

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**SIMULACIÓN COMPARATIVA EN MODELO FÍSICO Y
NUMÉRICO PARA UNA ALCANTARILLA TIPO BOX
CON ALEROS EN FLUME**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADA POR

Bach. LOAYZA LOZANO, SARA KARINA

Asesor: Mg. Ing. MOGROVEJO GUTIÉRREZ, RUBÉN ESAÚ

LIMA-PERÚ

2018

DEDICATORIA

A Dios por brindarme la sabiduría y la fuerza necesaria
para cumplir cada meta y objetivo.

A mi madre querida Domitila, papitos Irineo y Leoncia,
por su gran amor, ternura, preocupación y entusiasmo
durante mi desarrollo personal y profesional.

A Edgar, mi tío, por inculcarme continuamente las
buenas modales y valores.

A mis hermanos Liliana y Omar por estar conmigo en
los momentos difíciles e importantes de mi vida.

A Jesu por el apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por su infinita bondad y misericordia cada día, por darme la vida, salud y fortaleza ante las dificultades que se presentan en el camino, por permitirme llegar a cumplir cada objetivo y meta grandiosa, gracias por estar presente en cada paso, en todo momento, tu amor y las maravillas que haces en mi vida son incomparables.

Gracias a los seres que tanto amo, mi familia, por darme lo más valioso y precioso de la vida, su amor, ánimos, apoyo, por ser la motivación e inspiración en mi vida y superación constante. Al Ing. Jesús H. Saravia Sebastián por ser el impulsor del albor de ésta maravillosa obra y quién en ningún momento permitió el desánimo, más sino a continuar con mucha energía, actitud y perseverancia.

A mi asesor Mg. Ing. Rubén Esaú Mogrovejo Gutiérrez, por los conocimientos y experiencias impartidas, por la paciencia, su atención y valioso tiempo brindado durante el desarrollo de la tesis. Al Laboratorio de Hidráulica, al Ing. César González Linares por el apoyo.

Y a todas las personas que han sido parte de ésta labor tan importante en mi desarrollo personal y profesional, tanto a los docentes, amistades, y demás personales que laboran en las distintas áreas de la Universidad.

Mis más gratos agradecimientos a todos ustedes.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	xvii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Problemática.....	2
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Importancia	3
1.4. Metodología	3
1.4.1. Tipo de investigación.....	3
1.4.2. Tipo de enfoque	4
1.5. Descripción de los capítulos	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Principios de la Mecánica de Fluidos e Hidráulica.....	6
2.1.1. Ecuación de Continuidad	6
2.1.2. Ecuación de Energía	7
2.1.3. Ecuación de Cantidad de Movimiento.....	7
2.1.4. Ecuación de Manning	8
2.1.5. Elementos físicos - hidráulicos	13
2.1.6. Número de Froude	14

2.2. Fundamentos de la Modelación Física.....	16
2.2.1. Historia de la modelación física.....	16
2.2.2. Modelo físico	16
2.2.3. Aplicación de los modelos físicos.....	17
2.2.4. Aporte de los modelos físicos	21
2.3. Bases teóricas de modelación física.....	21
2.3.1. Análisis dimensional.....	21
2.3.2. Teorema de “ π ” de Buckingham.....	21
2.3.3. Ley de la similitud o semejanza.....	22
2.4. Diseño del modelo físico.....	25
2.5. Modelo matemático o numérico	30
2.6. Modelos de simulación numérica	30
2.6.1. Método de diferencias finitas.....	30
2.6.2. Método de elementos finitos	30
2.7. Modelo HEC-RAS	31
2.8. Aplicación del modelo numérico HEC-RAS	33
2.9. Modelado de alcantarilla en el software	34
2.9.1. Cálculo hidráulico de alcantarilla con control de entrada.....	35
2.9.2. Cálculo hidráulico de alcantarilla con control de salida	36
CAPÍTULO III: AFORO Y CALIBRACIÓN.....	38
3.1. Aforo	38
3.1.1. Método aforo con flotador	38
3.1.2. Selección de la distancia de aforo	38
3.1.3. Procedimiento de medición de la velocidad	39
3.1.4. Determinación de la velocidad.....	40
3.2. Calibración	41
3.2.1. Curvas de calibración.....	41

3.2.2. Medidas de bondad de ajuste	41
3.2.3. Error de medida.....	43
3.3. Datos y resultados teóricos del canal de pendiente variable del laboratorio	43
3.3.1. Reconocimiento y descripción general del laboratorio.....	43
3.3.2. Datos y resultados teóricos para el canal de pendiente variable	44
3.4. Calibración de aforo con flotador y obtención de resultados experimentales	52
3.4.1. Primer conjunto de datos experimentales de aforos	52
3.4.2. Segundo conjunto de datos experimentales de aforos	70
3.4.3. Comparación de resultados de experimento de aforos	88
CAPÍTULO IV: RECOPIACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	92
4.1. Alcantarilla.....	92
4.1.1. Finalidad de una alcantarilla	92
4.1.2. Ubicación de alcantarilla.....	92
4.1.3. Tipos de alcantarillas	93
4.1.4. Elección de material.....	98
4.1.5. Partes o elementos de una alcantarilla	98
4.2. Factores que condicionan el diseño hidráulico de una alcantarilla.....	99
4.3. Consideraciones importantes para el diseño de una alcantarilla.....	101
4.3.1. Material sólido de arrastre	101
4.3.2. Socavación local a la salida de la alcantarilla.....	101
4.3.3. Mantenimiento y limpieza	102
4.3.4. Seguridad y vida útil	102
4.4. Tipos de estructuras de entrada y salida en una alcantarilla	103
4.4.1. Estructuras de entrada	103
4.4.2. Estructuras de salida	104
4.5. Tipos de flujo en una alcantarilla.....	105
4.5.1. Alcantarilla con control de entrada.....	105

4.5.2. Alcantarilla con control de salida	108
4.5.3. Flujo ideal en una alcantarilla	113
4.5.4. Flujo ondular en una alcantarilla.....	116
4.6. Contracción y expansión de flujo en alcantarillas	117
4.6.1. Flujo subcrítico a través de transiciones súbitas	117
4.6.2. Contracción de flujo.....	117
4.6.3. Expansión de flujo	118
CAPÍTULO V: MODELAMIENTO CONCEPTUAL, EXPERIMENTAL Y	
NUMÉRICO	120
5.1. Simulación del modelo físico en flume.....	120
5.1.1. Experimento de modelo físico en flume	120
5.1.2. Equipos de laboratorio	120
5.1.3. Procedimiento del experimento y registro de datos	121
5.1.4. Alcantarilla tipo BOX sin aleros.....	127
5.1.5. Alcantarilla tipo BOX con aleros de 12.5°	136
5.1.6. Alcantarilla tipo BOX con aleros de 30°	145
5.2. Simulación numérica con el código HEC-RAS.....	155
5.2.1. Datos	155
5.2.2. Alcantarilla tipo BOX sin aleros.....	155
5.2.3. Alcantarilla tipo BOX con aleros de 12.5°	166
5.2.4. Alcantarilla tipo BOX con aleros de 30°	179
CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	193
6.1. Del experimento en modelo físico	193
6.2. Del experimento en modelo numérico	194
6.3. Comparación de los modelos físicos y numéricos	196
6.3.1. Modelos físicos	196
6.3.2. Modelos numéricos.....	198

CONCLUSIONES	200
RECOMENDACIONES.....	202
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	204
ANEXOS	206
ANEXO 1: Datos y cálculos de laboratorio para la alcantarilla sin aleros para pendientes $S=0.25^\circ$, 0.5° y 1°	206
ANEXO 2: Datos y cálculos de laboratorio para la alcantarilla con aleros de inclinación 12.5° para pendientes $S=0.25^\circ$, 0.5° y 1°	216
ANEXO 3: Datos y cálculos de laboratorio para la alcantarilla con aleros de inclinación 30° para pendientes $S=0.25^\circ$, 0.5° y 1°	226

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Valores del Coeficiente de Rugosidad de Manning (n)	11
Tabla N° 2: Valores de Coeficiente de Rugosidad de Manning (n)	12
Tabla N° 3: Determinación de la profundidad hidráulica (Y) para el diseño de la alcantarilla	26
Tabla N° 4: Factores empíricos de corrección (C)	40
Tabla N° 5: Caudales determinados con datos de geometría del canal sin estructura (alcantarilla) para pendiente $S=0.25^\circ$	45
Tabla N° 6: Caudales determinados con datos de geometría del canal sin estructura (alcantarilla) para pendiente $S=0.5^\circ$	47
Tabla N° 7: Caudales determinados con datos de geometría del canal sin estructura (alcantarilla) para pendiente $S=1^\circ$	49
Tabla N° 8: Datos obtenidos del experimento para pendiente $S=0.25^\circ$	52
Tabla N° 9: Resultados de velocidad y caudal para pendiente $S=0.25^\circ$	53
Tabla N° 10: Resultados de coeficiente “n” y N° de Froude para pendiente $S=0.25^\circ$...	53
Tabla N° 11: Cálculo de calibración para pendiente $S=0.25^\circ$	54
Tabla N° 12: Resultado de factor de corrección y ecuación para la obtención de caudal experimental a partir del teórico para pendiente $S=0.25^\circ$	56
Tabla N° 13: Datos obtenidos del experimento para pendiente $S=0.5^\circ$	58
Tabla N° 14: Resultados de velocidad y caudal para pendiente $S=0.5^\circ$	58
Tabla N° 15: Resultados de coeficiente “n” y N° de Froude para pendiente $S=0.5^\circ$	59
Tabla N° 16: Cálculo de calibración para pendiente $S=0.5^\circ$	59
Tabla N° 17: Resultado de factor de corrección y ecuación para la obtención del caudal experimental a partir del teórico para pendiente $S=0.5^\circ$	61
Tabla N° 18: Datos obtenidos del experimento para pendiente $S=1^\circ$	64
Tabla N° 19: Resultados de velocidad y caudal para pendiente $S=1^\circ$	64
Tabla N° 20: Resultados de coeficiente “n” y N° de Froude para pendiente $S=1^\circ$	65
Tabla N° 21: Cálculo de calibración para pendiente $S=1^\circ$	65
Tabla N° 22: Resultado de factor de corrección y ecuación para la obtención de caudal experimental a partir del teórico para pendiente $S=1^\circ$	67
Tabla N° 23: Datos obtenidos del experimento para pendiente $S=0.25^\circ$	70
Tabla N° 24: Resultados de velocidad y caudal para pendiente $S=0.25^\circ$	70

Tabla N° 25: Resultados de coeficiente “n” y N° de Froude para pendiente $S=0.25^\circ$...	71
Tabla N° 26: Cálculo de calibración para pendiente $S=0.25^\circ$	71
Tabla N° 27: Resultado de factor de corrección y ecuación para la obtención de caudal experimental a partir del teórico para pendiente $S=0.25^\circ$	73
Tabla N° 28: Datos obtenidos del experimento para pendiente $S=0.5^\circ$	76
Tabla N° 29: Resultados de velocidad y caudal para pendiente $S=0.5^\circ$	76
Tabla N° 30: Resultados de coeficiente “n” y N° de Froude para pendiente 0.5°	77
Tabla N° 31: Cálculo de calibración para pendiente $S=0.5^\circ$	77
Tabla N° 32: Resultado de factor de corrección y ecuación para la obtención del caudal experimental a partir del teórico para pendiente $S=0.5^\circ$	79
Tabla N° 33: Datos obtenidos del experimento para pendiente $S=1^\circ$	82
Tabla N° 34: Resultados de velocidad y caudal para pendiente $S=1^\circ$	82
Tabla N° 35: Resultados de coeficiente “n” y N° de Froude para pendiente $S=1^\circ$	83
Tabla N° 36: Cálculo de calibración para pendiente $S=1^\circ$	83
Tabla N° 37: Resultado de factor de corrección y ecuación para la obtención de caudal experimental a partir del teórico para pendiente $S=1^\circ$	85
Tabla N° 38: Comparación de caudales teórico y experimental calibrada	89
Tabla N° 39: Comparación de caudal experimental con factor de corrección y ecuación polinomial.....	90
Tabla N° 40: Ecuaciones y coeficiente de correlación	90
Tabla N° 41: Velocidades máximas admisibles en conductos revestidos	100
Tabla N° 42: Velocidades máximas admisibles (m/s) en canales no revestidos	100
Tabla N° 43: Coeficientes de regresión para alcantarillas con Control de Entrada.....	108
Tabla N° 44: Coeficientes de pérdida de carga a la entrada en alcantarillas con control de salida.....	110
Tabla N° 45: Coeficientes de rugosidad para materiales usados en alcantarillas.....	110
Tabla N° 46: Valores de Y, H y Q en función de Froude para Alcantarilla de Sección Rectangular.....	116
Tabla N° 47: Condiciones de flujo para el flujo de entrada de superficie libre (alcantarilla estándar).....	116
Tabla N° 48: Medición de caudales con presencia de estructura (Alcantarilla).....	120
Tabla N° 49: Experimento de alcantarilla tipo BOX sin aleros.....	121
Tabla N° 50: Experimento de alcantarilla con aleros 12.5° con $S=0.25^\circ$	122
Tabla N° 51: Experimento de alcantarilla con aleros 12.5° con $S=0.5^\circ$	123

Tabla N° 52: Experimento de alcantarilla con aleros 30° con S=0.25°	124
Tabla N° 53: Experimento de alcantarilla con aleros de 30° con S=0.5°	125
Tabla N° 54: Experimento de alcantarilla con aleros de 30° con S=1°	126
Tabla N° 55: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=0.25° con Q1	127
Tabla N° 56: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=0.25° con Q2	127
Tabla N° 57: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=0.25° con Q3	128
Tabla N° 58: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=0.25° con Q4	128
Tabla N° 59: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=0.25° con Q5	128
Tabla N° 60: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=0.5° con Q1	130
Tabla N° 61: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=0.5° con Q2	130
Tabla N° 62: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=0.5° con Q3	131
Tabla N° 63: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=0.5° con Q4	131
Tabla N° 64: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=0.5° con Q5	131
Tabla N° 65: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=1° con Q1	133
Tabla N° 66: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=1° con Q2	133
Tabla N° 67: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=1° con Q3	134
Tabla N° 68: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=1° con Q4	134
Tabla N° 69: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=1° con Q5	134
Tabla N° 70: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.25° Q1 ...	136
Tabla N° 71: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.25° Q2	136
Tabla N° 72: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.25° Q3	137
Tabla N° 73: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.25° Q4	137
Tabla N° 74: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.25° Q5	137
Tabla N° 75: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.5° Q1	139
Tabla N° 76: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.5° Q2	139
Tabla N° 77: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.5° Q3	140
Tabla N° 78: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.5° Q4	140
Tabla N° 79: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.5° Q5	140
Tabla N° 80: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=1° Q1	142
Tabla N° 81: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=1° Q2	142
Tabla N° 82: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=1° Q3	143
Tabla N° 83: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=1° Q4	143
Tabla N° 84: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=1° Q5	143
Tabla N° 85: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=0.25° Q1	145

Tabla N° 86: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=0.25° Q2	145
Tabla N° 87: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=0.25° Q3	146
Tabla N° 88: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=0.25° Q4	146
Tabla N° 89: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=0.25° Q5	146
Tabla N° 90: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=0.5° Q1	148
Tabla N° 91: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=0.5° Q2	148
Tabla N° 92: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=0.5° Q3	149
Tabla N° 93: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=0.5° Q4	149
Tabla N° 94: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=0.5° Q5	149
Tabla N° 95: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=1° Q1	151
Tabla N° 96: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=1° Q2	151
Tabla N° 97: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=1° Q3	152
Tabla N° 98: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=1° Q4	152
Tabla N° 99: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=1° Q5	153
Tabla N° 100: Resultado numérico de alcantarilla sin aleros S=0.25° Q1-Q5.....	159
Tabla N° 101: Resultado numérico de alcantarilla sin aleros S=0.5° Q1-Q5.....	162
Tabla N° 102: Resultado numérico de alcantarilla sin aleros S=1° Q1-Q5.....	165
Tabla N° 103: Resultado numérico de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.25° Q1-Q5 ..	170
Tabla N° 104: Resultado numérico de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.5° Q1-Q5	174
Tabla N° 105: Resultado numérico de alcantarilla con aleros 12.5° S=1° Q1-Q5.....	178
Tabla N° 106: Resultado numérico de alcantarilla con aleros 30° S=0.25° Q1-Q5	183
Tabla N° 107: Resultado numérico de alcantarilla con aleros 30° S=0.5° Q1-Q2.....	187
Tabla N° 108: Resultado numérico de alcantarilla con aleros 30° S=1° Q1-Q5	191
Tabla N° 109: Comparación de los modelos físicos con control de entrada	196
Tabla N° 110: Comparación de los modelos físicos con control de salida.....	197
Tabla N° 111: Comparación de resultados del modelo numérico	199

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Pendiente de un canal	9
Figura N° 2: Flujo primario muestra contracción del flujo a la entrada y el flujo secundario la formación de vórtices y con ello la turbulencia aguas abajo a la entrada de la alcantarilla.....	20
Figura N° 3: Plano de diseño de Culvert tipo BOX.....	28
Figura N° 4: Plano de diseño de aleros de ángulos 12.5° y 30°	29
Figura N° 5: Método de aforo con flotador	39
Figura N° 6: Sección del canal	40
Figura N° 7: Curva de caudales determinados para pendiente $S=0.25^\circ$	46
Figura N° 8: Curva de caudales determinados para $S=0.5^\circ$	48
Figura N° 9: Curva de caudales determinados para pendiente $S=1^\circ$	50
Figura N° 10: Presentación de las tres curvas de caudales determinadas para las pendientes $S=0.25^\circ$, 0.5° y 1°	51
Figura N° 11: Curva de calibración para pendiente $S=0.25^\circ$	54
Figura N° 12: Relación entre caudal teórico y experimental calibrado para pendiente $S=0.25^\circ$	56
Figura N° 13: Comparación de curvas entre caudales teóricos y experimentales calibrados para pendiente $S=0.25^\circ$	57
Figura N° 14: Curva de calibración para pendiente $S=0.5^\circ$	60
Figura N° 15: Relación entre caudal teórico y experimental calibrado para pendiente $S=0.5^\circ$	61
Figura N° 16: Comparación de curvas entre caudales teóricos y experimentales calibrados para pendiente $S=0.5^\circ$	63
Figura N° 17: Curva de calibración para pendiente $S=1^\circ$	66
Figura N° 18: Relación entre caudal teórico y experimental calibrado para pendiente $S=1^\circ$	67
Figura N° 19: Comparación de curvas entre caudales teóricos y experimentales calibrados para pendiente $S=1^\circ$	69
Figura N° 20: Curva de calibración para pendiente $S=0.25^\circ$	72
Figura N° 21: Relación entre caudal experimental calibrado y teórico para pendiente $S=0.25^\circ$	74

