	6%	5%	7%	63%	16%	33%	7%	176%	
14	6,633	2	94%	35%	68%	46%	35%	83%	13%	3%	1%	8%	62%	15%	30%	8%	168%	
14	7,450	2	87%	31%	64%	47%	31%	79%	10%	5%	0%	4%	63%	18%	31%	4%	163%	
14	8,400	2	87%	33%	67%	47%	33%	83%	12%	3%	3%	6%	62%	17%	29%	6%	162%	
15	4,195	0	81%	28%	74%	50%	28%		15%	14%	40%	0%	59%	22%	8%	0%	109%	
15	4,967	0	81%	29%	77%	49%	29%		18%	17%	45%	1%	58%	21%	5%	1%	106%	
15	5,833	0	75%	27%	74%	50%	27%		16%	15%	42%	1%	59%	22%	7%	1%	107%	
15	6,633	0	75%	29%	78%	49%	29%		18%	19%	48%	0%	58%	21%	3%	0%	103%	
15	7,500	0	67%	24%	72%	51%	24%		14%	15%	43%	3%	60%	24%	6%	3%	103%	
15	8,333	0	66%	25%	73%	51%	25%		15%	16%	45%	3%	60%	23%	5%	3%	102%	
15	4,167	1	121%	51%	94%	40%	51%	160%	30%	17%	31%	19%	55%	6%	11%	19%	148%	
15	5,050	1	108%	44%	87%	42%	44%	152%	25%	14%	29%	14%	56%	10%	13%	14%	141%	
15	5,783	1	107%	46%	88%	42%	46%	153%	26%	15%	29%	15%	56%	10%	12%	15%	142%	
15	6,650	1	105%	46%	90%	42%	46%	157%	27%	17%	34%	15%	55%	9%	10%	15%	137%	
15	7,483	1	103%	47%	91%	42%	47%	158%	28%	18%	35%	16%	55%	9%	9%	16%	137%	
15	8,333	1	98%	44%	88%	43%	44%	155%	26%	17%	34%	14%	55%	11%	10%	14%	135%	
15	4,250	2	130%	52%	85%	39%	52%	98%	25%	3%	2%	21%	60%	4%	28%	21%	198%	
15	5,000	2	118%	47%	80%	41%	47%	93%	21%	1%	2%	17%	61%	8%	29%	17%	188%	
15	5,867	2	107%	42%	76%	43%	42%	90%	19%	1%	3%	13%	61%	11%	28%	13%	177%	
15	6,617	2	102%	40%	74%	44%	40%	89%	17%	0%	3%	12%	61%	12%	28%	12%	173%	
15	7,475	2	104%	43%	79%	42%	43%	95%	21%	4%	9%	14%	59%	10%	24%	14%	168%	
15	8,333	2	101%	42%	77%	43%	42%	93%	19%	2%	6%	13%	60%	11%	26%	13%	172%	

13.3.4 Análisis de sensibilidad sobre el coeficiente de descarga

Para las rejillas N°1 y N°11 se realiza el análisis de sensibilidad con variaciones de ± 3 [mm] sobre la altura inicial y final sobre la rejilla.

Tabla 13.36 Sensibilidad en altura inicial, rejilla N°1

Sensibilidad ± 3 [mm] en h1									
+3 [mm]					-3 [mm]				
h1 [cm]	E [cm]	vel [m/s]	Fr	Cd	h1 [cm]	E [cm]	vel [m/s]	Fr	Cd
4,94	8,94	0,89	1,27	0,445	4,34	9,52	1,01	1,54	0,429
5,30	9,70	0,93	1,29	0,456	4,70	10,30	1,05	1,54	0,440
5,59	10,49	0,98	1,32	0,456	4,99	11,14	1,10	1,57	0,438
6,02	11,12	1,00	1,30	0,462	5,42	11,71	1,11	1,52	0,446

Sensibilidad ± 3 [mm] en h1									
+3 [mm]					-3 [mm]				
h1 [cm]	E [cm]	vel [m/s]	Fr	Cd	h1 [cm]	E [cm]	vel [m/s]	Fr	Cd
4,25	9,72	1,04	1,60	0,423	3,65	11,06	1,21	2,01	0,393
4,57	10,59	1,09	1,62	0,436	3,97	11,95	1,25	2,01	0,405
4,92	11,23	1,11	1,60	0,443	4,32	12,50	1,27	1,95	0,413
5,27	11,97	1,15	1,60	0,440	4,67	13,21	1,29	1,91	0,411
3,74	10,67	1,17	1,92	0,365	3,14	12,96	1,39	2,50	0,322
4,08	11,68	1,22	1,93	0,379	3,48	13,92	1,43	2,45	0,336
4,37	12,35	1,25	1,91	0,379	3,77	14,50	1,45	2,38	0,337
4,70	13,00	1,28	1,88	0,380	4,10	15,01	1,46	2,31	0,339

Tabla 13.37 Sensibilidad en altura final, rejilla N°1

Sensibilidad ± 3 [mm] en h2			
+3 [mm]		-3 [mm]	
h2 [cm]	Cd	h2 [cm]	Cd
0,69	0,396	0,09	0,483
0,89	0,407	0,29	0,493
1,16	0,407	0,56	0,491
1,39	0,415	0,79	0,497
0,71	0,367	0,11	0,454
0,89	0,380	0,29	0,466
1,10	0,388	0,50	0,473
1,40	0,386	0,80	0,469
0,93	0,303	0,33	0,389
1,13	0,317	0,53	0,402
1,37	0,318	0,77	0,402
1,62	0,321	1,02	0,403

Tabla 13.38 Variaciones porcentuales del coeficiente de descarga, rejilla N°1

Cambio del Coeficiente de descarga			
h1		h2	
+3 [mm]	-3 [mm]	+3 [mm]	-3 [mm]
1,5%	2,1%	9,8%	10,1%
1,5%	2,1%	9,4%	9,7%
1,7%	2,2%	9,2%	9,5%
1,5%	2,0%	8,9%	9,2%
3,3%	4,2%	10,5%	10,8%
3,3%	4,1%	10,1%	10,4%
3,1%	3,8%	9,7%	10,0%
3,1%	3,8%	9,6%	9,8%
5,7%	6,8%	12,3%	12,6%
5,5%	6,5%	11,7%	12,0%
5,4%	6,3%	11,5%	11,8%
5,2%	6,1%	11,2%	11,5%

Tabla 13.39 Sensibilidad en altura inicial, rejilla N°11

Sensibilidad ± 3 [mm] en h1									
+3 [mm]					-3 [mm]				
h1 [cm]	E [cm]	vel [m/s]	Fr	Cd	h1 [cm]	E [cm]	vel [m/s]	Fr	Cd
3,77	6,55	0,74	1,21	0,389	3,17	7,10	0,88	1,58	0,393
4,20	7,28	0,78	1,21	0,388	3,60	7,80	0,91	1,53	0,390
4,69	8,18	0,83	1,22	0,395	4,09	8,68	0,95	1,50	0,395
5,07	8,88	0,87	1,23	0,394	4,47	9,38	0,98	1,48	0,394
5,48	9,60	0,90	1,23	0,397	4,88	10,08	1,01	1,46	0,396
5,87	10,32	0,93	1,23	0,404	5,27	10,79	1,04	1,45	0,401
3,17	6,99	0,87	1,55	0,333	2,57	8,38	1,07	2,13	0,330
3,58	7,80	0,91	1,54	0,344	2,98	9,07	1,09	2,02	0,339
3,97	8,68	0,96	1,54	0,348	3,37	9,91	1,13	1,97	0,340
4,35	9,60	1,02	1,55	0,349	3,75	10,82	1,18	1,94	0,338
4,73	10,26	1,04	1,53	0,357	4,13	11,39	1,19	1,88	0,346
5,08	10,99	1,08	1,53	0,359	4,48	12,08	1,22	1,84	0,346
2,74	7,87	1,00	1,94	0,312	2,14	10,55	1,28	2,80	0,295
3,10	8,92	1,07	1,94	0,318	2,50	11,44	1,32	2,67	0,296
3,46	9,70	1,11	1,90	0,327	2,86	11,99	1,34	2,52	0,305
3,83	10,66	1,16	1,89	0,343	3,23	12,83	1,37	2,44	0,320
4,13	11,37	1,19	1,87	0,344	3,53	13,44	1,39	2,37	0,319
4,44	12,11	1,23	1,86	0,351	3,84	14,10	1,42	2,31	0,326