Figura N° 22: Comparación de curvas entre caudales teóricos y experimentales calibrados para pendiente $=0.25^\circ$	75
Figura N° 23: Curva de calibración para pendiente $S=0.5^\circ$	78
Figura N° 24: Relación entre caudal teórico y experimental calibrado para pendiente $S=0.5^\circ$	80
Figura N° 25: Comparación de curvas entre caudales teóricos y experimentales calibrados para pendiente $S=0.5^\circ$	81
Figura N° 26: Curva de calibración para pendiente $S=1^\circ$	84
Figura N° 27: Relación entre caudal teórico y experimental calibrado para pendiente $S=1^\circ$	85
Figura N° 28: Comparación de curvas entre caudales teóricos y experimentales calibrados para pendiente $S=1^\circ$	87
Figura N° 29: Curvas de determinación de caudal experimental para pendientes $S=0.25^\circ$, 0.5° y 1°	91
Figura N° 30: Secciones típicas de alcantarillas	94
Figura N° 31: Secciones de alcantarillas con fondo natural	94
Figura N° 32: Forma típica de alcantarilla de mayor sección	95
Figura N° 33: Alcantarilla de cajón típico de concreto con aleros	96
Figura N° 34: Alcantarilla de caja multicelda con aleros	96
Figura N° 35: Alcantarillas tipo cajón de concreto, de barril doble con alero recto y en ángulo	97
Figura N° 36: Alcantarilla de sección circular multiceldas	97
Figura N° 37: Elementos importantes de una alcantarilla	99
Figura N° 38: Rampas, escalones y disipadores de energía	104
Figura N° 39: Flujo uniforme en un canal abierto	105
Figura N° 40: Escurrimiento con salida sumergida	109
Figura N° 41: Escurrimiento a la altura de la alcantarilla en la salida	111
Figura N° 42: Flujo fluye lleno en parte de la longitud de la alcantarilla	111
Figura N° 43: Flujo con superficie libre dentro de la alcantarilla	112
Figura N° 44: Perfil longitudinal de una alcantarilla	114
Figura N° 45: Transiciones súbitas de contracción y expansión	117
Figura N° 46: Contracción de flujo	118
Figura N° 47: Curva Energía Específica de alcantarilla sin aleros $S=0.25^\circ$	129
Figura N° 48: Curva Energía Específica de alcantarilla sin aleros $S=0.5^\circ$	132

Figura N° 49: Curva Energía Específica de alcantarilla sin aleros $S=1^\circ$	135
Figura N° 50: Curva Energía Específica de alcantarilla con aleros $12.5^\circ S=0.25^\circ$	138
Figura N° 51: Curva Energía Específica de alcantarilla con aleros $12.5^\circ S=0.5^\circ$	141
Figura N° 52: Curva de Energía Específica de alcantarilla con aleros $12.5^\circ S=1^\circ$	144
Figura N° 53: Curva Energía Específica de alcantarilla con aleros $30^\circ S=0.25^\circ$	147
Figura N° 54: Curva Energía Específica del alcantarilla con aleros $30^\circ S=0.5^\circ$	150
Figura N° 55: Curva Energía Específica de alcantarilla con aleros $30^\circ S=1^\circ$	154
Figura N° 56: Vista en planta secciones y geometría alcantarilla sin aleros $S=0.25^\circ$..	155
Figura N° 57: Sección aguas arriba de la alcantarilla sin aleros $S=0.25^\circ$	156
Figura N° 58: Vista frontal de la alcantarilla sin aleros $S=0.25^\circ$	156
Figura N° 59: Sección aguas debajo de la alcantarilla sin aleros $S=0.25^\circ$	157
Figura N° 60: Perfil longitudinal de alcantarilla sin aleros $S=0.25^\circ$	157
Figura N° 61: Vista en 3D de alcantarilla si aleros $S=0.25^\circ$	158
Figura N° 62: Sección aguas arriba de la alcantarilla sin aleros $S=0.5^\circ$	160
Figura N° 63: Vista frontal alcantarilla sin aleros 0.5°	160
Figura N° 64: Sección aguas abajo de la alcantarilla sin aleros $S=0.5^\circ$	161
Figura N° 65: Vista de perfil de la alcantarilla sin aleros $S=0.5^\circ$	161
Figura N° 66: Sección aguas arriba de la alcantarilla $S=1^\circ$	163
Figura N° 67: Vista frontal de la alcantarilla sin aleros $S=1^\circ$	163
Figura N° 68: Sección aguas abajo de la alcantarilla sin aleros $S=1^\circ$	164
Figura N° 69: Vista de perfil de la alcantarilla sin aleros $S=1^\circ$	164
Figura N° 70: Secciones y geometría de alcantarilla con aleros vista en planta	166
Figura N° 71: Sección aguas arriba de la alcantarilla con aleros $12.5^\circ S=0.25^\circ$	167
Figura N° 72: Vista frontal de alcantarilla con aleros $12.5^\circ S=0.25^\circ$	168
Figura N° 73: Sección aguas abajo de alcantarilla con aleros $12.5^\circ S=0.25^\circ$	168
Figura N° 74: Vista de perfil de alcantarilla con aleros $12.5^\circ S=0.25^\circ$	169
Figura N° 75: Vista en 3D alcantarilla con aleros $12.5^\circ S=0.25^\circ$	169
Figura N° 76: Sección aguas arriba de la alcantarilla con aleros $12.5^\circ S=0.5^\circ$	171
Figura N° 77: Vista frontal de la alcantarilla con aleros $12.5^\circ S=0.5^\circ$	172
Figura N° 78: Sección aguas abajo de la alcantarilla con aleros $12.5^\circ S=0.5^\circ$	173
Figura N° 79: Vista de perfil de la alcantarilla con aleros $12.5^\circ S=0.5^\circ$	173
Figura N° 80: Sección aguas arriba de la alcantarilla con aleros $12.5^\circ S=1^\circ$	176
Figura N° 81: vista frontal de la alcantarilla con aleros $12.5^\circ S=1^\circ$	176
Figura N° 82: Sección aguas abajo de la alcantarilla con aleros $12.5^\circ S=1^\circ$	177

Figura N° 83: Vista de perfil de la alcantarilla con aleros 12.5° S=1°	177
Figura N° 84: Vista en planta de la alcantarilla con aleros 30° S=0.25°	180
Figura N° 85: Sección aguas arriba de la alcantarilla con aleros 30° S=0.25°	180
Figura N° 86: Vista frontal de la alcantarilla con aleros 30° S=0.25°	181
Figura N° 87: Sección aguas abajo de la alcantarilla con aleros 30° S=0.25°	181
Figura N° 88: Vista de perfil de la alcantarilla con aleros 30° S=0.25°	182
Figura N° 89: Vista en 3D de la alcantarilla con aleros 30° S=0.25°	182
Figura N° 90: Sección aguas arriba de la alcantarilla con aleros 30° S=0.5°	185
Figura N° 91: Vista frontal de la alcantarilla con aleros 30° S=0.5°	185
Figura N° 92: Sección aguas abajo de la alcantarilla con aleros 30° S=0.5°	186
Figura N° 93: Vista de perfil de la alcantarilla con aleros 30° S=0.5°	186
Figura N° 94: Sección aguas arriba de alcantarilla con aleros 30° S=1°	189
Figura N° 95: Vista frontal de alcantarilla con aleros 30° S=1°	189
Figura N° 96: Sección aguas abajo de alcantarilla con aleros 30° S=1°	190
Figura N° 97: Vista de perfil de alcantarilla con aleros 30° S=1°	190

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ρ	Densidad de fluido
Q	Caudal
V	Velocidad
A	Área hidráulica
F	Fuerza
M	Masa
R	Radio hidráulico
S	Pendiente del canal
n	Coefficiente de rugosidad de Manning
F_r	Número de Froude
Y	Tirante o profundidad hidráulica
E	Energía
P	Perímetro mojado
g	Aceleración de la gravedad
T	Espejo de agua o ancho superficial
h_{ce}	Pérdida de energía
HW_i	Carga hidráulica a la entrada de la alcantarilla
D	Altura o diámetro de la alcantarilla
H_c	Carga hidráulica sobre el tirante crítico
C	Factor empírico de corrección de velocidad
Q_s	Caudal sólido
$Q_{m\acute{a}x}$	Caudal máximo
$b_{m\acute{i}n}$	Ancho mínimo del barril de culvert
Y_c	Profundidad crítica del barril de culvert
q	Caudal unitario

RESUMEN

Siendo los modelos físicos de importancia para el diseño y ejecución de estructuras como son las alcantarillas, en la presente tesis de investigación denominada “Simulación comparativa en modelo físico y numérico para una alcantarilla tipo BOX con aleros en flume” el cual se desarrolló en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Ricardo Palma con el objetivo de proponer una evaluación experimental - comparativa del flujo para una alcantarilla tipo Box con aleros, con soporte de una simulación en modelo físico y numérico.

Lo que conllevó a una investigación experimental y aplicada, debido a encontrarse basados en los conceptos teóricos de Hidrología e Hidráulica, a su vez cuantitativo por la aproximación numérica de los escenarios hidráulicos, con la aplicación de datos del experimento y por último descriptivo por ser sometido a un análisis de experimento de modelo físico en flume, las condiciones in situ, observar los resultados del experimento y definir la aplicación de aleros en las alcantarillas.

Palabras claves: Experimento, simulación, modelo físico, modelo numérico, alcantarilla, aleros.

ABSTRACT

Being the physical models of importance for the design and execution of structures since they are the sewers, in the present thesis of investigation called " comparative Simulation in physical and numerical model for a BOX culvert with eaves in flume " which Ricardo Palma developed in the laboratory of Hydraulics of the University with the aim to propose an experimental evaluation - comparative of the flow for a BOX type culvert with eaves, with support of a simulation in physical and numerical model.

What he carried to an experimental and applied investigation, due to being based on the theoretical concepts of Hydrology and Hydraulics, in turn quantitatively for the numerical approximation of the hydraulic scenes, with the application of information of the experiment and finally descriptively for being submitted to an analysis of experiment of physical model in flume, the conditions in situ, observing the results of the experiment and defining the application of eaves in the culverts.

Keywords: Experiment, simulation, physical model, numerical model, culvert, eaves.

INTRODUCCIÓN

El alcantarillado fluvial o de corrientes (drenaje) es una de las dificultades que tiene que resolver el diseñador de las estructuras de paso de una vía carretera, ferroviaria o urbana. En nuestro país encontramos ejemplos claros de la mala práctica de los sistemas de paso, el cruce de la av. Arequipa por debajo de la av. Javier Prado es un ejemplo negativo: cuando tenemos una precipitación ligera se llena de agua interrumpiendo el tránsito, debido a que el sistema de drenaje diseñado es inadecuado. Sin mencionar los eventos recurrentes del Huaycoloro en Lima que alcanzan la carretera de Vía de Evitamiento.

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones consciente de ésta deficiencia de la ingeniería en nuestro país, ha publicado un Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (2012-2014), donde se toca en abundancia este tema. Lo mismo la nueva Norma técnica OS - 060 de Drenaje Pluvial Urbano de SENCICO (2017), también trata ésta preocupación de ingeniería. Sin embargo, todos los aportes de estos documentos y otros usuales, tienen referencias de procedimientos, métodos y procesos estudiados en otras latitudes, con diferente escenario climatológico, geográfico, altitudes, orografía y otros diferentes al de nuestro territorio, por éstas razones, se plantea una investigación para estudiar una de las componentes de una alcantarilla pluvial, esto es, los alerones de entrada y salida de una alcantarilla como obra de drenaje mayor, con escenarios de diferentes características, estados y regímenes de flujo, incluidas algunas formas de disipación que seguramente se presentarán durante la investigación.

Para lo cual una de las formas a desarrollar, es la técnica de modelación física a escala en laboratorio, que se ejecuta debido a que no se cuentan con información desarrollada y necesaria para predecir los comportamientos del fluido en alcantarillas; siendo ésta así, el diseñador de las estructuras de paso de vías podrá contar con información para el diseño de las estructuras de cruce; teniendo en cuenta por supuesto las pautas de los manuales y normas presentes, considerando las distintas características geográficas, orográficas, climatológicas, topográficas entre otras características diversas, para un eficiente funcionamiento de la estructura.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problematicación

Para el diseño o construcción de alcantarillas se requieren de consideraciones hidráulicas específicas, conocer el comportamiento del fluido, especialmente en las épocas de máximas avenidas importantes y sus características como: el caudal, la pendiente, velocidad del agua, entre otros factores que permiten el mejor diseño y eficiencia de una alcantarilla en cuanto a su forma, sección, tamaño y costo; a su vez tenga la capacidad de encausar y llevar el caudal adecuadamente, contando con un buen rendimiento hidráulico tanto en la entrada, dentro y en la salida de la alcantarilla, no afectando así la misma estructura y con ello las vías existentes.

Debido a que las estructuras alcantarillas presentan problemas en el ingreso como en la salida por ausencia de aleros o mal diseño de los mismos, componentes que se encargan de direccionar el agua hacia el ingreso de la alcantarilla, por lo que en la experiencia de laboratorio se aplicará aleros en la entrada y salida para el direccionamiento y/o acomodo del flujo, como es el caso de una alcantarilla tipo Box con aleros de concreto, se realizará una simulación en modelo físico en el canal (Flume) de pendiente variable del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Ricardo Palma, asimismo la comparación con un modelo numérico, a través del código HEC-RAS o similar que sirve para realizar un modelo hidráulico de un cauce, río o canal.

Asimismo se tomarán en cuenta experimentos realizados en otros países como es el caso de la División de Dakota del Sur de la Administración Federal de Autopistas y el Ministerio de Transporte de Dakota del Sur – Washington (Sep/Oct 2005), en la publicación que titula “A Better Design For Box Culverts?” donde los investigadores realizaron una comparación de modelos físicos para saber el comportamiento de los fluidos y la capacidad de circulación de una alcantarilla, donde definen que usar coeficientes de pérdida de entrada antiguos o conservadores sobredimensionan las estructuras, en consecuencia se tiene un incremento de costos en las estructuras de concreto, como también definen que los diseños de alcantarilla de caja deben ser los que más se utilicen, pues su construcción es beneficioso y eficiente.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Proponer una evaluación experimental y comparativa del flujo para una alcantarilla tipo Box con aleros, con soporte de una simulación en modelo físico y numérico.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Diseño y construcción a escala de una alcantarilla tipo Box.
- b) Determinar las características hidráulicas del flujo de agua experimentalmente en una alcantarilla tipo Box.
- c) Realizar una comparación física y numérica con los resultados del experimento, como es el de la profundidad hidráulica, Energía y Número de Froude.
- d) Identificar las ventajas y desventajas de la geometría de la alcantarilla con y sin aleros al movimiento del fluido.
- e) Proponer futuras líneas de investigación.
- f) Proponer recomendaciones para los aleros de acuerdo al experimento.
- g) Proponer recomendaciones de instrumentación hidráulica.

1.3. Importancia

La investigación de la presente tesis es de importancia debido a que, mediante la ejecución experimental del modelo físico y numérico para una alcantarilla tipo Box con aleros, se podrá determinar y conocer el comportamiento del flujo y con ello proponer un adecuado y mejor diseño de alcantarilla para las obras de arte en zonas de cruce de vías. Por lo que construir alcantarillas para transportar flujos en las transversales de las vías será de gran valor por su aporte, teniendo como base para su diseño las consideraciones hidráulicas. De ésta manera con la contribución experimental podremos conocer el funcionamiento de la alcantarilla.

1.4. Metodología

1.4.1. Tipo de investigación

La investigación que se desarrollará es experimental y aplicada, porque es basada en los conceptos teóricos de Hidrología e Hidráulica, también información brindada por el asesor e indagada en la biblioteca como; ProQuest, Ebsco, e-libro y otros, que tienen relación con el tema de investigación de tesis.

1.4.2. Tipo de enfoque

Cuantitativo por lo que se aproximará numéricamente los escenarios hidráulicos, con los datos obtenidos en el experimento en el laboratorio de hidráulica y descriptivo porque el experimento será sometido a un análisis, la simulación del modelo físico en flume, las condiciones in situ y observar los resultados del experimento.

1.5. Descripción de los capítulos

El presente trabajo de investigación se desarrolla en seis capítulos de las cuales a continuación se detalla con una breve descripción:

En el Capítulo I: Planteamiento del problema, se describe la problematización, los objetivos generales y específicos, su importancia, la metodología de desarrollo de la tesis.

En el Capítulo II: Marco teórico, desarrolla los principios de la Mecánica de Fluidos e Hidráulica, en el que gobiernan las diferentes ecuaciones fundamentales para el desarrollo de la presente tesis, asimismo se describen los elementos físico-hidráulicos importantes, como también los fundamentos, conceptos, aplicaciones de la modelación física, el desarrollo de la escala en base a las leyes de semejanza y su respectivo diseño, así también la descripción, aplicaciones del modelo numérico a ser herramienta en la simulación del experimento físico con fines de comparación de ambos.

En el capítulo III: Aforo y calibración, detalla el concepto y método de aforo a aplicarse en los experimentos para la respectiva calibración del equipo y el desarrollo de los mismos, partiendo del reconocimiento y descripción del laboratorio, a partir de los cuales se elabora los cálculos necesarios de calibración del canal de pendiente variable del laboratorio de la universidad.

En el capítulo IV: Recopilación y levantamiento de información, Se realiza la descripción sobre el tema de las alcantarillas, los tipos que existen, los elementos que lo conforman, factores que condicionan el diseño hidráulico de una alcantarilla, como también las consideraciones importantes que se deben tener en cuenta para su respectivo diseño, asimismo las estructuras de entrada y salida que se pueden construir para el mejor comportamiento y fluidez del agua. Se mencionan además los tipos de flujo que ocurren en una alcantarilla, sobre todo los flujos con control de entrada y salida, seguido también de la definición del comportamiento de un tipo de flujo ideal en dicha

estructura y de acuerdo a la forma de entrada que presentan se muestran las transiciones en secciones angostas y anchas tal es el caso de la contracción en el ingreso y expansión en la salida de la alcantarilla.

En el capítulo V: Modelamiento conceptual experimental y numérico, contiene el desarrollo de la simulación del modelo físico en flume, simulación del modelo numérico, para las alcantarillas tipo BOX sin aleros, con aleros de ángulos de inclinación de 12.5° y 30° , presenta tanto los procedimientos, cálculos y sus respectivos resultados de cada una.

En el capítulo VI: Análisis de los resultados, presenta el análisis del experimento del modelo físico, del modelo numérico y su respectiva comparación de los modelos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Principios de la Mecánica de Fluidos e Hidráulica

En principio, fluido es la sustancia que tiene la capacidad de fluir y como contenido tiende a adaptarse a las formas de recipientes. Los fluidos pueden ser incompresibles y compresibles, como son los líquidos y gases.

La mecánica de fluidos e hidráulica estudia el comportamiento de los fluidos en sus distintas propiedades, tanto en su estado de reposo (estática de fluidos) o en movimiento (dinámica de fluidos).

2.1.1. Ecuación de Continuidad

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 = \text{constante} \quad (1)$$

La ecuación que se muestra da a entender que un fluido que circula con un flujo volumétrico o caudal constante en diferentes secciones, sean 1 y 2 en el que no se agrega fluido, se almacena o se retira, la masa de fluido que circula en la segunda debe ser similar o igual a la que circula en la primera, esto quiere decir que la masa de fluido que atraviesa por cualquier sección por unidad de tiempo es constante. Por lo que se define que la ecuación de continuidad es una consecuencia del principio de conservación de masa.