Tabla 13.40 Sensibilidad en altura final, rejilla N°11

Sensibilidad ± 3 [mm] en h2			
+3 [mm]		-3 [mm]	
h2 [cm]	Cd	h2 [cm]	Cd
0,96	0,310	0,36	0,499
1,19	0,316	0,59	0,480
1,46	0,328	0,86	0,475
1,71	0,331	1,11	0,467
1,96	0,337	1,36	0,465
2,19	0,346	1,59	0,468
1,15	0,257	0,55	0,428
1,37	0,272	0,77	0,428
1,63	0,279	1,03	0,422
1,92	0,283	1,32	0,415
2,14	0,293	1,54	0,419
2,39	0,297	1,79	0,417
1,22	0,226	0,62	0,406
1,48	0,235	0,88	0,398
1,70	0,248	1,10	0,401
1,92	0,265	1,32	0,411
2,14	0,269	1,54	0,407
2,35	0,278	1,75	0,411

Tabla 13.41 Variaciones porcentuales del coeficiente de descarga, rejilla N°11

Cambio del Coeficiente de descarga			
h1		h2	
+3 [mm]	-3 [mm]	+3 [mm]	-3 [mm]
0,5%	0,6%	20,7%	27,7%
0,3%	0,3%	18,8%	23,4%

Cambio del Coeficiente de descarga			
h1		h2	
+3 [mm]	-3 [mm]	+3 [mm]	-3 [mm]
0,1%	0,0%	17,0%	20,3%
0,0%	0,2%	15,9%	18,6%
0,1%	0,3%	15,0%	17,1%
0,2%	0,4%	14,2%	16,0%
0,1%	0,8%	22,7%	28,6%
0,4%	1,1%	20,6%	24,9%
0,8%	1,5%	19,1%	22,3%
1,2%	1,9%	17,9%	20,5%
1,2%	1,9%	16,8%	19,0%
1,4%	2,1%	16,1%	17,9%
1,8%	3,7%	26,3%	32,4%
2,6%	4,4%	24,2%	28,6%
2,7%	4,3%	22,2%	25,7%
2,8%	4,2%	20,5%	23,3%
3,0%	4,4%	19,6%	22,0%
3,1%	4,4%	18,6%	20,6%

13.3.5 Porcentaje de caudal descargado

Para las rejillas N°1, 2, 6 y 11 se tienen los resultados para tres pendientes distintas, para el resto de las rejillas únicamente para pendiente 1.5%.

Tabla 13.42 Mediciones para porcentaje de caudal descargado, rejilla N°1

Rejilla N° 1								
Pendiente	Q [l/min]	Q total [l/s]	V1 [l]	V2 [l]	t [s]	Q final [l/s]	Q desviado [l/s]	% desviado
0,0%	98,4	1,64	0	10	77,53	0,13	1,51	92%
0,0%	205,0	3,42	20	30	52,16	0,19	3,22	94%
0,0%	307,0	5,12	40	60	66,41	0,30	4,82	94%
0,0%	401,0	6,68	80	110	45,88	0,65	6,03	90%
0,0%	503,0	8,38	80	140	38,25	1,57	6,81	81%
0,0%	572,0	9,53	50	150	42,75	2,34	7,19	75%
1,5%	106,0	1,77	0	10	63,25	0,16	1,61	91%
1,5%	199,0	3,32	20	30	42,25	0,24	3,08	93%
1,5%	304,0	5,07	40	60	55,03	0,36	4,70	93%
1,5%	406,0	6,77	80	110	33,81	0,89	5,88	87%
1,5%	500,0	8,33	20	100	43,62	1,83	6,50	78%
1,5%	565,0	9,42	20	140	47,65	2,52	6,90	73%
3,0%	98,5	1,64	0	20	105,06	0,19	1,45	88%
3,0%	200,0	3,33	30	40	36,31	0,28	3,06	92%
3,0%	302,5	5,04	60	80	40,12	0,50	4,54	90%
3,0%	402,0	6,70	100	140	38,60	1,04	5,66	85%
3,0%	500,0	8,33	20	120	46,69	2,14	6,19	74%
3,0%	567,0	9,45	20	120	34,18	2,93	6,52	69%

Tabla 13.43 Mediciones para porcentaje de caudal descargado, rejilla N°2

Rejilla N° 2								
Pendiente	Q [l/min]	Q total [l/s]	V1 [l]	V2 [l]	t [s]	Q final [l/s]	Q desviado [l/s]	% desviado
0,0%	103,0	1,72	10	20	52,16	0,19	1,52	89%
0,0%	200,0	3,33	30	50	45,22	0,44	2,89	87%
0,0%	302,5	5,04	80	130	32,22	1,55	3,49	69%
0,0%	399,5	6,66	30	110	29,78	2,69	3,97	60%
0,0%	498,0	8,30	40	150	27,79	3,96	4,34	52%
0,0%	572,0	9,53	40	140	20,22	4,95	4,59	48%
1,5%	102,0	1,70	0	20	89,68	0,22	1,48	87%
1,5%	200,0	3,33	50	70	34,75	0,58	2,76	83%
1,5%	300,5	5,01	100	160	34,50	1,74	3,27	65%
1,5%	406,0	6,77	20	120	32,25	3,10	3,67	54%
1,5%	496,0	8,27	40	140	23,94	4,18	4,09	49%
1,5%	566,0	9,43	40	140	19,88	5,03	4,40	47%
3,0%	103,0	1,72	0	20	73,19	0,27	1,44	84%
3,0%	200,0	3,33	30	70	52,91	0,76	2,58	77%
3,0%	300,0	5,00	40	120	40,04	2,00	3,00	60%
3,0%	399,0	6,65	20	130	33,72	3,26	3,39	51%
3,0%	498,0	8,30	30	160	28,57	4,55	3,75	45%
3,0%	563,0	9,38	40	140	18,81	5,32	4,07	43%

Tabla 13.44 Mediciones para porcentaje de caudal descargado, rejilla N°6

Rejilla N° 6								
Pendiente	Q [l/min]	Q total [l/s]	V1 [l]	V2 [l]	t [s]	Q final [l/s]	Q desviado [l/s]	% desviado
0,0%	102,5	1,71	0	10	1200,00*	0,01	1,70	100%
0,0%	152,0	2,53	0	5	140,81	0,04	2,50	99%
0,0%	207,0	3,45	20	40	31,75	0,63	2,82	82%
0,0%	302,5	5,04	70	120	33,03	1,51	3,53	70%
0,0%	399,0	6,65	30	130	40,09	2,49	4,16	62%
0,0%	498,0	8,30	30	150	33,40	3,59	4,71	57%
0,0%	567,0	9,45	30	150	27,66	4,34	5,11	54%
1,5%	105,0	1,75	0	10	1200,00*	0,01	1,74	100%
1,5%	152,0	2,53	10	30	40,65	0,49	2,04	81%
1,5%	205,0	3,42	50	110	59,53	1,01	2,41	71%
1,5%	302,0	5,03	110	160	24,50	2,04	2,99	59%
1,5%	399,0	6,65	20	120	30,85	3,24	3,41	51%
1,5%	499,0	8,32	30	160	30,52	4,26	4,06	49%
1,5%	566,0	9,43	40	140	19,97	5,01	4,43	47%
3,0%	101,5	1,69	20	40	62,84	0,32	1,37	81%
3,0%	199,5	3,33	70	130	42,10	1,43	1,90	57%
3,0%	302,5	5,04	40	110	26,47	2,64	2,40	48%
3,0%	400,0	6,67	40	140	26,62	3,76	2,91	44%
3,0%	497,0	8,28	50	150	20,19	4,95	3,33	40%
3,0%	570,0	9,50	50	150	17,25	5,80	3,70	39%

*1200.00 representa un tiempo muy grande el cual no fue medido, pero representa que el caudal de salida es prácticamente nulo.