La ecuación de continuidad se utiliza para relacionar la densidad del fluido, el área del flujo y la velocidad en dos secciones del sistema donde existe un flujo estable.

Si se trata de fluidos incompresibles, como es el fluido líquido, entonces las densidades ρ_1 y ρ_2 de la ecuación (1) son iguales, siendo la nueva ecuación convertida como sigue:

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 = \text{constante} \quad (2)$$

O también como $Q = AV$, se tiene lo siguiente:

$$Q_1 = Q_2$$

Donde:

A: es el área de la sección en m^2

V: es la velocidad media de la corriente en m/seg.

2.1.2. Ecuación de Energía

Se obtiene al aplicar al flujo fluido, el principio de conservación de la energía, lo que en física se aprendió que la energía no se crea ni se destruye, más sino se transforma de una forma en otra, es al que se denomina ley de la conservación de la energía.

En un fluido en movimiento la energía que posee se encuentra integrada por la energía interna y las energías debidas a la presión, la velocidad y a su posición en el espacio. En la dirección del flujo, se tiene la siguiente ecuación del principio de energía:

$$\text{Energía en la sección } 1 + \text{Energía añadida} - \text{Energía perdida} - \text{Energía extraída} = \text{Energía en la sección } 2$$

Esta ecuación, en los flujos permanentes de fluidos incompresibles (fluidos líquidos), con variaciones en su energía interna es despreciable, por lo que se reduce en la siguiente.

$$\left(\frac{\rho_1}{\omega} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 \right) + H_A - H_L - H_E = \left(\frac{\rho_2}{\omega} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \right) \quad (3)$$

Esta ecuación es la que se denomina teorema de Bernoulli.

2.1.3. Ecuación de Cantidad de Movimiento

Conocer las fuerzas ejercidas por los fluidos en movimiento es de suma importancia en el análisis y diseño de dispositivos hidráulicos, cuerpos en movimiento entre otros. Y para la solución de problemas de los dispositivos no son suficientes las ecuaciones de energía existentes, por lo que es más definitivo emplear otro principio, como la cantidad de movimiento.

2.1.3.1. El principio del impulso – Cantidad de movimiento

Se define al impulso como la fuerza que actúa sobre un cuerpo durante un periodo de tiempo y la cantidad de movimiento como el producto de la masa de un cuerpo por su velocidad.

$$(\Sigma F)t = M(\Delta V)$$

Como la ecuación son magnitudes vectoriales, es mejor utilizar las componentes y para ellos se tienen las siguientes ecuaciones en cada dirección:

- En la dirección X

Cantidad de movimiento inicial \pm impulso = cantidad de movimiento final

$$MV_{X1} \pm \Sigma F_X * t = MV_{X2} \quad (4)$$

- En la dirección Y

$$MV_{Y1} \pm \Sigma F_Y * t = MV_{Y2} \quad (5)$$

Donde:

M: masa cuya cantidad de movimiento varía en el tiempo t.

2.1.4. Ecuación de Manning

$$V = \frac{1.00}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (6)$$

Donde:

V: es la velocidad promedio del flujo en m/s

R: radio hidráulico y se expresa en m

S: es la pendiente del canal y es adimensional

n: coeficiente de rugosidad de Manning que en adelante se mostrará los valores de n para cada tipo de superficie de canal.

De acuerdo a la figura N°1, la pendiente S de un canal se expresa en varias formas, la forma ideal para definirla es la relación de la caída vertical h a la distancia horizontal en que ocurre dicha caída, es práctico usar la relación h/L para pendientes pequeñas. Se

dice que lo normal es que el valor de la pendiente o ángulo de inclinación en los cauces naturales y estructuras de drenaje sean bastante pequeñas, como es el valor de 0.001, expresado en porcentaje 0.1%. Y como $\sin \theta = \frac{h}{L}$, también se expresa el ángulo que forma el fondo del canal con la horizontal, por lo que la pendiente de 0.001 se puede expresar de las siguientes maneras:

- El canal desciende 1m por cada 1000 m que avanza.
- La pendiente es de 0.1%
- $\sin \theta = 0.001$ es decir h/L . luego, $\theta = \sin^{-1}(0.001) = 0.057^\circ$ expresado en grados.

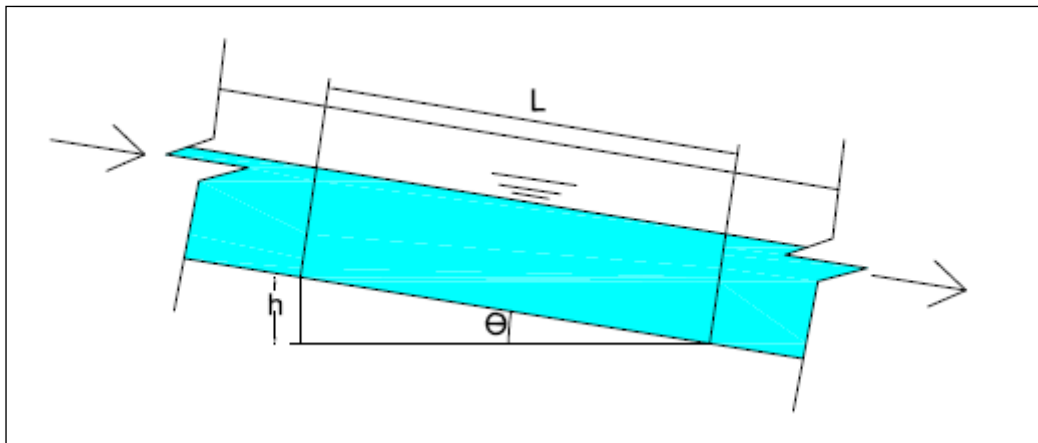


Figura N° 1: Pendiente de un canal
Fuente: Propia adaptada.

Entonces cuando el ángulo es muy pequeño, pocas veces se utiliza la pendiente como medida, por lo que la determinación del caudal o flujo volumétrico se obtiene con la ecuación de continuidad.

$$Q = AV \quad (7)$$

Reemplazando la ecuación (6) en la ecuación (7), se obtiene la ecuación directa referida al caudal con los parámetros físicos del canal, el cual es la ecuación combinada de continuidad – Manning.

$$Q = \left(\frac{1.00}{n}\right) AR^{2/3} S^{1/2} \quad (8)$$

La ecuación (8) presentada es el único valor de caudal o descarga en el que habrá flujo uniforme para la profundidad o tirante dada en el canal. La ecuación (8) también se puede presentar como:

$$AR^{2/3} = \frac{nQ}{S^{1/2}} \quad (9)$$

Ecuación en la que el término de la parte izquierda solo depende de la geometría de la sección, por lo que se puede determinar las características geométricas teniendo la pendiente, la descarga y el tipo de superficie. Asimismo conocido las características geométricas (tamaño y forma de canal), se calcula la profundidad o tirante normal donde ocurriría la descarga normal.

En los análisis de flujos de régimen uniforme los problemas que generalmente se presentan para resolver son la determinación de la descarga normal o caudal, la profundidad normal o tirante hidráulico, la geometría de la sección del canal, pendiente y el valor de coeficiente de rugosidad n de Manning. Por lo que estos valores se hallan mediante el uso de las ecuaciones (6) y (9).

2.1.4.1. Coeficientes de rugosidad de Manning (n)

En las tablas N°1 y N°2 se muestran los valores de los coeficientes de Manning.

Tabla N° 1: Valores del Coeficiente de Rugosidad de Manning (n)

TIPO DE CANAL			MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
A. CONDUCTO CERRADO CON ESCURRIMIENTO PARCIALMENTE LLENO	A.1. METÁLICOS	a. Bronce Pulido	0.009	0.01	0.013
		b. Acero			
		soldado	0.010	0.012	0.014
		con remaches	0.013	0.016	0.017
		c. Metal corrugado			
		sub - dren	0.017	0.019	0.021
	dren para aguas lluvias	0.021	0.024	0.030	
	A.2. NO METÁLICOS	a. Vidrio	0.009	0.010	0.013
		b. Concreto	0.010	0.011	0.013
		tubo recto y libre de basuras	0.011	0.013	0.014
		tubo con curvas, conexiones afinado	0.011	0.012	0.014
		tubo de alcantarillado con cámaras, entradas.	0.013	0.015	0.017
		Tubo con moldaje de acero.	0.012	0.013	0.014
		Tubo de moldaje madera cepillada	0.012	0.014	0.016
Tubo con moldaje madera en bruto		0.015	0.017	0.02	
c. Madera					
duelas		0.010	0.012	0.014	
laminada y tratada	0.015	0.017	0.020		
d. Albañilería de piedra.	0.018	0.025	0.030		
B. CANALES REVESTIDOS	B.1 METAL	a. Acero liso			
		sin pintar	0.011	0.012	0.014
		pintado	0.012	0.013	0.017
	b. Corrugado	0.021	0.025	0.03	
	B.2 NO METÁLICO	a. Madera			
		Sin tratamiento	0.010	0.012	0.014
		Tratada	0.011	0.012	0.015
		Planchas	0.012	0.015	0.018
		b. Concreto			
		afinado con plana	0.011	0.013	0.015
		afinado con fondo de grava	0.015	0.017	0.020
		sin afinar	0.014	0.017	0.020
		excavado en roca de buena calidad	0.017	0.02	
		excavado en roca descompuesta	0.022	0.027	
c. Albañilería					
piedra con mortero	0.017	0.025	0.030		
piedra sola	0.023	0.032	0.035		

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje

Tabla N° 2: Valores de Coeficiente de Rugosidad de Manning (n)

C. EXCAVADO		a.	Tierra, recto y uniforme			
			nuevo	0.016	0.018	0.020
			grava	0.022	0.025	0.030
			con algo de vegetación	0.022	0.027	0.033
		b.	Tierra, sinuoso			
			sin vegetación	0.023	0.025	0.03
			con malezas y pasto	0.025	0.03	0.033
			maleza tupida, plantas	0.030	0.035	0.040
			fondo pedregoso - malezas.	0.025	0.035	0.040
		c.	Roca			
			suave y uniforme	0.025	0.035	0.040
			irregular	0.035	0.040	0.050
		d.	Canales sin mantención			
	maleza tupida	0.050	0.080	0.120		
	Fondo limpio, bordes con vegetación	0.040	0.050	0.080		
D. CORRIENTES NATURALES	D.1. CORRIENTES MENORES (ANCHO SUPERF. < 30m)	a.	Ríos en planicies			
			rectos, sin zonas muertas	0.025	0.030	0.033
			rectos sin zonas muertas con piedras y malezas	0.030	0.036	0.040
			Sinuoso, vegetación y piedras	0.035	0.045	0.050
			Sinuoso, vegetación y bastante pedregoso	0.045	0.050	0.060
			Abundante vegetación, sinuoso.	0.075	0.100	0.150
		b.	Torrentes de montaña, sin vegetación, bordes abruptos			
			Árboles y arbustos sumergidos			
			Parcialmente en crecidas con piedras y	0.030	0.040	0.050
			Pocas rocas grandes rocas y piedras en el fondo	0.040	0.050	0.070
	D.2 PLANICIES DE INUNDACIÓN	a.	Con pasto sin arbusto			
			pastizales bajos	0.025	0.030	0.035
			pastizales altos	0.030	0.035	0.050
		b.	Áreas cultivadas			
			sin cultivo	0.020	0.030	0.040
			con cultivos	0.030	0.040	0.050
		c.	Arbustos y Malezas			
			escasos	0.040	0.060	0.080
			densos	0.070	0.100	0.160
d.		Arboles				
	sauces	0.110	0.150	0.200		
	tierra despejada con troncos	0.030	0.040	0.050		
D3 Ríos Principales (ancho superior a 30m)		Secciones Regulares	0.025	-	0.060	
		Secciones Irregulares	0.035	-	0.100	

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje

2.1.5. Elementos físicos - hidráulicos

- **Caudal o descarga (Q)**

Es la cantidad de agua que pasa o circula por una sección de canal, río u otros en un cierto instante, siendo ésta una de las variables más importantes en el área de la hidrología, su forma de determinación puede ser mediante la ecuación de continuidad, medición que se basa en dos funciones: el área de la sección y la velocidad del flujo, también se determina con la ecuación de Manning, basada en la geometría de la sección, pendiente y el valor de coeficiente de n de Manning de acuerdo a la superficie por donde fluye el flujo. La unidad de medida generalmente usada en el sistema internacional (SI) es en metros cúbicos por segundo (m^3/seg).

- **Tirante hidráulico (Y)**

En otros lugares también denominado calado. En un canal rectangular el tirante hidráulico o la profundidad normal es la distancia entre la lámina de agua y el fondo del canal. Como también es el resultado de dividir el área hidráulica por el ancho superficial del agua. La unidad de medida es el metro (m).

- **Área hidráulica (A)**

Es el área de la sección transversal que ocupa el flujo en un canal, siendo la unidad de medida el metro cuadrado (m^2).

- **Perímetro mojado (P)**

Es la línea o contorno de contacto entre la superficie mojada de la sección de canal y el agua. La unidad de medida es en metros (m)

- **Radio hidráulico (R)**

Es un parámetro importante en el dimensionamiento de canales, tubos y otros componentes de las obras hidráulicas, representado por la letra R y es el cociente o resultado de dividir el área hidráulica por el perímetro mojado del canal. Su unidad de medida es el metro (m).

$$R = \frac{A}{P} \quad (10)$$

2.1.6. Número de Froude

Representa al efecto o fuerza de gravitación, mecanismo principal que sostiene flujo en un canal abierto, es decir se presenta sobre el estado de flujo por su relación entre las fuerzas inerciales y gravitacionales, se utiliza en los cálculos de diseño de estructuras hidráulicas, resalto hidráulico y diseño de barcos, el valor se puede expresar de forma adimensional y se define como:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (11)$$

Donde:

V: Velocidad media (m/s)

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

L: Longitud característica (m)

Y como los flujos de canales abiertos, la longitud se hace igual a la profundidad hidráulica D_h se tiene:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gD_h}} \quad (12)$$

Siendo:

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

Donde:

D_h : Profundidad hidráulica o tirante medio (m)

A: Área hidráulica (m²)

T: Espejo de agua o ancho superficial (m)

Para un canal rectangular el ancho superficial es igual al ancho de solera (b), por lo tanto D_h será igual al tirante (Y).

Cuando $F_r = 1$ se encuentra en un estado de régimen crítico, si $F_r < 1$ o $V < \sqrt{gD_h}$ el flujo es de régimen subcrítico, si $F_r > 1$ o $V > \sqrt{gD_h}$ el flujo es régimen supercrítico.

- **Flujo o régimen subcrítico.** En este régimen de flujo la energía potencial gravitacional es mayor que la cinética, por ello que la velocidad es menor que la velocidad crítica, como también la profundidad del tirante es relativamente mayor, por lo que el fluido es calmado lento, debido también a que la pendiente es baja, es el régimen adecuado para los flujos.
- **Flujo o régimen crítico.** Es el punto intermedio o de transición entre los dos flujos subcrítico y supercrítico, es el punto de equilibrio entre las dos fuerzas. Los diseños de las conducciones en éste tipo de régimen deben evitarse.
- **Flujo o régimen supercrítico.** En este régimen de flujo la energía cinética es la que prevalece con respecto a la potencial, aquí la velocidad es mayor, en poca profundidad de tirante de agua, por lo que el movimiento del fluido es más rápido y ocurre en los cauces de pendiente mayor, provocando la formación de resaltos hidráulicos, generando así el aumento de la capacidad de disipación de energía en ciertos intervalos, llegando a la capacidad mayor para flujos con froude mayor a 9. Para diseñar estructuras con este régimen debe ser limitado, como solo en longitudes cortas y rápidas de descarga. Es un régimen rápido, torrencial, se pueden usarse en canales revestidos.

Según Pérez Carmona (2013) “los tres regímenes del movimiento se encuentran entre los siguientes valores:

$Fr < 0.9$ movimiento subcrítico

Fr entre 0.9 y 1.10 movimiento crítico

$Fr > 1.10$ movimiento supercrítico” (p.29).

2.2. Fundamentos de la Modelación Física

2.2.1. Historia de la modelación física

En el área de la hidráulica, la modelación física se ha ido desarrollando en el pasar de los años, tal es así que antiguamente se realizaban estudios mediante representaciones de estructuras y máquinas, por lo que gracias a ello se han podido fundamentar los principios de la hidráulica. Se menciona que hasta hace poco se realizaban estudios de experimentos en escala real en diferentes estructuras como: presas, vertederos, canales entre otros.

En cuanto a los estudios de los modelos físicos, se vienen efectuando recién en el último medio siglo y es por este motivo que se pueden predecir la conducta de una estructura o prototipo. Actualmente, no se diseñan y construyen estructuras sobre todo importantes, sin haber antes realizado estudios, experimentos con modelos físicos que permitan conocer características y determinar capacidades hidráulicas.

Es así que en el área de la ingeniería civil se requiere de constantes conocimientos en cuanto a la observación de los fenómenos hidráulicos antes de diseñar y construir alguna estructura; sean en el laboratorio con la aplicación de técnicas de modelación o en el mismo campo como se solía efectuar anteriormente. Con esto haremos presente un principio dado por Leonardo da Vinci *“Acuérdate, cuando trates del agua, de alegar primero una experiencia antes que una razón”* principio que si se da a experimentar ayuda a garantizar la eficiencia en el buen funcionamiento y comportamiento de una estructura.

2.2.2. Modelo físico

Es la simulación física de un fenómeno hidráulico que se lleva a cabo en un laboratorio en un sistema simplificado que permite observarlo y controlarlo con facilidad, de ésta manera tomar los datos y reunir suficiente información sobre las diferentes características, como el comportamiento del fluido y efectos de la simulación que serán considerados en el diseño de una obra hidráulica, el modelo físico se basa en que a partir de la magnitudes fundamentales como: Longitud (L), tiempo (t) y masa (m), y las restantes provienen de éstas principales, y es que en este sistema (L,t,m) las ecuaciones hidrodinámicas son adimensionales.

Asimismo un modelo físico de estructuras hidráulicas es realizado a escala en laboratorio haciendo referencia a un prototipo real, permitiendo simular ciertas condiciones hidráulicas, que probablemente investigar directamente en el prototipo generaría altos costos, tiempo de construcción y ensayo o en su defecto se tendrían dificultades y como consecuencia no se concretarían los estudios. También un modelo físico se puede incorporar a algún método matemático o modelo numérico dependiendo del tipo de estudio a desarrollarse.

En cuanto al diseño de modelos físicos se pueden efectuar con la utilización de distintos tipos de materiales, tales como: Madera, Acrílico, vidrio, metal, concreto, plástico, entre otros.

2.2.3. Aplicación de los modelos físicos

Los modelos físicos tienen distintas aplicaciones en diferentes áreas, en lo que respecta dentro de la Ingeniería Civil, tenemos por ejemplo, en hidráulica, estructuras y geotecnia.

En el área de la hidráulica los modelos físicos se ejecutan para conocer características del comportamiento hidráulico de fluidos y poder resolver problemas de diversidad de estructuras hidráulicas o partes de las mismas que se presentan en la ejecución de obras civiles, como por ejemplo se tienen por determinar la capacidad hidráulica, reducir las pérdidas de caudal en las entradas de estructuras como; alcantarillas, canales, tuberías o secciones donde hay cambios de dimensión, determinar o desarrollar métodos eficaces de disipación de energía en los ríos, determinar métodos para mejorar canales que transportan agua sin que se puedan presentar desbordes, etc. Por lo que con la aplicación de la simulación física hidráulica nos permite conocer características o propiedades importantes y por ende tener la confiabilidad en el desarrollo de proyectos de estructuras hidráulicas.