Tabla 13.45 Mediciones para porcentaje de caudal descargado, rejilla N°11

Rejilla N° 11								
Pendiente	Q [l/min]	Q total [l/s]	V1 [l]	V2 [l]	t [s]	Q final [l/s]	Q desviado [l/s]	% desviado
0,0%	100,0	1,67	0	10	1200,00*	0,01	1,66	100%
0,0%	155,5	2,59	0	10	81,84	0,12	2,47	95%
0,0%	201,5	3,36	20	50	54,66	0,55	2,81	84%
0,0%	305,0	5,08	80	140	41,69	1,44	3,64	72%
0,0%	401,0	6,68	40	150	45,34	2,43	4,26	64%
0,0%	502,5	8,38	40	150	31,16	3,53	4,84	58%
0,0%	572,0	9,53	40	150	25,65	4,29	5,24	55%
1,5%	100,5	1,68	0	10	1200,00*	0,01	1,67	100%
1,5%	155,0	2,58	20	50	54,65	0,55	2,03	79%
1,5%	203,0	3,38	10	60	47,75	1,05	2,34	69%
1,5%	297,0	4,95	80	150	35,34	1,98	2,97	60%
1,5%	399,0	6,65	30	130	32,00	3,13	3,53	53%
1,5%	500,0	8,33	50	150	23,19	4,31	4,02	48%
1,5%	567,0	9,45	30	150	23,44	5,12	4,33	46%
3,0%	102,5	1,71	10	40	77,21	0,39	1,32	77%
3,0%	198,0	3,30	70	130	42,62	1,41	1,89	57%
3,0%	299,5	4,99	20	100	31,47	2,54	2,45	49%
3,0%	403,0	6,72	30	130	27,10	3,69	3,03	45%
3,0%	500,5	8,34	40	150	22,25	4,94	3,40	41%
3,0%	570,0	9,50	50	150	17,50	5,71	3,79	40%

Tabla 13.46 Mediciones para porcentaje de caudal descargado, otras rejillas

Pendiente 1.5%								
Rejilla	Q [l/min]	Q total [l/s]	V1 [l]	V2 [l]	t [s]	Q final [l/s]	Q desviado [l/s]	% desviado
3	99,5	1,66	0	20	109,22	0,18	1,48	89%
	199,0	3,32	40	60	84,13	0,24	3,08	93%
	303,0	5,05	80	90	32,71	0,31	4,74	94%
	401,0	6,68	100	120	38,19	0,52	6,16	92%
	501,0	8,35	20	80	46,75	1,28	7,07	85%
	575,0	9,58	120	160	20,88	1,92	7,67	80%
4	101,5	1,69	20	70	65,50	0,76	0,93	55%
	200,5	3,34	80	140	29,69	2,02	1,32	40%
	299,0	4,98	20	130	32,50	3,38	1,60	32%
	404,5	6,74	40	160	25,32	4,74	2,00	30%
	500,5	8,34	50	150	16,87	5,93	2,41	29%
	569,0	9,48	60	160	13,75	7,27	2,21	23%
5	100,0	1,67	0	10	375,13	0,03	1,64	98%
	199,5	3,33	30	70	41,47	0,96	2,36	71%
	299,5	4,99	70	140	35,09	1,99	3,00	60%
	403,0	6,72	20	110	28,43	3,17	3,55	53%
	498,5	8,31	30	160	30,04	4,33	3,98	48%
	570,0	9,50	40	160	23,63	5,08	4,42	47%
7	100,0	1,67	0	10	1000,00*	0,01	1,66	99%
	200,0	3,33	0	10	1000,00*	0,01	3,32	100%
	300,5	5,01	10	30	50,43	0,40	4,61	92%
	397,0	6,62	50	90	37,66	1,06	5,55	84%

Pendiente 1.5%								
Rejilla	Q [l/min]	Q total [l/s]	V1 [l]	V2 [l]	t [s]	Q final [l/s]	Q desviado [l/s]	% desviado
	495,0	8,25	90	150	33,21	1,81	6,44	78%
	570,0	9,50	20	100	33,41	2,39	7,11	75%
8	98,5	1,64	0	60	57,87	1,04	0,60	37%
	202,5	3,38	20	100	31,16	2,57	0,81	24%
	298,0	4,97	20	120	25,38	3,94	1,03	21%
	400,0	6,67	40	150	20,32	5,41	1,25	19%
	500,0	8,33	50	150	14,28	7,00	1,33	16%
	576,0	9,60	70	160	11,06	8,14	1,46	15%
9	101,0	1,68	10	50	62,72	0,64	1,05	62%
	203,0	3,38	90	150	31,56	1,90	1,48	44%
	304,0	5,07	20	120	30,79	3,25	1,82	36%
	399,5	6,66	30	160	29,06	4,47	2,18	33%
	497,0	8,28	40	160	20,38	5,89	2,40	29%
	572,0	9,53	50	140	13,15	6,84	2,69	28%
10	100,5	1,68	0	50	80,03	0,62	1,05	63%
	199,0	3,32	70	120	27,88	1,79	1,52	46%
	302,0	5,03	20	120	31,00	3,23	1,81	36%
	403,0	6,72	30	160	29,06	4,47	2,24	33%
	504,0	8,40	40	160	20,22	5,93	2,47	29%
	575,0	9,58	60	160	14,91	6,71	2,88	30%
12	100,0	1,67	10	70	57,75	1,04	0,63	38%
	204,0	3,40	80	150	27,82	2,52	0,88	26%
	297,0	4,95	30	150	30,44	3,94	1,01	20%
	401,0	6,68	40	160	22,03	5,45	1,24	18%
	499,5	8,33	50	160	15,66	7,02	1,30	16%
	571,0	9,52	70	160	11,15	8,07	1,44	15%
13	102,5	1,71	0	30	72,54	0,41	1,29	76%
	205,0	3,42	60	110	30,22	1,65	1,76	52%
	303,0	5,05	130	160	10,53	2,85	2,20	44%
	401,0	6,68	30	140	26,03	4,23	2,46	37%
	502,0	8,37	40	160	22,25	5,39	2,97	36%
	579,0	9,65	50	160	16,78	6,56	3,09	32%
14	99,5	1,66	30	80	59,97	0,83	0,82	50%
	202,0	3,37	80	140	26,81	2,24	1,13	34%
	303,0	5,05	20	140	32,87	3,65	1,40	28%
	401,5	6,69	30	160	25,31	5,14	1,56	23%
	500,5	8,34	50	160	16,65	6,61	1,74	21%
	574,5	9,58	60	160	13,38	7,47	2,10	22%
15	100,0	1,67	10	20	76,06	0,13	1,54	92%
	198,0	3,30	50	100	42,47	1,18	2,12	64%
	299,5	4,99	110	160	21,25	2,35	2,64	53%
	400,0	6,67	20	140	33,41	3,59	3,07	46%
	501,5	8,36	40	150	22,81	4,82	3,54	42%
	579,0	9,65	40	160	20,65	5,81	3,84	40%

*1000.00 representa un tiempo muy grande el cual no fue medido, pero representa que el caudal de salida es prácticamente nulo.

13.3.6 Comparación con autores en el porcentaje de caudal descargado

Tabla 13.47 Comparación porcentaje de caudal descargado en rejillas paralelas

Rejilla	Q total [l/s]	D/s	Largo [cm]	hc [cm]	L/hc	L/h1F	% desviado	Singh	Shukla	Zagade
1	1,77	0,57	20,00	2,40	8,34	6,51	0,91	3,61	353%	260%
1	3,32	0,57	20,00	3,65	5,48	4,29	0,93	2,37	232%	171%
1	5,07	0,57	20,00	4,84	4,13	3,30	0,93	1,79	175%	132%
1	6,77	0,57	20,00	5,87	3,41	2,74	0,87	1,47	144%	109%
1	8,33	0,57	20,00	6,74	2,97	2,41	0,78	1,28	126%	96%
1	9,42	0,57	20,00	7,31	2,73	2,22	0,73	1,18	116%	89%
2	1,70	0,20	20,00	2,34	8,56	6,65	0,87	3,85	464%	93%
2	3,33	0,20	20,00	3,66	5,46	4,30	0,83	2,45	296%	60%
2	5,01	0,20	20,00	4,80	4,17	3,36	0,65	1,87	226%	47%
2	6,77	0,20	20,00	5,87	3,41	2,78	0,54	1,53	185%	39%
2	8,27	0,20	20,00	6,71	2,98	2,42	0,49	1,34	162%	34%
2	9,43	0,20	20,00	7,32	2,73	2,24	0,47	1,23	148%	31%
3	1,66	0,20	40,00	2,30	17,41	13,73	0,89	7,82	943%	192%
3	3,32	0,20	40,00	3,65	10,97	8,71	0,93	4,93	594%	122%
3	5,05	0,20	40,00	4,83	8,29	6,67	0,94	3,72	449%	93%
3	6,68	0,20	40,00	5,82	6,87	5,54	0,92	3,09	372%	78%
3	8,35	0,20	40,00	6,75	5,93	4,76	0,85	2,66	321%	67%
3	9,58	0,20	40,00	7,40	5,41	4,29	0,80	2,43	293%	60%

Tabla 13.48 Comparación porcentaje de caudal descargado en perpendiculares rectangulares

Rejilla	Q total [l/s]	D/s	Largo [cm]	hc [cm]	L/hc	L/h1F	% desviado	Singh	Shukla	Zagade
4	1,69	0,33	17	2,33	7,30	5,52	55%	324%	353%	129%
4	3,34	0,33	17	3,67	4,64	3,66	40%	205%	224%	85%
4	4,98	0,33	17	4,79	3,55	2,84	32%	157%	172%	66%
4	6,74	0,33	17	5,85	2,90	2,34	30%	129%	141%	55%
4	8,34	0,33	17	6,75	2,52	2,06	29%	112%	122%	48%
4	9,48	0,33	17	7,35	2,31	1,90	23%	103%	112%	44%
5	1,67	1,00	19	2,31	8,24	6,31	98%	340%	297%	441%
5	3,33	1,00	19	3,65	5,20	4,04	71%	214%	187%	282%
5	4,99	1,00	19	4,79	3,97	3,13	60%	164%	143%	219%
5	6,72	1,00	19	5,84	3,25	2,61	53%	134%	117%	183%
5	8,31	1,00	19	6,73	2,82	2,29	48%	116%	102%	160%
5	9,50	1,00	19	7,36	2,58	2,06	47%	107%	93%	144%
6	1,75	0,33	41	2,38	17,21	13,20	100%	763%	833%	308%
6	2,53	0,33	41	3,05	13,45	10,62	81%	596%	651%	248%
6	3,42	0,33	41	3,72	11,02	8,70	71%	488%	533%	203%
6	5,03	0,33	41	4,82	8,51	6,77	59%	377%	412%	158%
6	6,65	0,33	41	5,80	7,07	5,73	51%	313%	342%	134%
6	8,32	0,33	41	6,73	6,09	4,91	49%	270%	295%	115%
6	9,43	0,33	41	7,32	5,60	4,50	47%	248%	271%	105%
7	1,67	1,00	43	2,31	18,65	14,32	99%	769%	671%	1003%

Rejilla	Q total [l/s]	D/s	Largo [cm]	hc [cm]	L/hc	L/h1F	% desviado	Singh	Shukla	Zagade
7	3,33	1,00	43	3,66	11,75	9,43	100%	485%	423%	660%
7	5,01	1,00	43	4,80	8,96	7,08	92%	369%	322%	496%
7	6,62	1,00	43	5,78	7,44	5,84	84%	307%	268%	409%
7	8,25	1,00	43	6,70	6,42	5,13	78%	265%	231%	359%
7	9,50	1,00	43	7,36	5,84	4,72	75%	241%	210%	330%
8	1,64	0,14	16,5	2,28	7,23	5,64	37%	327%	419%	56%
8	3,38	0,14	16,5	3,69	4,47	3,54	24%	202%	259%	35%
8	4,97	0,14	16,5	4,77	3,46	2,78	21%	156%	200%	28%
8	6,67	0,14	16,5	5,81	2,84	2,31	19%	128%	165%	23%
8	8,33	0,14	16,5	6,74	2,45	2,02	16%	111%	142%	20%
8	9,60	0,14	16,5	7,41	2,23	1,84	15%	101%	129%	18%
9	1,68	0,33	18,5	2,32	7,97	6,15	62%	353%	386%	143%
9	3,38	0,33	18,5	3,70	5,00	3,94	44%	222%	242%	92%
9	5,07	0,33	18,5	4,84	3,82	3,08	36%	169%	185%	72%
9	6,66	0,33	18,5	5,80	3,19	2,62	33%	141%	154%	61%
9	8,28	0,33	18,5	6,71	2,76	2,26	29%	122%	133%	53%
9	9,53	0,33	18,5	7,37	2,51	2,06	28%	111%	121%	48%
10	1,68	0,14	40,5	2,31	17,51	13,62	63%	791%	1015%	136%
10	3,32	0,14	40,5	3,65	11,10	8,80	46%	502%	644%	88%
10	5,03	0,14	40,5	4,82	8,41	6,83	36%	380%	487%	68%
10	6,72	0,14	40,5	5,84	6,94	5,60	33%	313%	402%	56%
10	8,40	0,14	40,5	6,78	5,98	4,88	29%	270%	346%	49%
10	9,58	0,14	40,5	7,40	5,47	4,46	30%	247%	317%	45%
11	1,68	0,33	42,5	2,31	18,37	14,34	100%	814%	889%	335%
11	2,58	0,33	42,5	3,09	13,76	11,05	79%	610%	666%	258%
11	3,38	0,33	42,5	3,70	11,50	9,23	69%	509%	557%	215%
11	4,95	0,33	42,5	4,76	8,92	7,20	60%	395%	432%	168%
11	6,65	0,33	42,5	5,80	7,33	5,88	53%	325%	355%	137%
11	8,33	0,33	42,5	6,74	6,30	5,07	48%	279%	305%	118%
11	9,45	0,33	42,5	7,33	5,80	4,69	46%	257%	281%	109%

Tabla 13.49 Comparación porcentaje de caudal descargado en rejillas perpendiculares circulares

Rejilla	Q total [l/s]	D/s	Largo [cm]	hc [cm]	L/hc	L/h1F	% desviado	Singh	Shukla	Zagade
12	1,67	1,00	19,00	2,31	8,24	6,40	0,38	340%	297%	448%
12	3,40	1,00	19,00	3,71	5,12	4,09	0,26	211%	184%	286%
12	4,95	1,00	19,00	4,76	3,99	3,25	0,20	165%	144%	228%
12	6,68	1,00	19,00	5,82	3,26	2,67	0,18	135%	118%	187%
12	8,33	1,00	19,00	6,74	2,82	2,32	0,16	116%	102%	162%
12	9,52	1,00	19,00	7,37	2,58	2,13	0,15	106%	93%	149%
13	1,71	1,00	45,20	2,34	19,28	15,17	0,76	795%	694%	1062%
13	3,42	1,00	45,20	3,72	12,15	9,96	0,52	501%	437%	697%
13	5,05	1,00	45,20	4,83	9,36	7,56	0,44	386%	337%	529%
13	6,68	1,00	45,20	5,82	7,77	6,28	0,37	320%	280%	440%
13	8,37	1,00	45,20	6,76	6,69	5,48	0,36	276%	241%	384%
13	9,65	1,00	45,20	7,43	6,08	4,93	0,32	251%	219%	345%

Rejilla	Q total [l/s]	D/s	Largo [cm]	hc [cm]	L/hc	L/h ₁ F	% desviado	Singh	Shukla	Zagade
14	1,66	1,00	18,00	2,30	7,83	6,11	0,50	323%	282%	428%
14	3,37	1,00	18,00	3,68	4,89	3,83	0,34	202%	176%	268%
14	5,05	1,00	18,00	4,83	3,73	3,00	0,28	154%	134%	210%
14	6,69	1,00	18,00	5,82	3,09	2,50	0,23	127%	111%	175%
14	8,34	1,00	18,00	6,75	2,67	2,19	0,21	110%	96%	154%
14	9,58	1,00	18,00	7,40	2,43	2,01	0,22	100%	88%	141%
15	1,67	1,00	42,00	2,31	18,22	14,09	0,92	751%	656%	987%
15	3,30	1,00	42,00	3,64	11,55	9,25	0,64	477%	416%	647%
15	4,99	1,00	42,00	4,79	8,77	6,98	0,53	362%	316%	489%
15	6,67	1,00	42,00	5,81	7,23	5,70	0,46	298%	260%	399%
15	8,36	1,00	42,00	6,76	6,22	4,98	0,42	256%	224%	348%
15	9,65	1,00	42,00	7,43	5,65	4,58	0,40	233%	203%	321%

Comparativa de porcentaje de caudal descargado con Zagade (1987)