Para el desarrollo de la presente tesis de investigación se tomaron en cuenta aplicaciones de experimentos realizados tanto dentro y fuera del país, con el fin de tener una base y ver los avances de modelaciones físicas que se ejecutan en el área de hidráulica dentro de la Ingeniería Civil, con respecto al comportamiento del agua ante estructuras hidráulicas, tratándose de las alcantarillas se describen a continuación.

- “Diseño de alcantarillado de cajón rectangular; comparación analítica, empírica y modelación numérica” trabajo de investigación realizada por el Bach. Piter Orlando Quispe Palomino (2008) para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Ricardo Palma. Experimento que fue desarrollado en el laboratorio de hidráulica de la Universidad para una alcantarilla de cajón rectangular existente en el río Fortaleza a la altura del km 103 de la Vía Pativilca-Huaraz, el cual es un primer avance de modelo físico y numérico para el análisis de las estructuras de alcantarillas, basado en el comportamiento de flujo con ello la optimización de diseño de la alcantarilla, en el que define los resultados para la estructura estudiada, la alcantarilla del río Fortaleza del km 103, tanto experimental como el software indican que la estructura tendría un mejor funcionamiento y comportamiento hidráulico con la aplicación de muros de aleta de 45° a la entrada y salida de la estructura.
- A Better Design For Box Culverts? (Un mejor diseño para alcantarilla de caja), Kerenyi Kornel, J. Sterling Jones, Goeden Kevin, Philips Richard, Oien Paul. Washington 2005, la División de Dakota del Sur de la Administración Federal de Autopistas y el Ministerio de Transportes, se asociaron con la finalidad de realizar estudios de la geometría de entrada en el flujo de agua en estructuras construidas en campo y estructuras prefabricadas de concreto, quienes definen que la Hidrología e Hidráulica son importantes para el diseño de las estructuras de drenaje, como son las alcantarillas, estructuras que se construyen o se colocan cerca de las carreteras para el control de la circulación de las aguas.

Tal es así que mencionan que determinar la forma y tamaño de la estructura no es suficiente para que estas estructuras funcionen con eficacia, sino también influye el costo, ya que durante las avenidas máximas las estructuras pueden fallar afectando la construcción de un proyecto.

Los estudios se realizaron en el laboratorio de Hidráulica de FHWA, Centro de Investigación de Autopista (TFHRC) EE.UU. donde efectuaron estudios para efectos de la geometría de entrada en el flujo de agua en estructuras tipo cajón cuadradas en prefabricado de concreto y construidos en el campo, en prefabricados de ala recta y en la convencional con alero tipo embudo, donde

verificaron los coeficientes de entrada, definiendo que la diferencia entre los dos tipos de entrada es mínima. Los experimentos se ejecutaron con bordes biselados (cuadrado, recto y redondeado) y para determinar los coeficientes de pérdidas colocaron sensores de presión en los pisos del cabezal y la cola.

Los resultados de los experimentos mostraban que los bordes biselados redondeados en la parte superior (corona) produce la óptima configuración geométrica, haciendo que el agua fluya más rápida y de forma efectiva. En cuanto a los coeficientes a usar concluyeron que para control de entrada no sumergido se usan los mismos tanto para barriles individuales y múltiples.

En cuanto a los coeficientes de pérdida de salida en las alcantarillas de ala recta para barril simple, doble, triple y cuádruple promedia 0.52 y para las paredes de ala acampanada de 30° o forma embudo promedia 0.31 por lo que los resultados de coeficientes a usar tanto en el control de entrada y salida debe ser el mismo definen.

Para el diseño y análisis de alcantarillas dependen de programas de HDS-5 y HY8 que son softwares utilizadas por Federal Highway Administration (FHWA).

Por ello que en la presente tesis también se definirá el comportamiento del fluido tanto en el ingreso y salida de la alcantarilla.

- “Prueba de alcantarillas sin fondo” Kerenyi Kornel, Pagán Ortiz Jorge. Washington May/Jun 2007. En la investigación realizada por la Administración de carreteras del Estado de Maryland y la FHWA estudiaron la socavación de alcantarillas sin fondo, donde hacen en mención que colocar alcantarillas sin fondo puede ser mejor en suelos donde sean estables y se puedan cimentar directamente, refieren que este tipo de diseño es más amigable al ambiente que el diseño de alcantarillas cerradas. Para definir realizaron estudios en dos fases, la primera en tomar mediciones, profundidades máximas de socavación a la entrada de la alcantarilla y, la segunda para tomar medidas en la entrada y salida para condiciones de flujo sumergido.

Con el experimento llegaron a observar de que la erosión es más profunda a las esquinas de la entrada, ello debido a la contracción del flujo al momento de ingresar el flujo en la alcantarilla, formación de vórtices y turbulencia que se dan aguas abajo de la entrada, es decir en las paredes laterales de la alcantarilla.

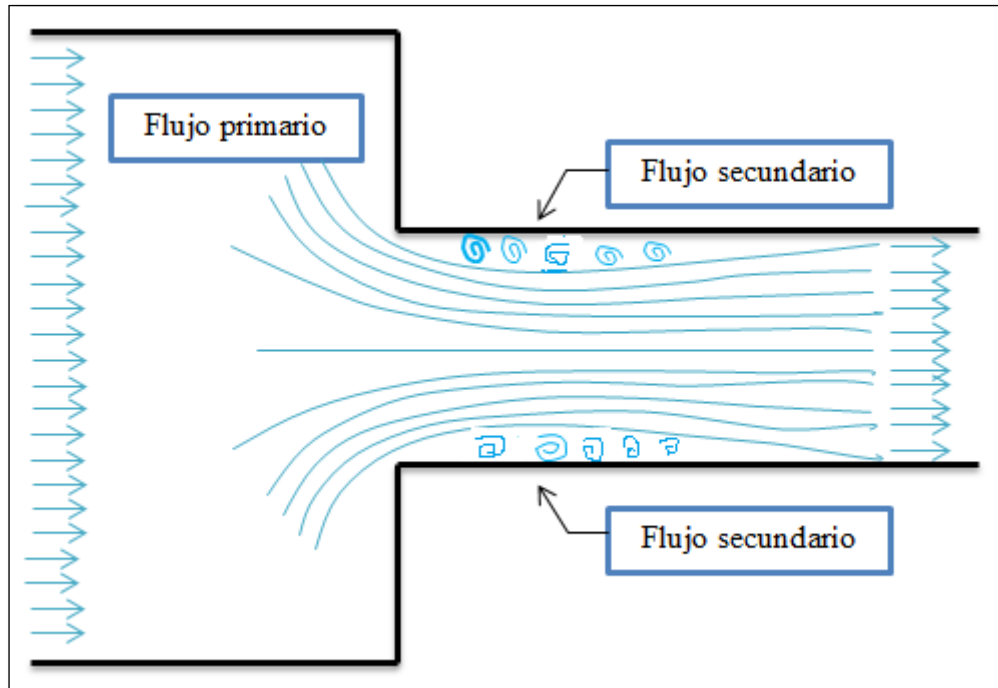


Figura N° 2: Flujo primario muestra contracción del flujo a la entrada y el flujo secundario la formación de vórtices y con ello la turbulencia aguas abajo a la entrada de la alcantarilla
Fuente: Adaptación propia.

Para el experimento aplicaron alcantarillas con varios ángulos de ala, por lo que definieron que las entradas de alcantarilla de ala brindan mejor circulación, tendiendo ser el fluido más suave, reduciendo turbulencia y erosión, asimismo los resultados de socavación a la salida se puede reducir principalmente usando paredes de ala con forma aerodinámica.

En la investigación de la tesis, con éste antecedente, se podrá observar el comportamiento de la circulación de fluido en una alcantarilla tipo cajón con aleros en la entrada y salida.

2.2.4. Aporte de los modelos físicos

Los aportes que brindan al realizar una modelación física son:

- Disminuir el riesgo de diseñar obras poco resistentes que puedan fallar fácilmente, teniendo como consecuencia pérdidas económicas o hasta vidas humanas.
- Permite conocer datos importantes y tener la posibilidad de reducir inversiones innecesarias debido a un diseño sobredimensionado.
- La modelación física en sí, es una herramienta de suma importancia que ayuda a optimizar el diseño de las obras hidráulicas.

2.3. Bases teóricas de modelación física

2.3.1. Análisis dimensional

Permite predecir resultados de una investigación en base a los resultados obtenidos de realizar un experimento con un modelo a escala, el análisis dimensional en realidad es una herramienta útil para reducir al mínimo el número de experimentos a ejecutar, ayuda a proporcionar información acerca de la relación que guardan entre sí las variables pertinentes, además sugiere agrupar variables entre sí, por consiguiente da lugar a las leyes de semejanza que en adelante se explica.

2.3.2. Teorema de “ π ” de Buckingham

El presente teorema establece que al tener un problema físico en que se cuente con “ n ” variables que contengan “ m ” dimensiones distintas, entonces las variables se pueden agrupar en “ $n-m$ ” grupos adimensionales independientes.

Siendo entonces V_1, V_2, \dots, V_n las variables que intervienen en un problema, por lo que se debe tener una función que las relacione como: $f(V_1, V_2, \dots, V_n) = 0$; si G_1, G_2, \dots, G_{n-m} , representa los grupos adimensionales que representan a las variables V_1, V_2, \dots, V_n ; el teorema establece también una función de la siguiente manera: $g(G_1, G_2, \dots, G_{n-m}) = 0$.

La forma para determinar los grupos adimensionales $G_i, i = 1, \dots, n - m$) consiste en seleccionar “ m ” de las “ n ” variables con diferentes dimensiones, de tal forma que

contengan entre todas las “m” dimensiones, y poder emplearlas como variables repetitivas, formando cada uno de los “n-m” grupos adimensionales a partir de la siguiente expresión general:

$$G_i = V_i \cdot \prod_{j=m-n+1}^{j=n} V_j^{a_{ij}} \quad i = 1, \dots, m - n \quad (13)$$

Por lo que a los grupos adimensionales se les denomina generalmente “parámetros adimensionales de π de BUCKINGHAM”, por ser su expresión un productorio adimensional (símbolo de productorio = π), donde:

a_{ij} : Exponentes que se determinan por la condición de que cada grupo resulte adimensional; se sustituyen las dimensiones de las variables por ellas mismas y los exponentes de M, L, T, ..., se igualan a cero (adimensionalidad del parámetro).

2.3.3. Ley de la similitud o semejanza

La ley de la similitud fue establecida por Kline: “Si dos sistemas obedecen al mismo grupo de ecuaciones y condiciones gobernantes, y si los valores de todos los parámetros y las condiciones se hacen idénticas, los dos sistemas deben de exhibir comportamientos similares con tal de que exista una solución única para el grupo de ecuaciones y condiciones”.

Los experimentos en modelos físicos se encuentran basados en la aplicación de un conjunto de relaciones, las cuales son las leyes de semejanza que nacen o se derivan a partir del análisis dimensional, con ello formación de grupos adimensionales y expresan las relaciones entre los distintos parámetros que gobiernan el comportamiento de un fluido, la teoría dimensional brinda la ventaja de poder predecir los resultados de un proyecto, en base a los experimentos en modelo físico a escala y, para que los resultados del modelo físico sean considerados representativos, deben satisfacer las leyes de similitud.

Sin embargo, estas leyes en si por razones de prácticas no aseguran una similitud en su totalidad o completo, tanto en el modelo físico como el prototipo, debido a la variedad de casos que surgen.

2.3.3.1. Semejanza geométrica

Refiere sobre un modelo físico ejecutado en laboratorio y un prototipo o estructura real, la existencia de una relación entre los dos en cuanto a todas las longitudes homólogas de los dos sistemas, es decir;

$$L_e = \frac{H_p}{H_m} = \frac{b_p}{b_m} = \frac{S_p}{S_m} = \dots$$

Por lo que en consecuencia las relaciones de áreas y volúmenes también se puede expresar en términos de cuadrados y cubo de L_e , siendo L_e la escala.

$$\frac{L_p}{L_m} = L_e ; \quad \frac{L_p^2}{L_m^2} = L_e^2 ; \quad \frac{L_p^3}{L_m^3} = L_e^3$$

2.3.3.2. Semejanza cinemática y dinámica

La semejanza cinemática es la semejanza geométrica entre las líneas de corriente de flujos en principio sin distorsión de los dos sistemas, modelo y prototipo.

La semejanza dinámica implica la existencia de la semejanza geométrica y que la relación de fuerzas sea iguales en los puntos homólogos. En ésta semejanza existen también las escalas de las velocidades, fuerzas, tiempos, densidades, etc. Tales así que se tienen las relaciones de semejanzas de Reynolds, Mach, weber y Froude:

$$Re_p = Re_m ; Ma_p = Ma_m ; We_p = We_m ; Fr_p = Fr_m$$

- La semejanza de Reynolds, cuando un cuerpo sumergido en un flujo la fuerza que predomina es la viscosidad.
- La semejanza de Mach, cuando un cuerpo sumergido en un flujo la fuerza predominante es la compresibilidad.
- La semejanza de Weber, Cuando en flujos de láminas delgadas predomina la tensión superficial.
- La semejanza de Froude, cuando el flujo tiene la superficie libre, la fuerza que predomina es la gravedad. Cuando el número de Froude aumenta, la fuerza inercial es mayor, si el número es menor entonces la fuerza gravitacional será mayor.

Menciona Vicente Méndez (2001) “que uno de los recursos más valiosos en la Mecánica Experimental de los fluidos, es precisamente el criterio de semejanza de Froude, como base para la ejecución de investigaciones sobre modelos a escala reducida, semejante geoméricamente a los prototipos, cuyo diseño hidráulico se quiere fundamentar o mejorar con los resultados de esas investigaciones” (p.66).

Por lo que la semejanza de Froude será aplicado en la presente tesis de investigación, entonces la semejanza dinámica de un prototipo (p) y el modelo (m), el Número de Froude serán iguales como la que se presenta y el cual es adimensional.

$$\frac{V_p}{\sqrt{g_p \times L_p}} = \frac{V_m}{\sqrt{g_m \times L_m}}$$

Considerando que la gravedad es la misma en los sistemas y reemplazando la velocidad $V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{L^2}$, y simplificando se obtiene:

$$\frac{\frac{Q_p}{L_p^2}}{L_p^{1/2}} = \frac{\frac{Q_m}{L_m^2}}{L_m^{1/2}}$$

$$\frac{Q_p}{L_p^2 \times L_p^{1/2}} = \frac{Q_m}{L_m^2 \times L_m^{1/2}}$$

$$\frac{Q_p}{L_p^{5/2}} = \frac{Q_m}{L_m^{5/2}}$$

Quedando una relación de caudales:

$$\frac{Q_m}{Q_p} = \left(\frac{L_m}{L_p} \right)^{5/2} \quad (14)$$

Asimismo para velocidades:

$$\frac{V_m}{V_p} = \left(\frac{L_m}{L_p} \right)^{1/2} \quad (15)$$

2.4. Diseño del modelo físico

Para el diseño del modelo físico se investigó sobre las características del Canal de Pendiente Variable del Laboratorio, en cuanto a su disposición y capacidad con la que cuenta para ejecutar el experimento, con ello poder definir la escala de trabajo del modelo, el material seleccionado es el acrílico debido a su característica transparente que permite la visualización del comportamiento del flujo al pasar por el modelo de alcantarilla, así mismo su facilidad de fabricación y/o construcción.

Las características del canal son:

- Material de base metal
- Material de paredes fibra de vidrio
- Pendientes con la que cuenta el canal de 0° a 5°
- Altura del canal $H=0.6\text{m}$
- Ancho de canal = 0.30m
- Longitud del canal = 15.0m

Los datos obtenidos, permitieron los cálculos para determinar las dimensiones adecuadas de la alcantarilla, asimismo la elaboración del plano del modelo con sus características respectivas, por ende su fabricación.

Los cálculos (ver tabla N°3) se desarrollaron a partir de los datos obtenidos del laboratorio y mediante la aplicación de la ecuación de Manning, se determinó la profundidad hidráulica o tirante del flujo que pasará por la alcantarilla propiamente dicha.

Tabla N° 3: Determinación de la profundidad hidráulica (Y) para el diseño de la alcantarilla

Caudal Q (m3/s)	Rugosidad n	Pendiente S (°)	Pendiente S (m/m)	$Q=1/n*A*R^{2/3}S^{1/2}$ Tirante en el barril Y(m)	Tirante Y (cm)	Ancho de barril b(m) = 2Y
0.012	0.010	1	0.0175	0.0663	6.63	0.13
0.012	0.010	2	0.0349	0.0582	5.82	0.12
0.012	0.010	3	0.0524	0.0540	5.40	0.11
0.010	0.010	1	0.0175	0.0619	6.19	0.12
0.010	0.010	2	0.0349	0.0544	5.44	0.11
0.010	0.010	3	0.0524	0.0504	5.04	0.10
0.008	0.010	1	0.0175	0.0570	5.70	0.11
0.008	0.010	2	0.0349	0.0500	5.00	0.10
0.008	0.010	3	0.0524	0.0464	4.64	0.09
0.006	0.010	1	0.0175	0.0511	5.11	0.10
0.006	0.010	2	0.0349	0.0449	4.49	0.09
0.006	0.010	3	0.0524	0.0416	4.16	0.08

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla N°3, se tiene $Y=0.0663\text{m}$ por lo que la profundidad hidráulica en el barril de la alcantarilla sería $Y=0.07\text{m} = 7.00\text{cm}$, valor con el que se procederá a determinar el borde libre del ingreso a la alcantarilla.

El borde libre en las alcantarillas es muy importante tener en cuenta en el diseño hidráulico, según norma (Manual de hidrología, hidráulica y drenaje) las alcantarillas no deben ser diseñadas a sección llena, porque al trabajar de esa forma se pueden generar obstrucciones que afectarían el paso del flujo. Asimismo recomienda que el diseño hidráulico considere como mínimo el 25% de la altura, diámetro o flecha de la estructura. La cual se muestra en la siguiente:

$$BL = 0.25(Y + BL)$$

$$0.75BL = 0.25Y$$

$$BL = \frac{1}{3}Y$$

Y de acuerdo a la tabla N°3, se tiene $Y=0.0663\text{m}$ por lo que la profundidad hidráulica en el barril de la alcantarilla sería $Y=0.07\text{m} = 7.00\text{cm}$, valor con el que se procederá a determinar el borde libre del ingreso a la alcantarilla, resultando $BL=3.00\text{ cm}$, por lo que se concluye, altura total de la alcantarilla 10cm .