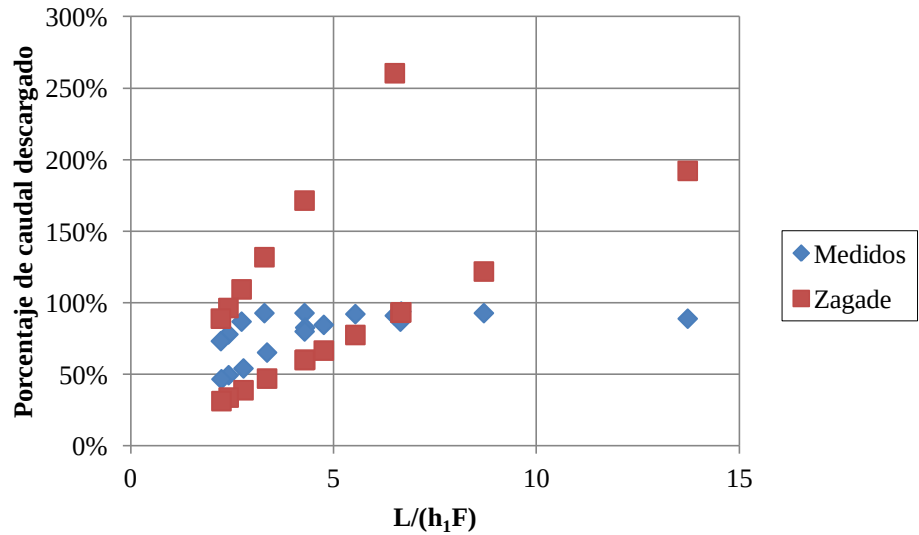


Figura 13.23 Comparando con Zagade para rejillas paralelas en flujo del tipo B1

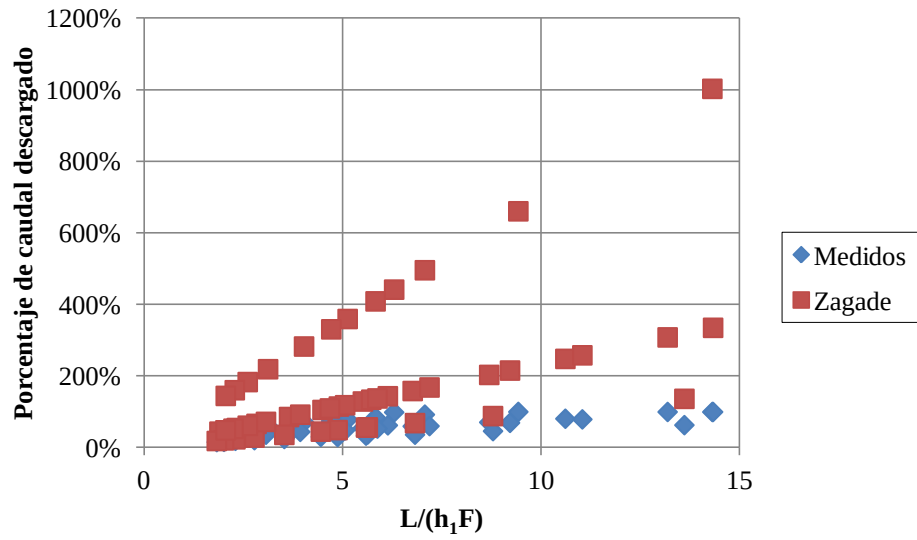


Figura 13.24 Comparando con Zagade para rejillas perpendiculares de orificios rectangulares en flujo del tipo B1

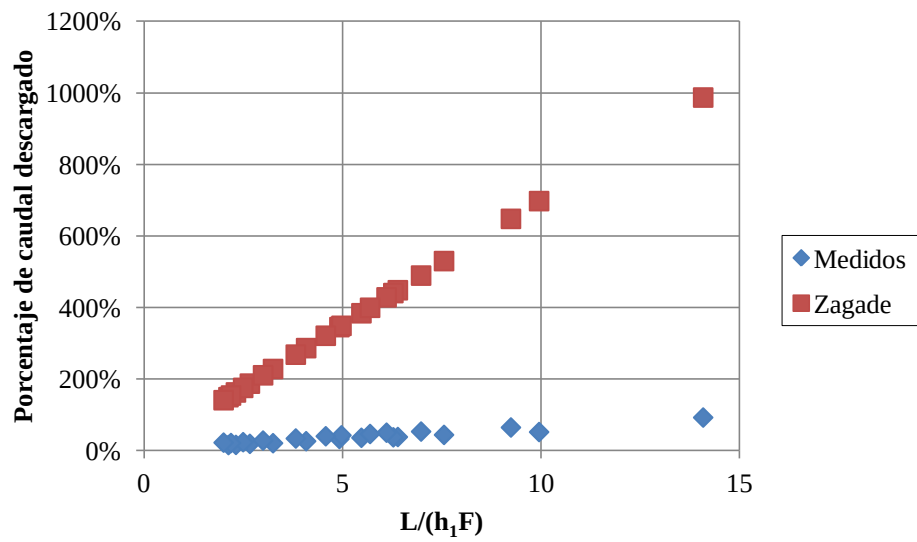


Figura 13.25 Comparando con Zagade para rejillas perpendiculares de orificios circulares en flujo del tipo B1

13.3.7 Comparación de caudal descargado con literatura

Tabla 13.50 Comparación caudal descargado en rejillas paralelas

Rejilla	Q [l/min]	V1 [l]	V2 [l]	T [seg]	h1 [cm]	L [cm]	e	Cd	Q des real [l/s]	Q des teo [l/s]	error
1	106,0	0	10	63,25	1,46	20,0	32,89%	0,349	1,609	3,241	102%
1	199,0	20	30	42,25	2,23	20,0	32,89%	0,359	3,080	4,229	37%
1	304,0	40	60	55,03	3,08	20,0	32,89%	0,371	4,703	5,008	6%
1	406,0	80	110	33,81	3,78	20,0	32,89%	0,382	5,879	5,740	2%
1	500,0	20	100	43,62	4,45	20,0	32,89%	0,392	6,499	6,313	3%
1	565,0	20	140	47,65	4,84	20,0	32,89%	0,399	6,898	6,741	2%
2	102,0	0	20	89,68	1,41	20,0	16,45%	0,434	1,477	2,001	35%
2	200,0	50	70	34,75	2,27	20,0	16,45%	0,437	2,758	2,552	7%
2	300,5	100	160	34,50	3,13	20,0	16,45%	0,440	3,269	2,913	11%
2	406,0	20	120	32,25	3,91	20,0	16,45%	0,443	3,666	3,261	11%
2	496,0	40	140	23,94	4,40	20,0	16,45%	0,445	4,090	3,586	12%
2	566,0	40	140	19,88	4,92	20,0	16,45%	0,447	4,403	3,747	15%
3	99,5	0	20	109,22	1,43	40,0	16,45%	0,329	1,475	2,932	99%
3	199,0	40	60	84,13	2,30	40,0	16,45%	0,355	3,079	4,096	33%
3	303,0	80	90	32,71	3,13	40,0	16,45%	0,383	4,744	5,113	8%
3	401,0	100	120	38,19	3,78	40,0	16,45%	0,410	6,160	6,100	1%
3	501,0	20	80	46,75	4,36	40,0	16,45%	0,437	7,067	7,130	1%
3	575,0	120	160	20,88	4,66	40,0	16,45%	0,457	7,668	7,998	4%

Tabla 13.51 Comparación caudal descargado en rejillas perpendiculares

Rejilla	Q [l/min]	V1 [l]	V2 [l]	T [seg]	h1 [cm]	L [cm]	e	Cd	Q des real [l/s]	Q des teo [l/s]	error
4	101,5	20	70	65,50	1,33	17,0	25,15%	0,341	0,928	0,861	7%
4	200,5	80	140	29,69	2,28	17,0	25,15%	0,343	1,321	1,275	3%
4	299,0	20	130	32,50	3,05	17,0	25,15%	0,345	1,599	1,599	0%
4	404,5	40	160	25,32	3,80	17,0	25,15%	0,348	2,002	1,895	5%
4	500,5	50	150	16,87	4,49	17,0	25,15%	0,350	2,414	2,135	12%
4	569,0	60	160	13,75	4,97	17,0	25,15%	0,352	2,211	2,294	4%
5	100,0	0	10	375,13	1,35	19,0	45,01%	0,339	1,640	1,387	15%
5	199,5	30	70	41,47	2,20	19,0	45,01%	0,348	2,360	2,236	5%
5	299,5	70	140	35,09	2,98	19,0	45,01%	0,357	2,997	2,927	2%
5	403,0	20	110	28,43	3,77	19,0	45,01%	0,366	3,551	3,558	0%
5	498,5	30	160	30,04	4,42	19,0	45,01%	0,374	3,981	4,100	3%
5	570,0	40	160	23,63	4,69	19,0	45,01%	0,381	4,422	4,504	2%
6	105,0	0	10	1200,00	1,40	41,0	22,95%	0,283	1,742	1,365	22%
6	152,0	10	30	40,65	1,90	41,0	22,95%	0,286	2,041	1,750	14%
6	205,0	50	110	59,53	2,32	41,0	22,95%	0,290	2,409	2,130	12%
6	302,0	110	160	24,50	3,05	41,0	22,95%	0,296	2,993	2,736	9%
6	399,0	20	120	30,85	3,81	41,0	22,95%	0,302	3,409	3,267	4%
6	499,0	30	160	30,52	4,38	41,0	22,95%	0,308	4,057	3,783	7%
6	566,0	40	140	19,97	4,73	41,0	22,95%	0,312	4,426	4,114	7%
7	100,0	0	10	1000,00	1,36	43,0	43,76%	0,238	1,657	1,651	0%