Por tanto teniendo la definición de las semejanzas y la información de datos del canal de laboratorio y mediante la aplicación de la semejanza de Froude, en dimensión lineal, el cociente $\frac{L_p}{L_m} = L_e$, la escala a utilizar para el modelo físico será 1:30, lo que expresa que una unidad de longitud del modelo está asociada con 30 unidades de longitud del prototipo, para el caso hallamos en centímetros, que se plasma de la siguiente forma:

$$\frac{L_p}{L_m} = \frac{30}{1}$$

$$\frac{L_p}{15cm} = \frac{30}{1}$$

$$l_p = 450 \text{ cm equivalente a } 4.5m.$$

El ancho de ingreso al barril de la alcantarilla en el modelo físico, aplicado al canal de pendiente variable en el laboratorio de hidráulica es de 15 cm, lo que de acuerdo a la escala, para un prototipo es de 450 cm, asimismo la altura (D) del barril sería de 300 cm equivalente a 3.0m.

En la figura N°3 se muestra el plano diseñado de la alcantarilla para su fabricación, asimismo en la figura N°4 se presenta el plano de diseño de los aleros para ángulos de 12.5° y 30° formados en la horizontal en dirección del flujo, a partir del ingreso al barril en cada lado, tanto en la entrada y salida de la alcantarilla, los aleros son independientes.

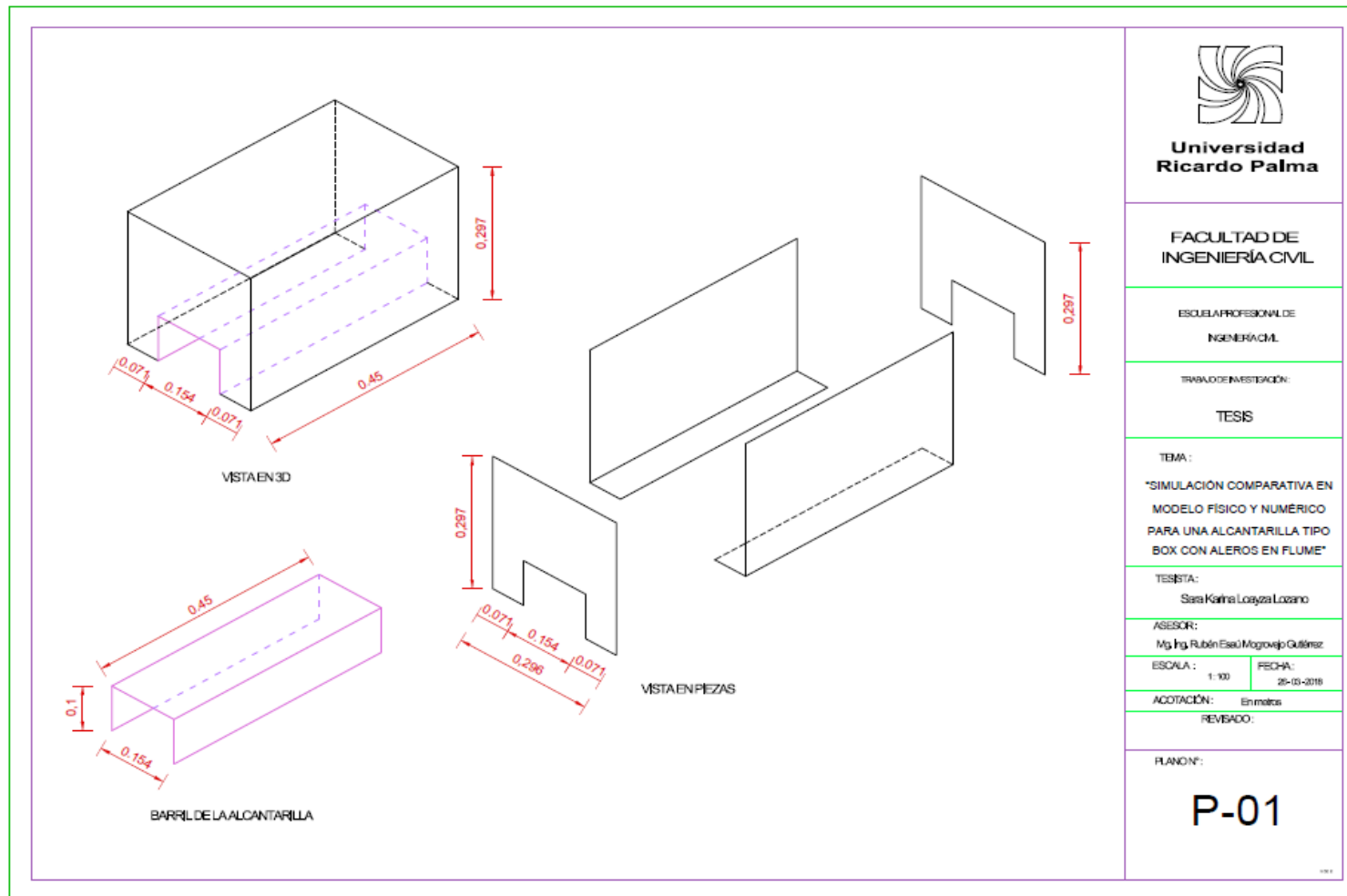


Figura N° 3: Plano de diseño de Culvert tipo BOX
Fuente: Elaboración propia.

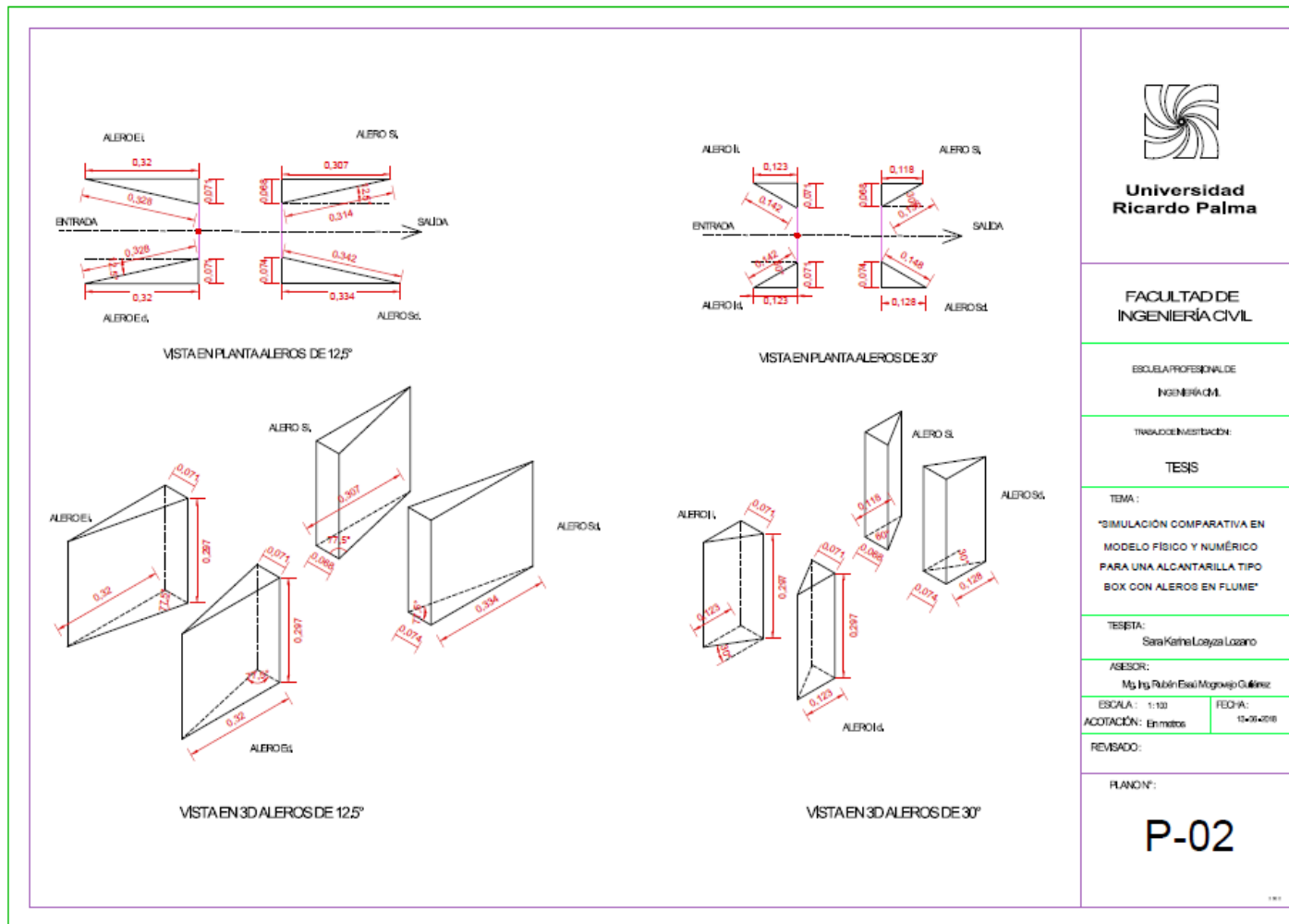


Figura N° 4: Plano de diseño de aleros de ángulos 12.5° y 30°
Fuente: Elaboración propia.

2.5. Modelo matemático o numérico

Son los modelos en las que se usan ecuaciones o expresiones matemáticas que definen el fenómeno en estudio de una manera práctica y simplificada.

Los modelos matemáticos son: modelos determinísticos, en el que un proceso físico es considerado de manera determinística donde no es considerada la probabilidad de ocurrencia del fenómeno, en cambio en los modelos estocásticos, un proceso físico es representado haciendo el uso de variables aleatorias, probabilísticas que involucran el fenómeno en estudio, asimismo se encuentran los modelos de simulación numérica, éste último es la que se aplicará en la presente tesis de investigación, por lo que se profundiza en el siguiente tema.

2.6. Modelos de simulación numérica

Son modelos numéricos en las que se emplean principalmente, ecuaciones diferenciales y condiciones iniciales de borde y los cuales son resueltos mediante la utilización de técnicas de análisis numérico, como son los métodos de diferencias finitas y elementos finitos. Ambos métodos pueden resolver ecuaciones que presentan dominio continuo mediante la solución en un número finito de puntos discretos en dicho dominio, las cuales se denominan nodos.

2.6.1. Método de diferencias finitas

Este método tiene la capacidad de simular algunos procesos que son complicados de resolver con un cálculos simples, por ejemplo si se buscan valores de la velocidad, tirante u otro en los puntos discretos, es decir en los nodos estos valores se encontrarán, en cambio la solución en cualquier otro punto fuera de los nodos se encontrará mediante la interpolación, el cual será una solución aproximada. Por lo que el modelo tiene la capacidad de brindar mucho más detalle y precisión que los modelos convencionales, de manera que tienen la capacidad de manejar condiciones de borde e iniciales complejas, para los que en algunos casos no existen soluciones analíticas.

2.6.2. Método de elementos finitos

Este método tiene la función de discretizar el área de estudio mediante una malla que es conformada por pequeños elementos que pueden presentar una forma triangular o cuadrangular y que los vértices de cada elemento pequeño representa los nodos de la

mallá, estos elementos locales son ensamblados mediante los procedimientos de álgebra lineal en matrices globales, en las que el vector solución representa las soluciones nodales, nodos en las que se desea encontrar los valores de la variable incógnita como es el de la velocidad y tirante. Definiendo que éste método es de gran utilidad y facilidad para acomodar geometrías complejas, como la forma y el tamaño de elementos de acuerdo a las necesidades de modelación.

El modelo numérico que se aplicará en la presente tesis de investigación, para la simulación comparativa con el modelo físico será el modelo numérico HEC-RAS 5.0.3.

2.7. Modelo HEC-RAS

El programa o código HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System), es decir Sistema de Análisis del Río, creada por el Centro de Ingeniería Hidrológica (CEIWR-HEC), es un software de dominio público, que permite realizar cálculos hidráulicos de una y dos dimensiones. Actualmente el modelo es más completo, debido a que permite el desarrollo o la representación de todo un sistema fluvial, desde una menor complejidad a mayor, con herramientas de diseño para alcantarillas, puentes, terraplenes, etc.

Las capacidades principales del programa son:

- Interfaz de usuario.

Proporciona las funciones de: Gestión de archivos, entrada y edición de datos, análisis hidráulicos, tabulación y pantallas gráficas de datos de entrada y salida, mapeo de inundación y animaciones de propagación de agua, entre otros.

- Componentes de análisis hidráulicos

Los componentes son:

1. Cálculos de perfil de superficies de agua de flujo constante, el cual es capaz de modelar perfiles superficiales de aguas subcríticos, supercríticos y de flujo mixto, la forma de procedimiento computacional es basado en las ecuaciones de energía, ecuación de Manning, ecuación de momento, ecuaciones que fueron mencionados anteriormente.
2. Simulación de flujo inestable de una y dos dimensiones, es utilizado para ejecutar un régimen de flujo subcrítico, supercrítico y mixto, así como los saltos hidráulicos. Este componente aparte de realizar cálculos de secciones transversales, alcantarillas, puentes, también incluyen a los análisis de fallas

de presas, diques, estaciones de bombeo, es decir incluyen a las estructuras hidráulicas de grandes capacidades.

3. Cálculos de transporte de sedimentos para lechos móviles y análisis de calidad de agua, es el componente que se desarrolla de manera unidimensional para casos de estimación de la máxima erosión que se puede ocasionar durante los grandes eventos de inundación, asimismo se encarga evaluar la sedimentación en canales fijos.
4. El cuarto componente que es el análisis de calidad de agua, que permite la evaluación de análisis de calidad de aguas fluviales, para lo cual el programa incluyó un módulo de advección – dispersión, que agrega la capacidad de poder modelar la temperatura del agua. Los componentes de calidad de agua que se encuentran actualmente disponibles se encuentran el nitrógeno disuelto, fósforo disuelto, algas y oxígeno disuelto.

- Almacenamiento y gestión de datos

Los datos de entrada que se ingresan en el modelo en los tipos de archivos planos de acuerdo a categorías de cada proyecto, es decir, el plan, la geometría, flujo estable, flujo inestable, flujo cuasi-constante, datos de sedimentos de existir y la información de la calidad de agua. En cuanto a los datos de salida también son archivados y/o almacenados en tipos de archivos binarios separados, estos datos si se desean se pueden transferir a otros programas.

La gestión de datos es realizado a través de la interfaz del usuario, el cual pide que se le asigne un nombre de archivo para el proyecto, siendo ésta así la interfaz se encarga de nombrar de manera automática todos los demás archivos, los que sean necesarios, asimismo permite cambiar el nombre, trasladar y eliminar archivos proyecto por proyecto.

- Gráficos e informes

Los gráficos que proporciona el modelo son: esquema del sistema fluvial, gráficos en sistema X-Y, de secciones transversales, curvas de clasificación, también brindan gráficos tridimensionales de diversas secciones transversales, se pueden elegir tablas predefinidas o también se puede desarrollar tablas personalizadas.

- RAS Mapper

El programa HEC-RAS también puede realizar y brindar mapeos de inundaciones a partir de los resultados del perfil de la superficie del agua, en lo

que respecta la profundidad de inundación y los datos de límites del área de inundación se crean a través de RAS Mapper y para el uso de ello se debe contar con un modelo de terreno en un tipo de formato, el cual es el formato de coma flotante ráster binario(.flt). Es aquí donde se almacena la profundidad resultante.

El programa HEC-RAS ha sido bastante utilizado mayormente para el cálculo de los niveles de agua para diferentes caudales, asimismo para determinar zonas de inundación.

La versión 5.0.3 del programa es la versión que reemplaza por supuesto a las demás que son las anteriores, siendo la primera versión creada o utilizada desde julio de 1995 siendo HEC-RAS 1.0. En la v5.0.3 es donde ya se agregaron más características de simulación en especial los cambios de control de entrada (inlet) y salida (oulet) de la alcantarilla, así como el RAS Mapper antes mencionado, así como otras pequeñas mejoras.

Es así que este software fue diseñado o desarrollado especialmente para el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU. (USACE), Pero el programa que se desarrolló en el Centro de Ingeniería Hidrológica pone a disposición del público, quiénes lo requieran para su uso, que por supuesto el uso tenga la plena responsabilidad en el buen manejo del software, contando con el manual respectivo.

2.8. Aplicación del modelo numérico HEC-RAS

El software HEC-RAS se estuvo aplicando en los diferentes estudios, en especial en el análisis de evaluación hidráulica de ríos, evaluación del comportamiento de fluido en el diseño de obras hidráulicas y de cómo éstas obras responden a esos comportamientos, así como simulaciones de ríos en régimen permanente y no permanente, en flujo subcrítico y supercrítico, también incluir estructuras hidráulicas como: alcantarillas, puentes con estribos y pilas, estructuras laterales, en el centro del cauce, entre otros. Es así que a continuación se mencionan algunos de los múltiples estudios aplicado con el modelo numérico:

- “Diseño de alcantarillado de cajón rectangular; comparación analítica, empírica y modelación numérica” trabajo de investigación realizada por el Bach. Piter Orlando Quispe Palomino (2008) para optar el Título Profesional de Ingeniero

Civil en la Universidad Ricardo Palma. Experimento que fue desarrollado en el laboratorio de hidráulica de la Universidad para una alcantarilla de cajón rectangular existente en el río Fortaleza a la altura del km 103 de la Vía Pativilca-Huaraz, para el cual a partir de la información, cálculos y resultados obtenidos se han digitado y simulado en el modelo numérico HEC-RAS, aplicando la topografía del cauce del río y el diseño de la alcantarilla, definido un caudal adecuado para el prototipo la comparación numérica resultaba ser una buena aproximación presentando flujos de tipo subcrítico aguas arriba, dentro de la alcantarilla y aguas abajo un flujo crítico, indicando que ésta no es tan confiable como los que resultaron en el modelo físico debido a las limitaciones del programa.

- Cálculo de flujo gradualmente variado con HEC-RAS. Juan Carlos Bustos Montes (2011). Tesis desarrollado en México, en el que con el uso del programa determina los perfiles hidráulicos para flujos gradualmente variado, tomando ejemplos de la publicación “Solución numérica de la ecuación diferencial del flujo gradualmente variado” de Berezowsky y Gómez 1986, en el que compara, valida y aplica el modelo HEC-RAS. Concluyendo que efectivamente se demostró la calidad y precisión en los resultados con la aplicación del modelo numérico.

2.9. Modelado de alcantarilla en el software

Como el modelo numérico HEC-RAS permite definir la estructura de alcantarilla en ríos y canales, sean de geometría cuadrada, circular, semicírculo, elíptica, etc. Se pueden evaluar el efecto que producen éstas en el flujo y para obtener estos resultados se calculan las pérdidas de energía que presentan a la salida, en la garganta de la estructura y las pérdidas que se generan a la entrada de la alcantarilla. Estas pérdidas de energía que es por contracción y expansión, es decir, que cuando la carga de la velocidad aguas abajo es mayor que las de aguas arriba (contracción) y cuando sucede lo contrario el software considera que ocurre una expansión. Estos valores se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$h_{ce} = C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (16)$$

Ecuación que se definen entre las secciones aguas arriba y aguas debajo de la estructura. El valor del coeficiente C para los dos casos contracción y expansión es asignado por el usuario, sin embargo por defecto el programa considera los valores de 0.1 y 0.3 para la contracción y expansión respectivamente.

Para el estudio del análisis del comportamiento del flujo que pasa a través de ésta estructura se dice que es bastante complicado, por lo que para facilitar o simplificar el análisis se utilizan los conceptos de “control de entrada y control de salida”. El flujo tiene de entrada cuando, a la entrada de la alcantarilla se presenta un tirante crítico o próximo a el y es cuando el flujo cambia a un tipo de flujo supercrítico y si el tirante crítico se presenta a la salida de la estructura entonces se dice que el flujo tiene un control de salida.

2.9.1. Cálculo hidráulico de alcantarilla con control de entrada

El flujo con control de entrada dependen de las características o condiciones geométricas de la alcantarilla y el nivel de agua próximos aguas arriba. Por lo que el software emplea las ecuaciones que han sido desarrolladas por la Administración Federal de Caminos de los EE.UU. (FHWA), para los casos de flujo sumergido y no sumergido, ecuaciones que se muestran a continuación:

Para flujo sumergido.

$$\frac{HW_i}{D} = c \left| \frac{Q}{AD^{0.5}} \right|^2 + Y - 0.5S \quad (17)$$

Y para flujo no sumergido.

$$\frac{HW_i}{D} = \frac{H_c}{D} + K \left| \frac{Q}{AD^{0.5}} \right|^M - 0.5S \quad (18)$$

$$\frac{HW_i}{D} = K \left| \frac{Q}{AD^{0.5}} \right|^M \quad (19)$$

Donde:

HW_i : carga hidráulica a la entrada de la alcantarilla

D: altura o diámetro de la alcantarilla

H_c : carga hidráulica sobre el tirante crítico $(d_c + \frac{V_c^2}{2g})$

Q: caudal que pasa por la alcantarilla

A: área llena de la tubería

S: pendiente de la alcantarilla

K, M, c, Y: coeficientes que dependen de la geometría y condiciones de entrada

2.9.2. Cálculo hidráulico de alcantarilla con control de salida

Cuando el control flujo de alcantarilla se encuentra a la salida de ésta, hay presencia de remanso aguas arriba, es decir en el flujo subcrítico y por tanto aguas abajo presenta un tipo de flujo supercrítico, por lo que todo lo que ocurre en el flujo desde la sección de salida hacia la parte aguas arriba, tendrá influencia en el nivel de agua a la entrada de la alcantarilla, entonces la expresión empleada para este tipo de análisis es la que se muestra a continuación:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + H_L \quad (20)$$

Donde:

Z_2 : elevación del terreno a la entrada de la alcantarilla

Y_2 : profundidad del agua a la entrada de la alcantarilla

V_2 : velocidad media a la entrada de la alcantarilla

α_2 : coeficiente de Coriolis a la entrada de la alcantarilla

g: aceleración de la gravedad

Z_1 : elevación del terreno a la salida de la alcantarilla

Y_1 : profundidad del agua a la salida de la alcantarilla

V_1 : velocidad media a la salida de la alcantarilla

α_1 : coeficiente de Coriolis a la salida de la alcantarilla

H_L : pérdida de energía que se produce a lo largo de la alcantarilla

CAPÍTULO III: AFORO Y CALIBRACIÓN

3.1. Aforo

Es la forma de medición de descarga en un canal abierto mediante una serie de métodos como: vertederos que se usa especialmente donde se presenta un tipo de flujo subcrítico siendo ésta colocada en un canal, correntómetro el cual es un equipo que sirve para medir velocidades de forma indirecta en las secciones transversales de los canales, método volumétrico que sirve para medir caudales pequeños, asimismo se tiene el método con flotadores, éste último es la que se detallará en el presente capítulo, debido a que se aplicará en el experimento para la obtención de los caudales.

3.1.1. Método aforo con flotador

Es un método bastante práctico, sencillo y rápido debido a que no requiere de algún instrumento de medición o la construcción de alguna estructura especial, se aplica cuando en un canal se presentan tirantes y velocidades bajas, de lo contrario al aplicar otros tipos de medición con instrumentos variarían o no surgirían adecuados, es decir la dirección y/o magnitud del flujo se alteraría. En caso de los ríos se aplica cuando existe excesiva velocidad, en las máximas avenidas o crecidas, debido a que si se usara algún equipo de medición puede ser afectado por la corriente.

El método de aforo con flotador mide velocidades superficiales de un canal o río en la unidad del tiempo y tiene una aproximación de medición adecuada, sin embargo el método no se puede aplicar en corrientes turbulentas por los cambios bruscos en el flujo, que darían resultados inadecuados.

Una de sus ventajas más importantes es que mide de manera directa la velocidad superficial y la desventaja es que puede haber imprecisiones, por ser un poco complicado el control de su trayectoria, especialmente en los ríos grandes.

3.1.2. Selección de la distancia de aforo

Para la medición del agua o realizar el aforo con flotadores, según el Manual de Hidrometría del Ministerio de agricultura, la Autoridad Nacional del Agua (ANA), y otras investigaciones el tramo adecuado para ejecutar un aforo debe contar con las siguientes características:

- El tramo debe ser recto, en canales abiertos o cauces pequeños la distancia será de aproximadamente de 5 a 10 metros y que la distancia sea un número entero para mayor facilidad de cálculo.
- La sección del tramo debe presentar un flujo calmado, es decir que no presente turbulencias, que tenga una pendiente suave y constante.
- En los ríos, el tramo seleccionado debe ser recto y libre de presencia de malezas, bolones u algún otro obstáculo que impida tener precisión en las mediciones, asimismo, aguas arriba y aguas abajo la estación de aforo debe encontrarse libre de influencias como construcciones de presas, puentes u otros que afecten la medición.
- El tramo de cauce o distancia en un río debe ser entre 15 a 20 metros.

3.1.3. Procedimiento de medición de la velocidad

Para proceder a realizar la medición para la estimación de velocidad se selecciona un tramo del canal que sea lo más aproximado a un flujo uniforme, una distancia (L) donde se encuentre estable el flujo con una pendiente uniforme, teniendo la longitud establecida soltar un flotador la cual tendrá una forma de pelotita sea de material: tecnopor, plástico u otro que tenga la capacidad de flotar a los largo del flujo, al soltar el flotador cronometrar el tiempo que tarda en recorrer el tramo y llegar de un punto de inicio a otro punto de llegada a lo largo de la distancia (L) seleccionada en el canal, este último se realiza como mínimo cinco veces, según el Ministerio de Agricultura, del cual se determinará un tiempo promedio.

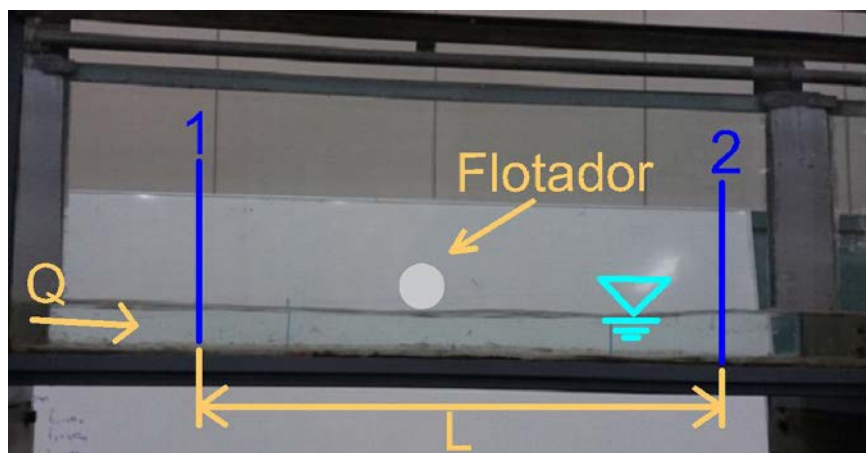


Figura N° 5: Método de aforo con flotador
Fuente: Adaptación propia

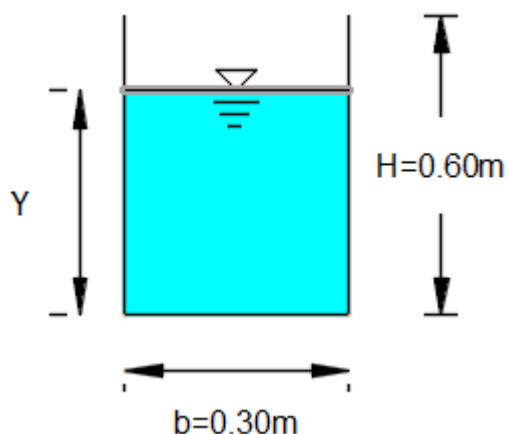


Figura N° 6: Sección del canal
Fuente: Elaboración propia

3.1.4. Determinación de la velocidad

Para determinar la velocidad se divide la distancia (L) del tramo aforado entre el tiempo transcurrido, éste valor se corrige mediante un factor empírico de corrección debido a que ésta es una velocidad superficial aproximado, lo ideal es contar con una velocidad media, velocidad representativa de un flujo, lo cual no es tan sencillo conocer en la práctica, por ello se tiene y obtiene según Ven Te Chow (1994) “midiendo la velocidad a 0.6 o 2/3 de la profundidad o tirante” (p.27). Es decir 60% de la profundidad siempre y cuando la profundidad es menor a 2 pies, es decir 0.6m. Y cuando la profundidad es mayor a 2 pies la velocidad se mide a 0.2 y 0.8 de la profundidad, luego promediar las dos velocidades para obtener la velocidad media de la sección vertical, ésta es una práctica estándar del U.S. Geological Survey. O también multiplicar la velocidad superficial obtenida por un factor de corrección dependiendo del tipo de canal, lechos y material. Para lo cual se cuenta con la tabla N°4 factores empíricos de corrección.

Tabla N° 4: Factores empíricos de corrección (C)

Tipos de arroyo	Factor de corrección de velocidad (C)	Precisión
Canal rectangular con lados y lechos lisos	0.85	Buena
Río profundo y lento	0.75	Razonable
Arroyo pequeño de lecho parejo y liso	0.65	Mala
Arroyo rápido y turbulento	0.45	Muy mala
Arroyo muy poco profundo de lecho rocoso	0.25	Muy mala

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA)

3.2. Calibración

Es el método que más se utiliza, es un método por el cual se obtienen valores o parámetros de un modelo con los cuales se ajusta de manera óptima a los valores de patrones ya especificados en equipos o instrumentos de medición en el inicio de su operatividad.

La calibración se requiere realizar para saber qué tan preciso o aproximado se encuentra el equipo al brindar resultados de mediciones en algún tipo de experimento a ejecutar. Ello debido a que con el tiempo de uso, el mal funcionamiento de algún componente, los cambios de temperatura, hacen que las mediciones, experimentos o ensayos inicien a perder el grado de confianza.

3.2.1. Curvas de calibración

Es la curva de calibración de caudales o llamado también curva de descarga que se obtiene a partir de una serie de aforos, comprendido entre el caudal y los tirantes o niveles de agua en un tramo de aforo determinado.

3.2.2. Medidas de bondad de ajuste

La calibración de modelos se enfoca en criterio de aproximación, para lo cual se apoya en medidas de bondad de ajuste, las que cuentan con diferentes ecuaciones como: logarítmicas, exponenciales, potencial, lineal, etc. De éstas ecuaciones se eligen las que más se ajustan a los valores originales, por ello que el desarrollo de la calibración es determinante y muy importante para ajustar parámetros físicos y permitan tener mejor explicación y seguridad en los resultados.

Para la presente investigación la medida de bondad de ajuste se tomará la ecuación potencial, debido a que la ecuación se aproxima a la forma de curva de calibración deseada y esperada, asimismo el grado de correlación (R) es alto, es decir se aproxima al 100%, por lo que a continuación se mostrará el desarrollo de dicha ecuación para los cálculos correspondientes:

$$Y = \alpha Q^{\beta} \quad (21)$$

Donde:

Y: Tirante hidráulico (m)

Q: Caudal (m^3/s) o (Lt/s)

α, β : Coeficientes a determinar

Desarrollando la ecuación, tomando logaritmo, se tiene:

$$\log Y = \log \alpha + \log Q^\beta$$

Linealizando:

$$\log Y = \log \alpha + \beta \log Q$$

a continuación se denota:

$$\log Y = Y'$$

$$\log \alpha = \alpha'$$

$$\log Q = Q'$$

Entonces se tendrá un modelo de regresión lineal de la siguiente forma:

$$Y' = \alpha' + \beta Q' \quad (22)$$

De ésta nueva ecuación se requiere determinar los valores de α' y β , para ello se utiliza el método del mínimo cuadrático, método que permite adaptar una línea recta óptima a cierta muestra de datos u observaciones anotadas y denotadas por las variables Q e Y.

Para obtener el valor de β se aplica la siguiente expresión que representa al valor de la pendiente de una recta:

$$\beta = \frac{n(\sum Q'Y') - (\sum Q')(\sum Y')}{n \sum Q'^2 - (\sum Q')^2} \quad (23)$$

O también de la forma siguiente:

$$\beta = \frac{n(\sum Q'Y') - (\sum Q')(\sum Y')}{n \sum Y'^2 - (\sum Y')^2} \quad (24)$$

Donde:

n: es el número de datos

Este procedimiento se desarrolla con la finalidad de obtener una ecuación directa para determinar valores de caudales, como se mostrará en los cálculos en adelante.

Y para determinar el valor de α' despejamos de la ecuación (22) y se obtiene:

$$\alpha' = Y' - \beta Q' \quad (25)$$

Y finalmente α se obtendrá igualando el resultado de α' con $\log \alpha$ como en la denotación mostrada anteriormente, es decir se transforma como:

$$\alpha = 10^{\alpha'} \quad (26)$$

De ésta manera se estará obteniendo la ecuación potencial antes mencionada con los valores respectivos de α y β , donde al asignar cualquier valor del tirante hidráulico (Y), se podrá obtener el valor de caudal (Q) respectivo para el dato de (Y) dado.

3.2.3. Error de medida

El error de medida según las normas indica que es la diferencia de entre los valores medidos obtenidos experimentalmente y valores de referencia, los valores de referencia pueden ser teóricos, adquiridos mediante calibración o el valor promedio de un conjunto de datos. Por lo que en los resultados de conclusión se deben tener el debido cuidado dependiendo de la cantidad o conjunto de datos a compararse.

3.3. Datos y resultados teóricos del canal de pendiente variable del laboratorio

3.3.1. Reconocimiento y descripción general del laboratorio

En la fecha sábado 21 de Abril del presente, se realizó el reconocimiento respectivo del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Ricardo Palma, donde se pudo observar algunas falencias del canal de pendiente variable, equipo que se utilizó para los experimentos correspondientes y necesarios para el desarrollo de la tesis.

En el que principalmente se observó el no funcionamiento adecuado de uno de los componentes principales del canal como es el rotámetro, instrumento que brinda las lecturas del caudal o descarga, dato de suma importancia para los experimentos. Tema por el que se desarrolló la calibración correspondiente mediante el aforo por el método

de flotadores por ser el más accesible, rápido y sencillo, asimismo se recabó los datos geométricos del equipo con la finalidad de desarrollar una tabla de referencia teórica con las ecuaciones teóricas que se cuentan para determinar caudales y con ello realizar comparaciones y saber los resultados adecuados.

3.3.2. Datos y resultados teóricos para el canal de pendiente variable

Teniendo en cuenta la geometría del canal, el material, la tabla de coeficientes de rugosidades de Manning mostrada en el capítulo II, en las tablas N° 1 y 2, etc. Se obtuvo datos importantes para la calibración del canal del laboratorio, se determinó caudales para profundidades asumidas, hasta un tirante de 20 cm, no más debido a que el caudal máximo que circula el canal del laboratorio es un aproximado de 45 L/s y al hallar hasta 20 cm de tirante para las pendientes definidas en la ejecución de los experimentos, que son de 0.25° , 0.5° y 1° , los resultados son: para el primero un caudal de 78.99 L/s, para el segundo 111.71 L/s y por último una carga de 157.99 L/s, los cuales se muestran en las tablas N°5,6 y 7 cada uno con sus respectivas curvas de caudales, mostrados en las figuras N°7, 8 y 9, curvas a los que los experimentos deben ajustarse.

Tabla N° 5: Caudales determinados con datos de geometría del canal sin estructura (alcantarilla) para pendiente S=0.25°

Pendiente S(°)	Ancho canal	Tirante	Coef. Rugosidad Manning		Perímetro hidráulico			Rugosidad equivalente	Área hidráulico	Radio hidráulico	Pendiente	Caudal		Velocidad
			Vidrio (Paredes)	Metal (base)	P ₁ =2Y	P ₂ =b	P _T =2Y+b	$n_{eq}=(\sum p_i n_i^{3/2}/P_i)^{2/3}$	A _h =bY	Rh=A/P		Q=1/n*A*R ^{2/3} S ^{1/2}	V=Q/A	
N°	b(m)	Y(m)	n ₁	n ₂	P ₁ (m)	P ₂ (m)	P _T (m)	n _{Eq}	A _h (m ²)	R _h (m)	S(m)	Q (m3/s)	Q (L/s)	V(m/s)
1	0.3	0.01	0.010	0.012	0.02	0.3	0.32	0.01162	0.003	0.009	0.00436	0.00076	0.76	0.253
2	0.3	0.02	0.010	0.012	0.04	0.3	0.34	0.01129	0.006	0.018	0.00436	0.00238	2.38	0.397
3	0.3	0.03	0.010	0.012	0.06	0.3	0.36	0.01101	0.009	0.025	0.00436	0.00462	4.62	0.513
4	0.3	0.04	0.010	0.012	0.08	0.3	0.38	0.01077	0.012	0.032	0.00436	0.00735	7.35	0.613
5	0.3	0.05	0.010	0.012	0.1	0.3	0.4	0.01056	0.015	0.038	0.00436	0.01051	10.51	0.700
6	0.3	0.06	0.010	0.012	0.12	0.3	0.42	0.01039	0.018	0.043	0.00436	0.01402	14.02	0.779
7	0.3	0.07	0.010	0.012	0.14	0.3	0.44	0.01024	0.021	0.048	0.00436	0.01782	17.82	0.849
8	0.3	0.08	0.010	0.012	0.16	0.3	0.46	0.01012	0.024	0.052	0.00436	0.02188	21.88	0.912
9	0.3	0.09	0.010	0.012	0.18	0.3	0.48	0.01001	0.027	0.056	0.00436	0.02616	26.16	0.969
10	0.3	0.10	0.010	0.012	0.2	0.3	0.5	0.00992	0.030	0.060	0.00436	0.03060	30.60	1.020
11	0.3	0.11	0.010	0.012	0.22	0.3	0.52	0.00986	0.033	0.063	0.00436	0.03519	35.19	1.066
12	0.3	0.12	0.010	0.012	0.24	0.3	0.54	0.00980	0.036	0.067	0.00436	0.03989	39.89	1.108
13	0.3	0.13	0.010	0.012	0.26	0.3	0.56	0.00976	0.039	0.070	0.00436	0.04468	44.68	1.146
14	0.3	0.14	0.010	0.012	0.28	0.3	0.58	0.00973	0.042	0.072	0.00436	0.04953	49.53	1.179
15	0.3	0.15	0.010	0.012	0.3	0.3	0.6	0.00971	0.045	0.075	0.00436	0.05443	54.43	1.209
16	0.3	0.16	0.010	0.012	0.32	0.3	0.62	0.00970	0.048	0.077	0.00436	0.05935	59.35	1.236
17	0.3	0.17	0.010	0.012	0.34	0.3	0.64	0.00971	0.051	0.080	0.00436	0.06428	64.28	1.260
18	0.3	0.18	0.010	0.012	0.36	0.3	0.66	0.00971	0.054	0.082	0.00436	0.06920	69.20	1.281
19	0.3	0.19	0.010	0.012	0.38	0.3	0.68	0.00973	0.057	0.084	0.00436	0.07411	74.11	1.300
20	0.3	0.20	0.010	0.012	0.4	0.3	0.7	0.00975	0.060	0.086	0.00436	0.07899	78.99	1.316