Rejilla	Q [l/min]	V1 [l]	V2 [l]	T [seg]	h1 [cm]	L [cm]	e	Cd	Q des real [l/s]	Q des teo [l/s]	error
7	300,5	10	30	50,43	3,00	43,0	43,76%	0,263	4,612	4,078	12%
7	397,0	50	90	37,66	3,56	43,0	43,76%	0,275	5,555	5,074	9%
7	495,0	90	150	33,21	4,28	43,0	43,76%	0,287	6,443	6,023	7%
7	570,0	20	100	33,41	4,80	43,0	43,76%	0,296	7,106	6,731	5%
8	98,5	0	60	57,87	1,39	16,5	12,96%	0,445	0,605	0,589	3%
8	202,5	20	100	31,16	2,31	16,5	12,96%	0,435	0,808	0,855	6%
8	298,0	20	120	25,38	3,10	16,5	12,96%	0,426	1,027	1,029	0%
8	400,0	40	150	20,32	3,83	16,5	12,96%	0,417	1,253	1,175	6%
8	500,0	50	150	14,28	4,57	16,5	12,96%	0,407	1,331	1,291	3%
8	576,0	70	160	11,06	5,03	16,5	12,96%	0,400	1,463	1,366	7%
9	101,0	10	50	62,72	1,38	18,5	23,12%	0,357	1,046	0,889	15%
9	203,0	90	150	31,56	2,29	18,5	23,12%	0,364	1,482	1,353	9%
9	304,0	20	120	30,79	3,13	18,5	23,12%	0,372	1,819	1,721	5%
9	399,5	30	160	29,06	3,91	18,5	23,12%	0,379	2,185	2,028	7%
9	497,0	40	160	20,38	4,50	18,5	23,12%	0,387	2,395	2,324	3%
9	572,0	50	140	13,15	4,97	18,5	23,12%	0,392	2,689	2,539	6%
10	100,5	0	50	80,03	1,40	40,5	11,61%	0,357	1,050	0,955	9%
10	199,0	70	120	27,88	2,29	40,5	11,61%	0,359	1,523	1,432	6%
10	302,0	20	120	31,00	3,18	40,5	11,61%	0,362	1,808	1,817	1%
10	403,0	30	160	29,06	3,80	40,5	11,61%	0,364	2,243	2,145	4%
10	504,0	40	160	20,22	4,52	40,5	11,61%	0,367	2,465	2,434	1%
10	575,0	60	160	14,91	4,91	40,5	11,61%	0,369	2,876	2,626	9%
11	100,5	0	10	1200,00	1,41	42,5	22,14%	0,303	1,667	1,377	17%
11	155,0	20	50	54,65	1,99	42,5	22,14%	0,310	2,034	1,865	8%
11	203,0	10	60	47,75	2,38	42,5	22,14%	0,315	2,336	2,246	4%
11	297,0	80	150	35,34	3,10	42,5	22,14%	0,326	2,969	2,913	2%
11	399,0	30	130	32,00	3,74	42,5	22,14%	0,337	3,525	3,577	1%
11	500,0	50	150	23,19	4,36	42,5	22,14%	0,349	4,021	4,195	4%
11	567,0	30	150	23,44	4,79	42,5	22,14%	0,356	4,331	4,589	6%
12	100,0	10	70	57,75	1,39	19,0	10,88%	0,407	0,628	0,532	15%
12	204,0	80	150	27,82	2,36	19,0	10,88%	0,414	0,884	0,795	10%
12	297,0	30	150	30,44	3,17	19,0	10,88%	0,421	1,008	0,983	2%
12	401,0	40	160	22,03	3,89	19,0	10,88%	0,429	1,236	1,171	5%
12	499,5	50	160	15,66	4,55	19,0	10,88%	0,436	1,301	1,334	3%
12	571,0	70	160	11,15	5,02	19,0	10,88%	0,442	1,445	1,446	0%
13	102,5	0	30	72,54	1,45	45,2	10,06%	0,444	1,295	1,109	14%
13	205,0	60	110	30,22	2,50	45,2	10,06%	0,444	1,762	1,679	5%
13	303,0	130	160	10,53	3,15	45,2	10,06%	0,444	2,201	2,106	4%
13	401,0	30	140	26,03	3,81	45,2	10,06%	0,444	2,457	2,465	0%
13	502,0	40	160	22,25	4,54	45,2	10,06%	0,444	2,973	2,786	6%
13	579,0	50	160	16,78	4,88	45,2	10,06%	0,444	3,095	3,018	2%
14	99,5	30	80	59,97	1,40	18,0	17,22%	0,382	0,825	0,715	13%
14	202,0	80	140	26,81	2,26	18,0	17,22%	0,391	1,129	1,084	4%
14	303,0	20	140	32,87	3,13	18,0	17,22%	0,400	1,399	1,375	2%
14	401,5	30	160	25,31	3,81	18,0	17,22%	0,408	1,555	1,629	5%
14	500,5	50	160	16,65	4,56	18,0	17,22%	0,417	1,735	1,864	7%
14	574,5	60	160	13,38	5,03	18,0	17,22%	0,423	2,101	2,033	3%

Rejilla	Q [l/min]	V1 [l]	V2 [l]	T [seg]	h1 [cm]	L [cm]	e	Cd	Q des real [l/s]	Q des teo [l/s]	error
15	100,0	10	20	76,06	1,38	42,0	16,24%	0,341	1,535	1,208	21%
15	198,0	50	100	42,47	2,33	42,0	16,24%	0,347	2,123	1,873	12%
15	299,5	110	160	21,25	3,04	42,0	16,24%	0,354	2,639	2,431	8%
15	400,0	20	140	33,41	3,61	42,0	16,24%	0,360	3,075	2,921	5%
15	501,5	40	150	22,81	4,33	42,0	16,24%	0,367	3,536	3,364	5%
15	579,0	40	160	20,65	4,89	42,0	16,24%	0,372	3,839	3,681	4%

13.3.8 Parámetros para regresión en coeficiente de descarga

En esta sección se presentan los parámetros ingresados para determinar las ecuaciones para obtener el coeficiente de descarga, junto con el valor obtenido con la ecuación para cada caso y el error porcentual asociado:

Tabla 13.52 Parámetros rejillas paralelas

Rejilla	Pendiente [%]	Fr	e [%]	D/s	B/L	Cd Medición	Cd Ecuación	Error
1	0%	1,397	33%	0,571	0,760	0,438	0,444	1%
1	0%	1,407	33%	0,571	0,760	0,449	0,442	2%
1	0%	1,437	33%	0,571	0,760	0,448	0,437	3%
1	0%	1,406	33%	0,571	0,760	0,455	0,442	3%
1	1%	1,789	33%	0,571	0,760	0,410	0,406	1%
1	1%	1,799	33%	0,571	0,760	0,422	0,404	4%
1	1%	1,760	33%	0,571	0,760	0,430	0,411	4%
1	1%	1,742	33%	0,571	0,760	0,427	0,414	3%
1	2%	2,180	33%	0,571	0,760	0,346	0,368	6%
1	2%	2,163	33%	0,571	0,760	0,359	0,371	3%
1	2%	2,126	33%	0,571	0,760	0,360	0,378	5%
1	2%	2,075	33%	0,571	0,760	0,361	0,387	7%
2	0%	1,312	16%	0,200	0,760	0,483	0,490	1%
2	0%	1,306	16%	0,200	0,760	0,489	0,491	0%
2	0%	1,292	16%	0,200	0,760	0,488	0,494	1%
2	0%	1,287	16%	0,200	0,760	0,495	0,495	0%
2	0%	1,317	16%	0,200	0,760	0,483	0,489	1%
2	0%	1,298	16%	0,200	0,760	0,479	0,493	3%
2	1%	1,748	16%	0,200	0,760	0,441	0,444	1%
2	1%	1,709	16%	0,200	0,760	0,444	0,451	2%
2	1%	1,682	16%	0,200	0,760	0,450	0,456	1%
2	1%	1,703	16%	0,200	0,760	0,443	0,452	2%
2	1%	1,686	16%	0,200	0,760	0,453	0,455	1%
2	1%	1,701	16%	0,200	0,760	0,437	0,453	4%
2	2%	2,123	16%	0,200	0,760	0,426	0,409	4%
2	2%	2,071	16%	0,200	0,760	0,439	0,419	5%
2	2%	2,042	16%	0,200	0,760	0,439	0,424	3%
2	2%	1,997	16%	0,200	0,760	0,445	0,432	3%
2	2%	1,991	16%	0,200	0,760	0,445	0,433	3%
2	2%	1,965	16%	0,200	0,760	0,441	0,437	1%
3	0%	1,378	16%	0,200	0,380	0,449	0,470	5%
3	0%	1,370	16%	0,200	0,380	0,469	0,471	0%
3	0%	1,386	16%	0,200	0,380	0,481	0,468	3%
3	0%	1,376	16%	0,200	0,380	0,490	0,470	4%

Rejilla	Pendiente [%]	Fr	e [%]	D/s	B/L	Cd Medición	Cd Ecuación	Error
3	1%	1,683	16%	0,200	0,380	0,427	0,447	5%
3	1%	1,687	16%	0,200	0,380	0,440	0,446	1%
3	1%	1,661	16%	0,200	0,380	0,449	0,451	0%
3	1%	1,677	16%	0,200	0,380	0,469	0,448	4%
3	2%	2,085	16%	0,200	0,380	0,392	0,407	4%
3	2%	2,060	16%	0,200	0,380	0,408	0,412	1%
3	2%	2,059	16%	0,200	0,380	0,419	0,412	2%
3	2%	1,981	16%	0,200	0,380	0,433	0,426	2%