Fuente: Elaboración propia

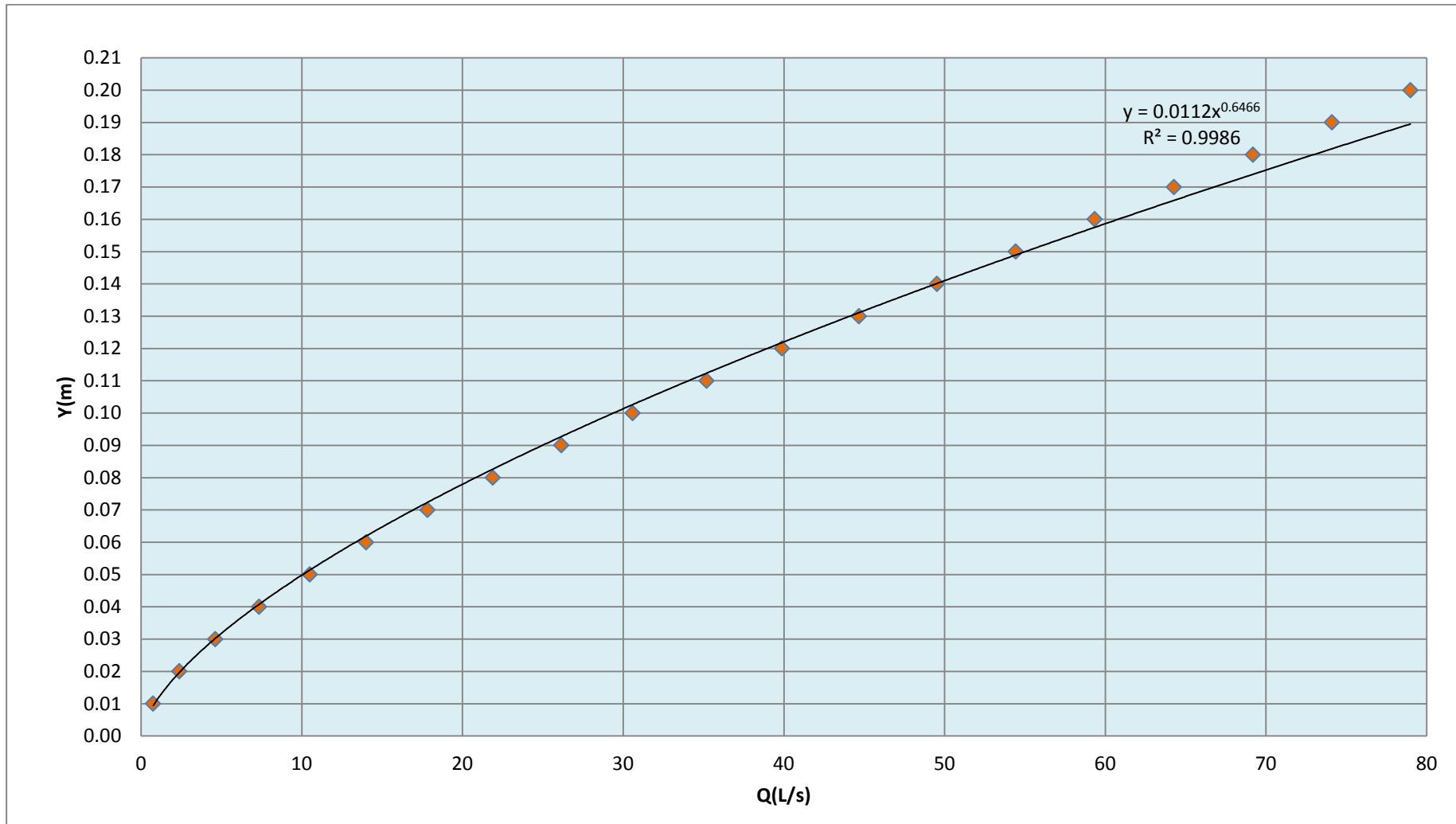


Figura N° 7: Curva de caudales determinados para pendiente $S=0.25^\circ$
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 6: Caudales determinados con datos de geometría del canal sin estructura (alcantarilla) para pendiente S=0.5°

Pendiente S(°)	Ancho canal	Tirante	Coef. Rugosidad Manning		Perímetro hidráulico			Rugosidad equivalente	Área hidráulico	Radio hidráulico	Pendiente	Caudal		Velocidad
			Vidrio (Paredes)	Metal (base)	P ₁ =2Y	P ₂ =b	P _T =2Y+b	$n_{eq}=(\sum p_i n_i^{3/2}/P_T)^{2/3}$	A _h =bY	Rh=A/P		Q=1/n*A*R ^{2/3} S ^{1/2}	V=Q/A	
N°	b(m)	Y(m)	n ₁	n ₂	P ₁ (m)	P ₂ (m)	P _T (m)	n _{Eq}	A _h (m ²)	R _h (m)	S(m)	Q (m3/s)	Q (L/s)	V(m/s)
1	0.3	0.01	0.010	0.012	0.02	0.3	0.32	0.01162	0.003	0.009	0.00873	0.00107	1.07	0.357
2	0.3	0.02	0.010	0.012	0.04	0.3	0.34	0.01129	0.006	0.018	0.00873	0.00336	3.36	0.561
3	0.3	0.03	0.010	0.012	0.06	0.3	0.36	0.01101	0.009	0.025	0.00873	0.00653	6.53	0.725
4	0.3	0.04	0.010	0.012	0.08	0.3	0.38	0.01077	0.012	0.032	0.00873	0.01040	10.40	0.867
5	0.3	0.05	0.010	0.012	0.1	0.3	0.4	0.01056	0.015	0.038	0.00873	0.01486	14.86	0.991
6	0.3	0.06	0.010	0.012	0.12	0.3	0.42	0.01039	0.018	0.043	0.00873	0.01982	19.82	1.101
7	0.3	0.07	0.010	0.012	0.14	0.3	0.44	0.01024	0.021	0.048	0.00873	0.02521	25.21	1.200
8	0.3	0.08	0.010	0.012	0.16	0.3	0.46	0.01012	0.024	0.052	0.00873	0.03095	30.95	1.290
9	0.3	0.09	0.010	0.012	0.18	0.3	0.48	0.01001	0.027	0.056	0.00873	0.03699	36.99	1.370
10	0.3	0.10	0.010	0.012	0.2	0.3	0.5	0.00992	0.030	0.060	0.00873	0.04328	43.28	1.443
11	0.3	0.11	0.010	0.012	0.22	0.3	0.52	0.00986	0.033	0.063	0.00873	0.04977	49.77	1.508
12	0.3	0.12	0.010	0.012	0.24	0.3	0.54	0.00980	0.036	0.067	0.00873	0.05642	56.42	1.567
13	0.3	0.13	0.010	0.012	0.26	0.3	0.56	0.00976	0.039	0.070	0.00873	0.06319	63.19	1.620
14	0.3	0.14	0.010	0.012	0.28	0.3	0.58	0.00973	0.042	0.072	0.00873	0.07005	70.05	1.668
15	0.3	0.15	0.010	0.012	0.3	0.3	0.6	0.00971	0.045	0.075	0.00873	0.07697	76.97	1.710
16	0.3	0.16	0.010	0.012	0.32	0.3	0.62	0.00970	0.048	0.077	0.00873	0.08393	83.93	1.749
17	0.3	0.17	0.010	0.012	0.34	0.3	0.64	0.00971	0.051	0.080	0.00873	0.09090	90.90	1.782
18	0.3	0.18	0.010	0.012	0.36	0.3	0.66	0.00971	0.054	0.082	0.00873	0.09786	97.86	1.812
19	0.3	0.19	0.010	0.012	0.38	0.3	0.68	0.00973	0.057	0.084	0.00873	0.10481	104.81	1.839
20	0.3	0.20	0.010	0.012	0.4	0.3	0.7	0.00975	0.060	0.086	0.00873	0.11171	111.71	1.862

Fuente: Elaboración propia

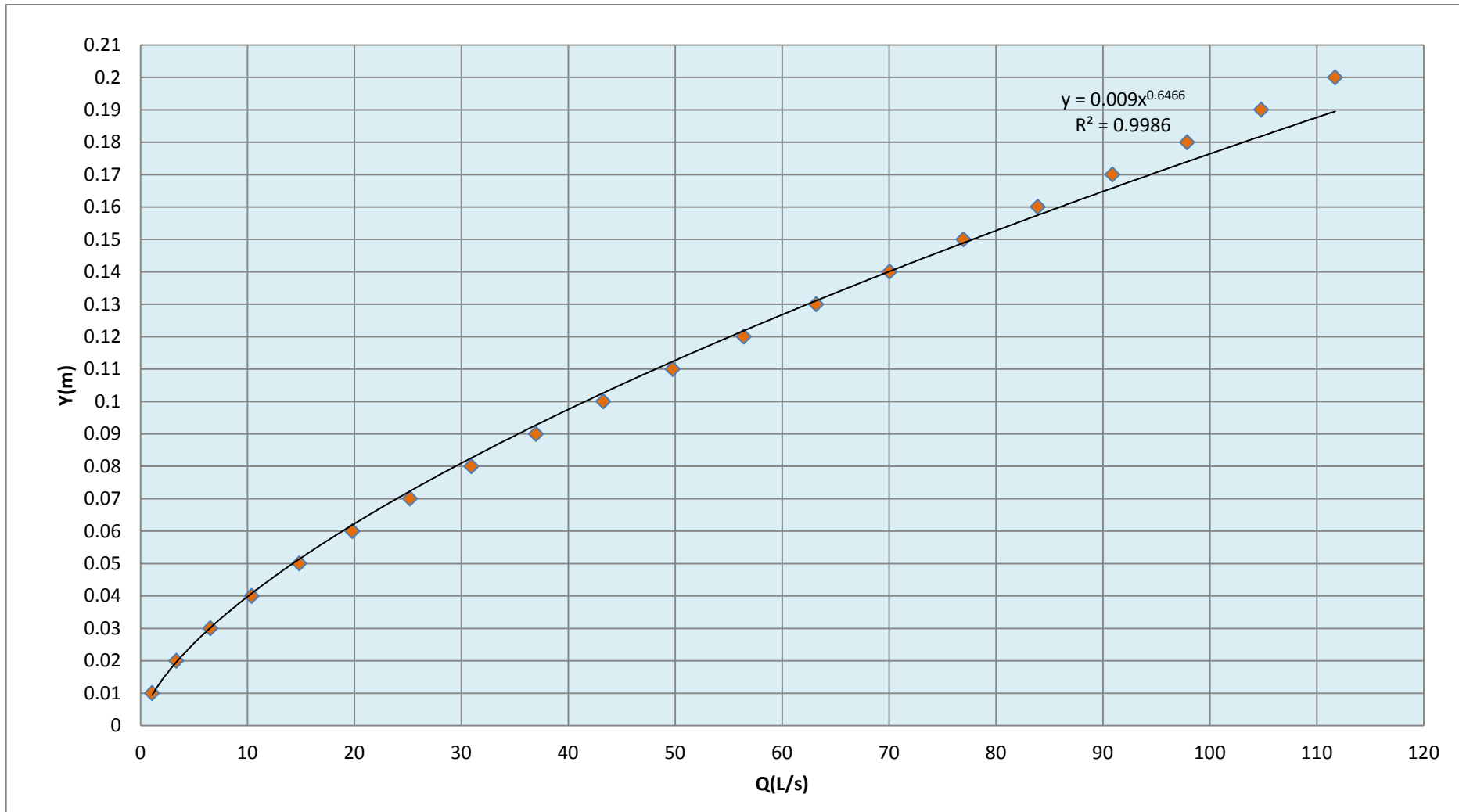


Figura N° 8: Curva de caudales determinados para $S=0.5^\circ$
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 7: Caudales determinados con datos de geometría del canal sin estructura (alcantarilla) para pendiente S=1°

Pendiente S(°)	Ancho canal	Tirante	Coef. Rugosidad Manning		Perímetro hidráulico			Rugosidad equivalente	Área hidráulico	Radio hidráulico	Pendiente	Caudal		Velocidad
			Vidrio (Paredes)	Metal (base)	P ₁ =2Y	P ₂ =b	P _T =2Y+b	$n_{eq}=(\sum p_i n_i^{3/2}/P_T)^{2/3}$	A _h =bY	Rh=A/P		S=tg(°)=ΔZ/L	Q=1/n*A*R ^{2/3} S ^{1/2}	
N°	b(m)	Y(m)	n ₁	n ₂	P ₁ (m)	P ₂ (m)	P _T (m)	n _{Eq}	A _h (m ²)	R _h (m)	S(m)	Q (m3/s)	Q (L/s)	V(m/s)
1	0.3	0.01	0.010	0.012	0.02	0.3	0.32	0.01162	0.003	0.009	0.01746	0.00152	1.52	0.506
2	0.3	0.02	0.010	0.012	0.04	0.3	0.34	0.01129	0.006	0.018	0.01746	0.00476	4.76	0.793
3	0.3	0.03	0.010	0.012	0.06	0.3	0.36	0.01101	0.009	0.025	0.01746	0.00923	9.23	1.026
4	0.3	0.04	0.010	0.012	0.08	0.3	0.38	0.01077	0.012	0.032	0.01746	0.01471	14.71	1.226
5	0.3	0.05	0.010	0.012	0.1	0.3	0.4	0.01056	0.015	0.038	0.01746	0.02102	21.02	1.401
6	0.3	0.06	0.010	0.012	0.12	0.3	0.42	0.01039	0.018	0.043	0.01746	0.02803	28.03	1.557
7	0.3	0.07	0.010	0.012	0.14	0.3	0.44	0.01024	0.021	0.048	0.01746	0.03565	35.65	1.698
8	0.3	0.08	0.010	0.012	0.16	0.3	0.46	0.01012	0.024	0.052	0.01746	0.04377	43.77	1.824
9	0.3	0.09	0.010	0.012	0.18	0.3	0.48	0.01001	0.027	0.056	0.01746	0.05231	52.31	1.938
10	0.3	0.10	0.010	0.012	0.2	0.3	0.5	0.00992	0.030	0.060	0.01746	0.06121	61.21	2.040
11	0.3	0.11	0.010	0.012	0.22	0.3	0.52	0.00986	0.033	0.063	0.01746	0.07038	70.38	2.133
12	0.3	0.12	0.010	0.012	0.24	0.3	0.54	0.00980	0.036	0.067	0.01746	0.07979	79.79	2.216
13	0.3	0.13	0.010	0.012	0.26	0.3	0.56	0.00976	0.039	0.070	0.01746	0.08936	89.36	2.291
14	0.3	0.14	0.010	0.012	0.28	0.3	0.58	0.00973	0.042	0.072	0.01746	0.09907	99.07	2.359
15	0.3	0.15	0.010	0.012	0.3	0.3	0.6	0.00971	0.045	0.075	0.01746	0.10886	108.86	2.419
16	0.3	0.16	0.010	0.012	0.32	0.3	0.62	0.00970	0.048	0.077	0.01746	0.11870	118.70	2.473
17	0.3	0.17	0.010	0.012	0.34	0.3	0.64	0.00971	0.051	0.080	0.01746	0.12856	128.56	2.521
18	0.3	0.18	0.010	0.012	0.36	0.3	0.66	0.00971	0.054	0.082	0.01746	0.13841	138.41	2.563
19	0.3	0.19	0.010	0.012	0.38	0.3	0.68	0.00973	0.057	0.084	0.01746	0.14822	148.22	2.600
20	0.3	0.20	0.010	0.012	0.4	0.3	0.7	0.00975	0.060	0.086	0.01746	0.15799	157.99	2.633

Fuente: Elaboración propia

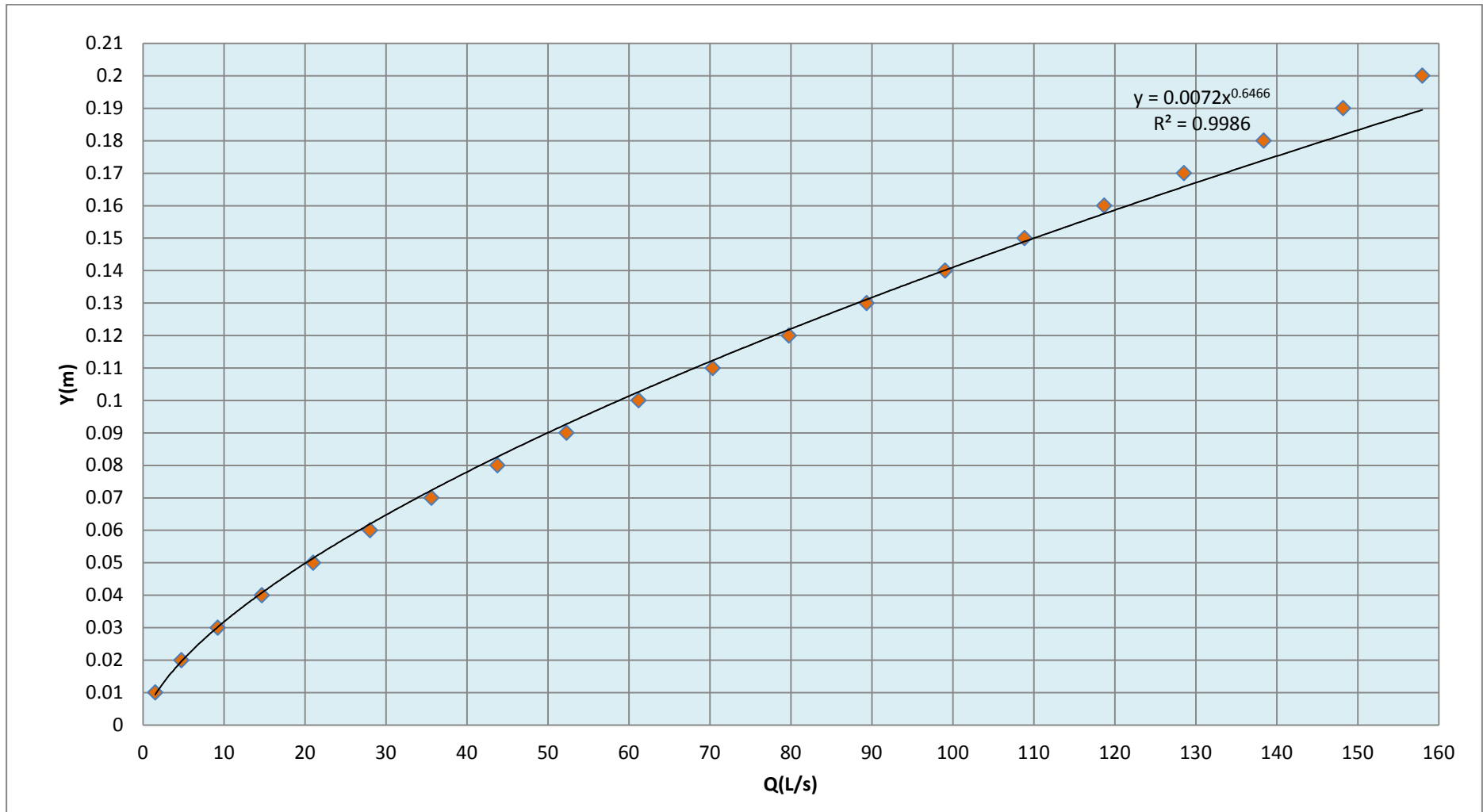


Figura N° 9: Curva de caudales determinados para pendiente $S=1^\circ$
 Fuente: Elaboración propia