Tabla 13.53 Parámetros rejillas perpendiculares de orificios rectangulares

Rejilla	Pendiente [%]	Fr	e [%]	D/s	B/L	Cd Medición	Cd Ecuación	Error
4	0%	1,370	25%	0,333	0,894	0,366	0,384	5%
4	0%	1,339	25%	0,333	0,894	0,371	0,387	4%
4	0%	1,316	25%	0,333	0,894	0,353	0,389	10%
4	0%	1,289	25%	0,333	0,894	0,354	0,391	11%
4	0%	1,306	25%	0,333	0,894	0,351	0,390	11%
4	0%	1,287	25%	0,333	0,894	0,380	0,391	3%
4	1%	1,817	25%	0,333	0,894	0,357	0,357	0%
4	1%	1,791	25%	0,333	0,894	0,354	0,359	1%
4	1%	1,760	25%	0,333	0,894	0,345	0,362	5%
4	1%	1,760	25%	0,333	0,894	0,344	0,362	5%
4	1%	1,763	25%	0,333	0,894	0,349	0,361	4%
4	1%	1,728	25%	0,333	0,894	0,347	0,364	5%
4	2%	2,225	25%	0,333	0,894	0,328	0,333	1%
4	2%	2,108	25%	0,333	0,894	0,344	0,342	1%
4	2%	2,061	25%	0,333	0,894	0,345	0,346	0%
4	2%	2,021	25%	0,333	0,894	0,353	0,349	1%
4	2%	1,960	25%	0,333	0,894	0,347	0,354	2%
4	2%	1,953	25%	0,333	0,894	0,354	0,354	0%
5	0%	1,474	45%	1,000	0,800	0,409	0,374	9%
5	0%	1,453	45%	1,000	0,800	0,399	0,375	6%
5	0%	1,403	45%	1,000	0,800	0,402	0,379	6%
5	0%	1,385	45%	1,000	0,800	0,400	0,381	5%
5	0%	1,368	45%	1,000	0,800	0,420	0,382	9%
5	0%	1,373	45%	1,000	0,800	0,421	0,382	9%
5	1%	1,896	45%	1,000	0,800	0,374	0,348	7%
5	1%	1,818	45%	1,000	0,800	0,364	0,355	3%
5	1%	1,858	45%	1,000	0,800	0,379	0,351	7%
5	1%	1,813	45%	1,000	0,800	0,384	0,355	8%
5	1%	1,775	45%	1,000	0,800	0,386	0,358	7%
5	1%	1,749	45%	1,000	0,800	0,389	0,360	7%
5	2%	2,234	45%	1,000	0,800	0,332	0,330	1%
5	2%	2,200	45%	1,000	0,800	0,341	0,332	3%
5	2%	2,163	45%	1,000	0,800	0,348	0,335	4%
5	2%	2,058	45%	1,000	0,800	0,353	0,344	3%
5	2%	2,072	45%	1,000	0,800	0,352	0,343	3%
5	2%	2,064	45%	1,000	0,800	0,357	0,343	4%
6	0%	1,366	23%	0,333	0,371	0,336	0,347	3%
6	0%	1,386	23%	0,333	0,371	0,335	0,345	3%

Rejilla	Pendiente [%]	Fr	e [%]	D/s	B/L	Cd Medición	Cd Ecuación	Error
6	0%	1,362	23%	0,333	0,371	0,344	0,347	1%
6	0%	1,363	23%	0,333	0,371	0,343	0,347	1%
6	0%	1,373	23%	0,333	0,371	0,346	0,346	0%
6	0%	1,364	23%	0,333	0,371	0,344	0,347	1%
6	1%	1,801	23%	0,333	0,371	0,302	0,320	6%
6	1%	1,797	23%	0,333	0,371	0,315	0,320	2%
6	1%	1,719	23%	0,333	0,371	0,298	0,327	10%
6	1%	1,725	23%	0,333	0,371	0,303	0,326	8%
6	1%	1,739	23%	0,333	0,371	0,314	0,325	4%
6	1%	1,687	23%	0,333	0,371	0,314	0,329	5%
6	2%	2,186	23%	0,333	0,371	0,282	0,298	6%
6	2%	2,121	23%	0,333	0,371	0,288	0,303	5%
6	2%	2,090	23%	0,333	0,371	0,292	0,305	5%
6	2%	2,036	23%	0,333	0,371	0,288	0,310	7%
6	2%	2,058	23%	0,333	0,371	0,301	0,308	2%
6	2%	2,048	23%	0,333	0,371	0,304	0,309	1%
7	0%	1,488	44%	1,000	0,353	0,339	0,334	1%
7	0%	1,449	44%	1,000	0,353	0,335	0,337	1%
7	0%	1,459	44%	1,000	0,353	0,339	0,337	1%
7	0%	1,427	44%	1,000	0,353	0,330	0,339	3%
7	0%	1,413	44%	1,000	0,353	0,336	0,340	1%
7	0%	1,417	44%	1,000	0,353	0,339	0,340	0%
7	1%	1,915	44%	1,000	0,353	0,281	0,309	10%
7	1%	1,838	44%	1,000	0,353	0,281	0,315	12%
7	1%	1,855	44%	1,000	0,353	0,282	0,313	11%
7	1%	1,796	44%	1,000	0,353	0,292	0,318	9%
7	1%	1,804	44%	1,000	0,353	0,293	0,317	8%
7	1%	1,963	44%	1,000	0,353	0,303	0,305	0%
7	2%	2,288	44%	1,000	0,353	0,233	0,287	23%
7	2%	2,232	44%	1,000	0,353	0,245	0,291	19%
7	2%	2,099	44%	1,000	0,353	0,252	0,302	20%
7	2%	2,072	44%	1,000	0,353	0,263	0,304	15%
7	2%	2,103	44%	1,000	0,353	0,267	0,302	13%
7	2%	2,011	44%	1,000	0,353	0,273	0,309	13%
8	0%	1,319	13%	0,143	0,921	0,431	0,449	4%
8	0%	1,307	13%	0,143	0,921	0,419	0,450	7%
8	0%	1,253	13%	0,143	0,921	0,432	0,455	5%
8	0%	1,262	13%	0,143	0,921	0,420	0,454	8%
8	0%	1,275	13%	0,143	0,921	0,424	0,453	7%
8	0%	1,249	13%	0,143	0,921	0,405	0,455	12%
8	1%	1,743	13%	0,143	0,921	0,411	0,424	3%
8	1%	1,722	13%	0,143	0,921	0,378	0,425	13%
8	1%	1,701	13%	0,143	0,921	0,382	0,427	12%
8	1%	1,657	13%	0,143	0,921	0,404	0,431	7%
8	1%	1,644	13%	0,143	0,921	0,393	0,432	10%
8	1%	1,614	13%	0,143	0,921	0,388	0,434	12%
8	2%	2,061	13%	0,143	0,921	0,460	0,407	12%
8	2%	1,999	13%	0,143	0,921	0,464	0,412	11%
8	2%	2,005	13%	0,143	0,921	0,458	0,411	10%
8	2%	1,974	13%	0,143	0,921	0,432	0,414	4%
8	2%	1,944	13%	0,143	0,921	0,435	0,416	4%
8	2%	1,911	13%	0,143	0,921	0,424	0,419	1%

Rejilla	Pendiente [%]	Fr	e [%]	D/s	B/L	Cd Medición	Cd Ecuación	Error
9	0%	1,360	23%	0,333	0,822	0,401	0,396	1%
9	0%	1,302	23%	0,333	0,822	0,400	0,401	0%
9	0%	1,292	23%	0,333	0,822	0,400	0,401	0%
9	0%	1,273	23%	0,333	0,822	0,398	0,403	1%
9	0%	1,278	23%	0,333	0,822	0,406	0,402	1%
9	0%	1,277	23%	0,333	0,822	0,405	0,403	1%
9	1%	1,824	23%	0,333	0,822	0,357	0,367	3%
9	1%	1,759	23%	0,333	0,822	0,360	0,372	3%
9	1%	1,764	23%	0,333	0,822	0,361	0,372	3%
9	1%	1,711	23%	0,333	0,822	0,358	0,376	5%
9	1%	1,727	23%	0,333	0,822	0,372	0,375	1%
9	1%	1,653	23%	0,333	0,822	0,385	0,381	1%
9	2%	2,191	23%	0,333	0,822	0,387	0,346	11%
9	2%	2,128	23%	0,333	0,822	0,381	0,351	8%
9	2%	2,108	23%	0,333	0,822	0,382	0,353	8%
9	2%	2,043	23%	0,333	0,822	0,392	0,358	9%
9	2%	1,944	23%	0,333	0,822	0,408	0,366	10%
9	2%	2,006	23%	0,333	0,822	0,388	0,361	7%
10	0%	1,324	12%	0,143	0,375	0,440	0,400	9%
10	0%	1,311	12%	0,143	0,375	0,424	0,401	5%
10	0%	1,312	12%	0,143	0,375	0,443	0,401	9%
10	0%	1,300	12%	0,143	0,375	0,425	0,402	5%
10	0%	1,293	12%	0,143	0,375	0,431	0,403	7%
10	0%	1,295	12%	0,143	0,375	0,436	0,403	8%
10	1%	1,712	12%	0,143	0,375	0,380	0,378	1%
10	1%	1,726	12%	0,143	0,375	0,367	0,377	3%
10	1%	1,643	12%	0,143	0,375	0,351	0,383	9%
10	1%	1,618	12%	0,143	0,375	0,358	0,385	8%
10	1%	1,630	12%	0,143	0,375	0,370	0,384	4%
10	1%	1,607	12%	0,143	0,375	0,358	0,386	8%
10	2%	2,094	12%	0,143	0,375	0,346	0,355	3%
10	2%	2,029	12%	0,143	0,375	0,357	0,361	1%
10	2%	1,998	12%	0,143	0,375	0,368	0,363	1%
10	2%	2,026	12%	0,143	0,375	0,366	0,361	2%
10	2%	1,944	12%	0,143	0,375	0,372	0,367	1%
10	2%	1,968	12%	0,143	0,375	0,374	0,365	2%
11	0%	1,376	22%	0,333	0,358	0,391	0,352	10%
11	0%	1,355	22%	0,333	0,358	0,389	0,354	9%
11	0%	1,347	22%	0,333	0,358	0,395	0,354	10%
11	0%	1,344	22%	0,333	0,358	0,394	0,354	10%
11	0%	1,334	22%	0,333	0,358	0,397	0,355	11%
11	0%	1,332	22%	0,333	0,358	0,403	0,355	12%
11	1%	1,802	22%	0,333	0,358	0,333	0,326	2%
11	1%	1,752	22%	0,333	0,358	0,342	0,330	4%
11	1%	1,733	22%	0,333	0,358	0,345	0,332	4%
11	1%	1,730	22%	0,333	0,358	0,345	0,332	4%
11	1%	1,689	22%	0,333	0,358	0,352	0,335	5%
11	1%	1,672	22%	0,333	0,358	0,354	0,336	5%
11	2%	2,303	22%	0,333	0,358	0,306	0,294	4%
11	2%	2,257	22%	0,333	0,358	0,310	0,298	4%
11	2%	2,174	22%	0,333	0,358	0,319	0,305	4%
11	2%	2,133	22%	0,333	0,358	0,334	0,308	8%

Rejilla	Pendiente [%]	Fr	e [%]	D/s	B/L	Cd Medición	Cd Ecuación	Error
11	2%	2,097	22%	0,333	0,358	0,334	0,311	7%
11	2%	2,064	22%	0,333	0,358	0,341	0,313	8%

Tabla 13.54 Parámetros rejillas perpendiculares de orificios circulares

Rejilla	Pendiente [%]	Fr	e [%]	D/s	B/L	Cd Medición	Cd Ecuación	Error
12	0%	1,225	11%	1,000	0,800	0,442	0,464	5%
12	0%	1,226	11%	1,000	0,800	0,439	0,464	6%
12	0%	1,216	11%	1,000	0,800	0,431	0,464	8%
12	0%	1,211	11%	1,000	0,800	0,412	0,464	13%
12	0%	1,221	11%	1,000	0,800	0,437	0,464	6%
12	0%	1,214	11%	1,000	0,800	0,436	0,464	6%
12	1%	1,715	11%	1,000	0,800	0,403	0,446	10%
12	1%	1,670	11%	1,000	0,800	0,410	0,445	9%
12	1%	1,650	11%	1,000	0,800	0,391	0,445	14%
12	1%	1,632	11%	1,000	0,800	0,431	0,445	3%
12	1%	1,584	11%	1,000	0,800	0,438	0,445	2%
12	1%	1,595	11%	1,000	0,800	0,449	0,445	1%
12	2%	2,139	11%	1,000	0,800	0,438	0,427	3%
12	2%	2,102	11%	1,000	0,800	0,432	0,427	1%
12	2%	2,036	11%	1,000	0,800	0,432	0,426	1%
12	2%	2,015	11%	1,000	0,800	0,455	0,426	6%
12	2%	1,974	11%	1,000	0,800	0,434	0,426	2%
12	2%	1,961	11%	1,000	0,800	0,415	0,426	3%
13	0%	1,243	10%	1,000	0,336	0,496	0,463	7%
13	0%	1,275	10%	1,000	0,336	0,499	0,463	7%
13	0%	1,235	10%	1,000	0,336	0,492	0,463	6%
13	0%	1,238	10%	1,000	0,336	0,489	0,463	5%
13	0%	1,232	10%	1,000	0,336	0,492	0,463	6%
13	0%	1,226	10%	1,000	0,336	0,489	0,463	5%
13	1%	1,721	10%	1,000	0,336	0,455	0,444	2%
13	1%	1,717	10%	1,000	0,336	0,460	0,444	3%
13	1%	1,745	10%	1,000	0,336	0,462	0,444	4%
13	1%	1,674	10%	1,000	0,336	0,458	0,444	3%
13	1%	1,652	10%	1,000	0,336	0,444	0,444	0%
13	1%	1,638	10%	1,000	0,336	0,467	0,444	5%
13	2%	2,211	10%	1,000	0,336	0,434	0,425	2%
13	2%	2,199	10%	1,000	0,336	0,430	0,425	1%
13	2%	2,171	10%	1,000	0,336	0,432	0,425	2%
13	2%	2,115	10%	1,000	0,336	0,418	0,425	2%
13	2%	2,095	10%	1,000	0,336	0,430	0,425	1%
13	2%	2,068	10%	1,000	0,336	0,435	0,425	2%
14	0%	1,354	17%	1,000	0,844	0,390	0,414	6%
14	0%	1,316	17%	1,000	0,844	0,419	0,414	1%
14	0%	1,290	17%	1,000	0,844	0,416	0,414	1%
14	0%	1,276	17%	1,000	0,844	0,431	0,413	4%
14	0%	1,275	17%	1,000	0,844	0,427	0,413	3%
14	0%	1,297	17%	1,000	0,844	0,426	0,414	3%
14	1%	1,819	17%	1,000	0,844	0,402	0,395	2%
14	1%	1,792	17%	1,000	0,844	0,417	0,395	5%

Rejilla	Pendiente [%]	Fr	e [%]	D/s	B/L	Cd Medición	Cd Ecuación	Error
14	1%	1,729	17%	1,000	0,844	0,434	0,395	9%
14	1%	1,677	17%	1,000	0,844	0,436	0,394	9%
14	1%	1,692	17%	1,000	0,844	0,433	0,395	9%
14	1%	1,652	17%	1,000	0,844	0,434	0,394	9%
14	2%	2,166	17%	1,000	0,844	0,387	0,376	3%
14	2%	2,094	17%	1,000	0,844	0,371	0,376	1%
14	2%	2,108	17%	1,000	0,844	0,386	0,376	3%
14	2%	2,023	17%	1,000	0,844	0,384	0,375	2%
14	2%	1,989	17%	1,000	0,844	0,396	0,375	5%
14	2%	1,966	17%	1,000	0,844	0,390	0,375	4%
15	0%	1,398	16%	1,000	0,362	0,415	0,413	0%
15	0%	1,362	16%	1,000	0,362	0,410	0,413	1%
15	0%	1,370	16%	1,000	0,362	0,416	0,413	1%
15	0%	1,323	16%	1,000	0,362	0,411	0,413	0%
15	0%	1,319	16%	1,000	0,362	0,426	0,413	3%
15	0%	1,308	16%	1,000	0,362	0,424	0,413	3%
15	1%	1,770	16%	1,000	0,362	0,347	0,394	14%
15	1%	1,718	16%	1,000	0,362	0,363	0,394	9%
15	1%	1,728	16%	1,000	0,362	0,360	0,394	10%
15	1%	1,680	16%	1,000	0,362	0,359	0,394	10%
15	1%	1,674	16%	1,000	0,362	0,358	0,394	10%
15	1%	1,660	16%	1,000	0,362	0,364	0,394	8%
15	2%	2,203	16%	1,000	0,362	0,340	0,375	10%
15	2%	2,151	16%	1,000	0,362	0,353	0,375	6%
15	2%	2,069	16%	1,000	0,362	0,365	0,375	3%
15	2%	2,043	16%	1,000	0,362	0,369	0,375	1%
15	2%	1,986	16%	1,000	0,362	0,362	0,374	3%
15	2%	2,022	16%	1,000	0,362	0,365	0,375	3%