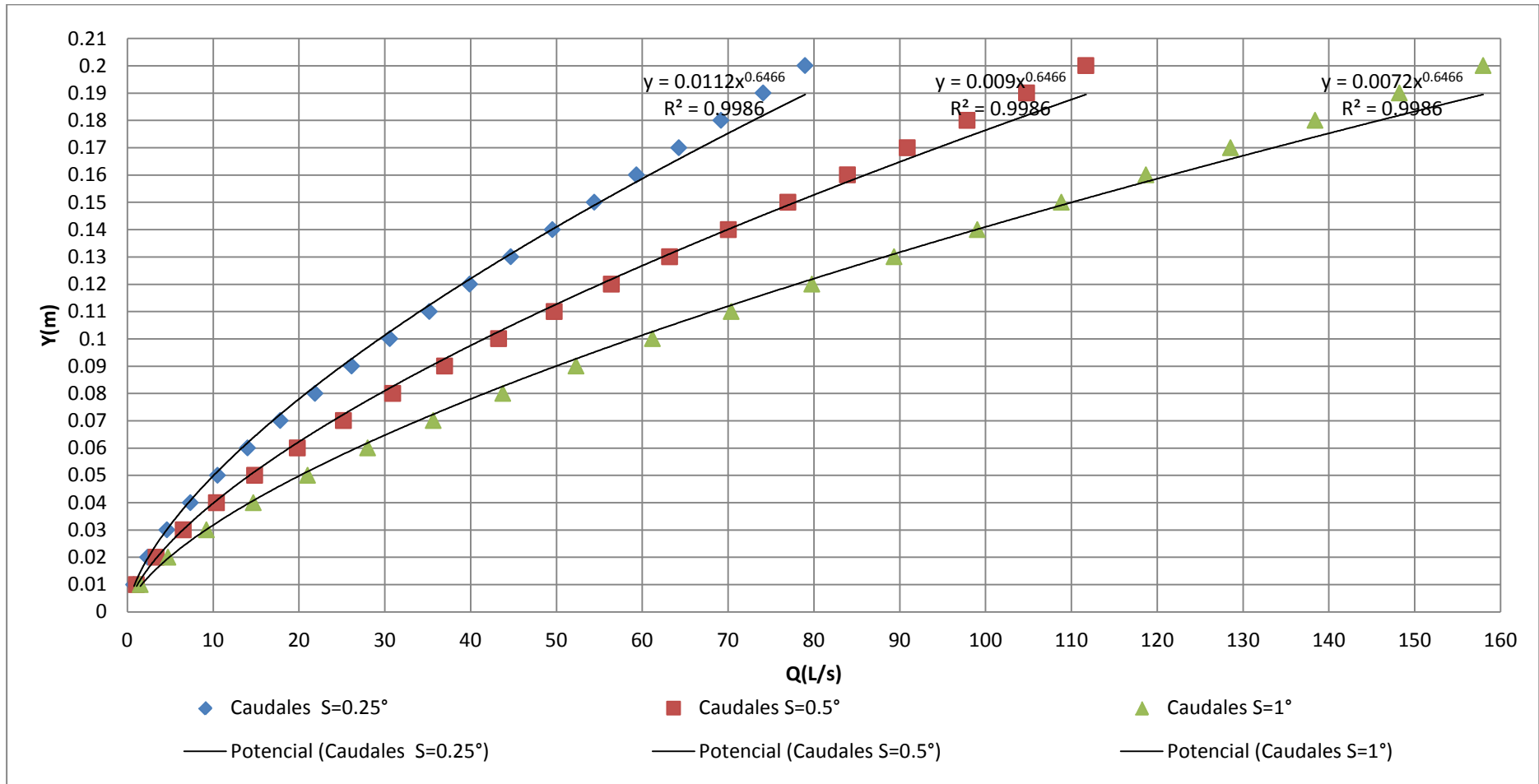


Figura N° 10: Presentación de las tres curvas de caudales determinadas para las pendientes S=0.25°, 0.5° y 1°
 Fuente: Elaboración propia

3.4. Calibración de aforo con flotador y obtención de resultados experimentales

Para los experimentos se tomó una longitud de aforo de $L=3.0$ m, dentro de los 15 m de longitud que cuenta el canal y una sección $b=0.3$ m, tramo que fue ubicada en la zona donde el flujo se encuentra más estable o se aproxima a ser un flujo uniforme, cabe mencionar que el canal del laboratorio garantiza un flujo prácticamente uniforme para los experimentos.

Así mismo para la determinación del Número de Froude, se usó una aceleración de la gravedad de 9.81 m/s².

La calibración se efectuó para tres pendientes (S), que son graduados en el canal, las cuales son:

$$S = 0.25^\circ = 0.00436 \text{ m/m}$$

$$S = 0.5^\circ = 0.00873 \text{ m/m}$$

$$S = 1^\circ = 0.01746 \text{ m/m}$$

3.4.1. Primer conjunto de datos experimentales de aforos

Los primeros tres experimentos fueron tomadas en la fecha 28 de abril.

3.4.1.1. Experimento de aforo N° 01

La tabla N°8 muestra datos del experimento para una pendiente de $S=0.25$ equivalente a $S=0.00436$ m/m.

Tabla N° 8: Datos obtenidos del experimento para pendiente $S=0.25^\circ$

Medición	Tirante hidráulico Y(m)							Tiempos de aforo t(s)					t _{prom.}
	N°	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	t1	t2	t3	t4	
1	0.079	0.076	0.082	0.085	0.088	0.086	0.088	3.76	3.79	3.9	3.62	3.69	3.75
2	0.100	0.099	0.101	0.104	0.108	0.106	0.112	3.16	3.25	3.26	3.52	3.29	3.30
3	0.115	0.114	0.119	0.120	0.125	0.119	0.115	3.23	3.58	3.33	2.98	3.25	3.27
4	0.124	0.130	0.129	0.133	0.130	0.128	0.127	3.01	2.97	3.08	3.24	2.89	3.04
5	0.133	0.134	0.129	0.128	0.130	0.129	0.134	3.09	2.92	2.95	3.09	2.91	2.99

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla N°9, se determina la velocidad superficial a partir de la longitud de aforo y tiempo promedio, considerando la velocidad superficial como velocidad media debido a que las profundidades hidráulicas en el canal son pequeñas, asimismo el área

hidráulico teniendo como ancho de canal $b = 0.30$ m y la medición de los tirantes (Y), por lo que a partir de ellos se obtienen los caudales respectivos mediante la ecuación de continuidad.

Tabla N° 9: Resultados de velocidad y caudal para pendiente $S=0.25^\circ$

Medición	Tiempo promedio	Tirante promedio	Velocidad superficial $V_s=L/tp$	Área hidráulica	Caudal	
				$A_h=bY$	$Q=VA$	
N°	$t_p(s)$	Y(m)	$V_s(m/s)$	$A_h(m^2)$	Q (m3/s)	Q (L/s)
1	3.75	0.083	0.80	0.0250	0.0200	20.01
2	3.30	0.104	0.91	0.0313	0.0285	28.48
3	3.27	0.118	0.92	0.0354	0.0325	32.48
4	3.04	0.129	0.99	0.0386	0.0381	38.13
5	2.99	0.131	1.00	0.0393	0.0394	39.41

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°10 se determinó la rugosidad del canal de pendiente variable, canal de base de material metal y las paredes de fibra de vidrio, siendo ésta última como influyente mínima en el movimiento del flujo, el material que predomina en el canal es el metal que se encuentra en la base por ser abarcado en todo su ancho por el fluido y como se puede observar en los resultados, los valores de los coeficientes de rugosidad oscilan entre 0.011 y 0.012, por lo que de acuerdo a la tabla N°1 de valores de coeficiente de rugosidad de Manning (n), para metal liso pintado el coeficiente mínimo es considerado 0.012 y lo normal 0.013. Por lo que se puede decir es cercano al valor mínimo. Asimismo en cuanto al resultado de número de Froude el régimen de flujo es subcrítico, entonces a una pendiente de $S=0.25^\circ$ el flujo es calmado.

Tabla N° 10: Resultados de coeficiente “n” y N° de Froude para pendiente $S=0.25^\circ$

Medición	Per.Hidr. $P_h=2Y+b$	Rad.Hidr. $R_h=A/P$	Rugosidad $n=(R^{2/3} \times S^{1/2})/V$	N° de Froude $Fr = V_m/(gY)^{1/2}$	Régimen del
N°	$P_h(m)$	$R_h(m)$	n	Fr	flujo
1	0.47	0.05	0.012	0.884	Subcrítico
2	0.51	0.06	0.011	0.900	Subcrítico
3	0.54	0.07	0.012	0.851	Subcrítico
4	0.56	0.07	0.011	0.879	Subcrítico
5	0.56	0.07	0.011	0.884	Subcrítico

Fuente: Elaboración propia

La tabla N°11 muestra el proceso de los cálculos para la calibración de datos y resultados obtenidos en el experimento, para el cual se aplica las ecuaciones que se

encuentran en el punto 3.2.2. Medidas de bondad de ajuste, obteniendo como resultado la ecuación de caudal calibrado, ecuación que servirá para obtener caudales a cualquier profundidad hidráulica dada en el canal del laboratorio.

Tabla N° 11: Cálculo de calibración para pendiente S=0.25°

Y(m)	Q (L/s)	Y'=logY	Q'=logQ	Q' x Y'	(Y')^2
0.083	20.01	-1.07869	1.30129	-1.40369	1.16356
0.104	28.48	-0.98178	1.45448	-1.42797	0.96388
0.118	32.48	-0.92759	1.51157	-1.40212	0.86043
0.129	38.13	-0.89037	1.58128	-1.40793	0.79276
0.131	39.41	-0.88273	1.59555	-1.40844	0.77921
Σ		-4.76115	7.44418	-7.05015	4.55985

Fuente: Elaboración propia

$$Q=774.99Y^{1.4707}$$

La figura N°11 muestra la curva de calibración y la ecuación determinada por el software Microsoft Excel, con valor de correlación cercano a 1, ecuación que verifica el resultado de la tabla N°11 y su respectiva ecuación.

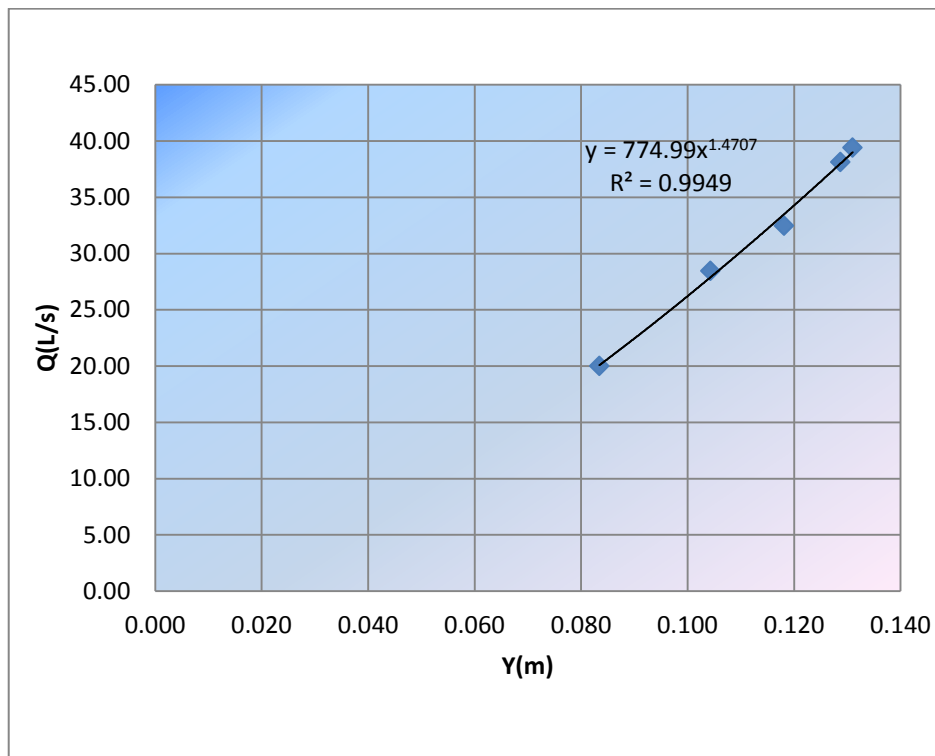


Figura N° 11: Curva de calibración para pendiente S=0.25°

Fuente: Elaboración propia

Con la ecuación calibrada determinada en la figura N°11, se obtiene en la tabla N°12 caudales para profundidades desde 1cm hasta 20 cm, asimismo para obtener un factor

de corrección (λ) que permita la obtención del caudal experimental de forma directa, se desarrolló la razón entre caudales del experimento y los determinados con la ecuación de Manning (teórico), las mismas que se encuentran en la tabla N°5, entonces se detalla:

$$Q_{experimental} = \lambda Q_{teórico}$$

Calculando, el resultado de caudales experimentales a partir de los teóricos con el factor λ , brindan datos cercanos, pero no los esperados a los valores de caudal obtenidos con la ecuación de calibración, por lo que se toma otra alternativa el de aplicar una relación entre caudales experimentales calibrados y teóricos como se muestra en la figura N°12 y su respectiva ecuación polinomial donde:

x = representa al caudal teórico obtenido con la ecuación de Manning

y = representa al caudal experimental calibrado.

Es así que con la ecuación polinomial se determina valores de caudales muy cercanos, casi semejantes a los valores del caudal experimental, por el que ésta ecuación es la que se aplicaría para determinar el caudal experimental directamente dada una profundidad hidráulica, siempre y cuando este dato sea mayor o igual a 6cm, para menores a este dato se aplicará el factor λ .

En la figura N°13 se observa la comparación de los resultados de caudales teóricos obtenidos en la tabla N°5 y los resultados de los caudales hallados con la ecuación de calibración en la tabla N°12, lo que indica que los caudales experimentales a medida que se van determinando a partir de tirantes de 3cm, éstas disminuyen con respecto al caudal teórico, lo que en principio la curvas deberían resultar iguales. Sin embargo podría afirmarse que ello se debe a la determinación de dichos caudales teóricos teniendo en cuenta solo la geometría del canal y aplicación de la ecuación de Manning, como también la sensibilidad en la medición experimental.

Tabla N° 12: Resultado de factor de corrección y ecuación para la obtención de caudal experimental a partir del teórico para pendiente S=0.25°

Caudales con ecuación calibrada (experimental)		Caudales determinados con la ecuación de Manning (teórico)		Razón entre caudales	$\lambda \times Q_t$	Ecuación polinomial
Q _{exp.c.} (L/s)	Y(m)	Q _t (L/s)	Y(m)	Q _{exp.c.} /Q _t	Q (L/s)	Q (L/s)
0.89	0.01	0.76	0.01	1.17	0.69	1.47
2.46	0.02	2.38	0.02	1.03	2.16	2.73
4.46	0.03	4.62	0.03	0.97	4.19	4.49
6.81	0.04	7.35	0.04	0.93	6.67	6.66
9.46	0.05	10.51	0.05	0.90	9.54	9.19
12.37	0.06	14.02	0.06	0.88	12.72	12.05
15.52	0.07	17.82	0.07	0.87	16.17	15.19
18.88	0.08	21.88	0.08	0.86	19.86	18.59
22.45	0.09	26.16	0.09	0.86	23.74	22.22
26.22	0.10	30.60	0.1	0.86	27.77	26.07
30.16	0.11	35.19	0.11	0.86	31.94	30.10
34.28	0.12	39.89	0.12	0.86	36.20	34.31
38.56	0.13	44.68	0.13	0.86	40.55	38.66
43.00	0.14	49.53	0.14	0.87	44.95	43.15
47.59	0.15	54.43	0.15	0.87	49.39	47.75
52.33	0.16	59.35	0.16	0.88	53.86	52.45
57.21	0.17	64.28	0.17	0.89	58.33	57.24
62.23	0.18	69.20	0.18	0.90	62.80	62.11
67.38	0.19	74.11	0.19	0.91	67.25	67.03
72.66	0.20	78.99	0.2	0.92	71.68	72.00
n =	20	Σ		18.15		
Factor de corrección (λ) = Σ/n				0.91		

Fuente: Elaboración propia

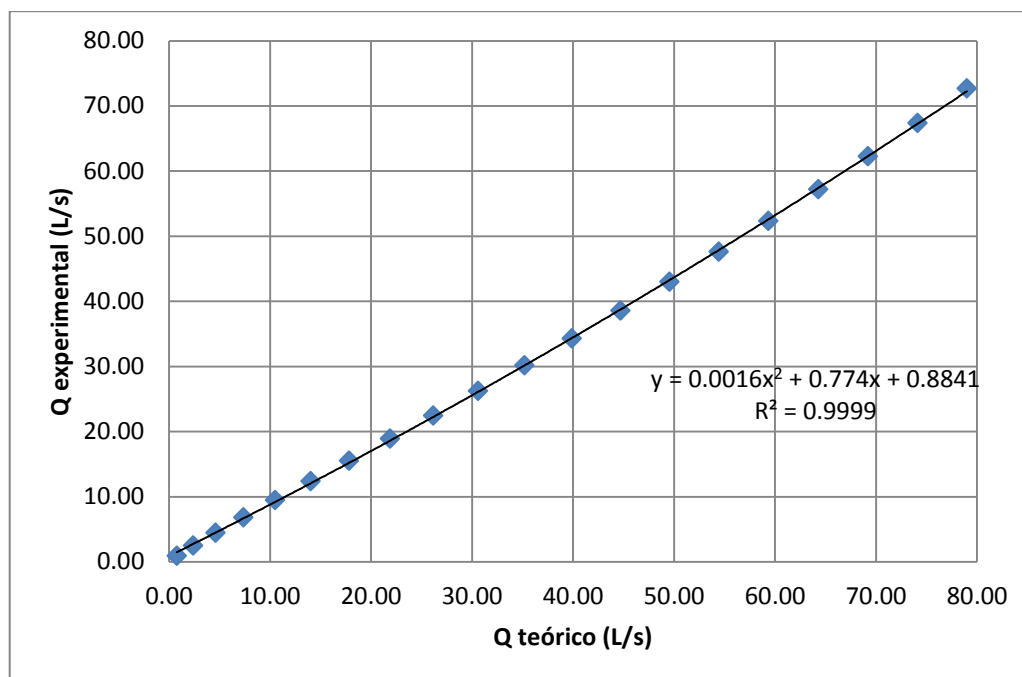


Figura N° 12: Relación entre caudal teórico y experimental calibrado para pendiente S=0.25°

Fuente: Elaboración propia

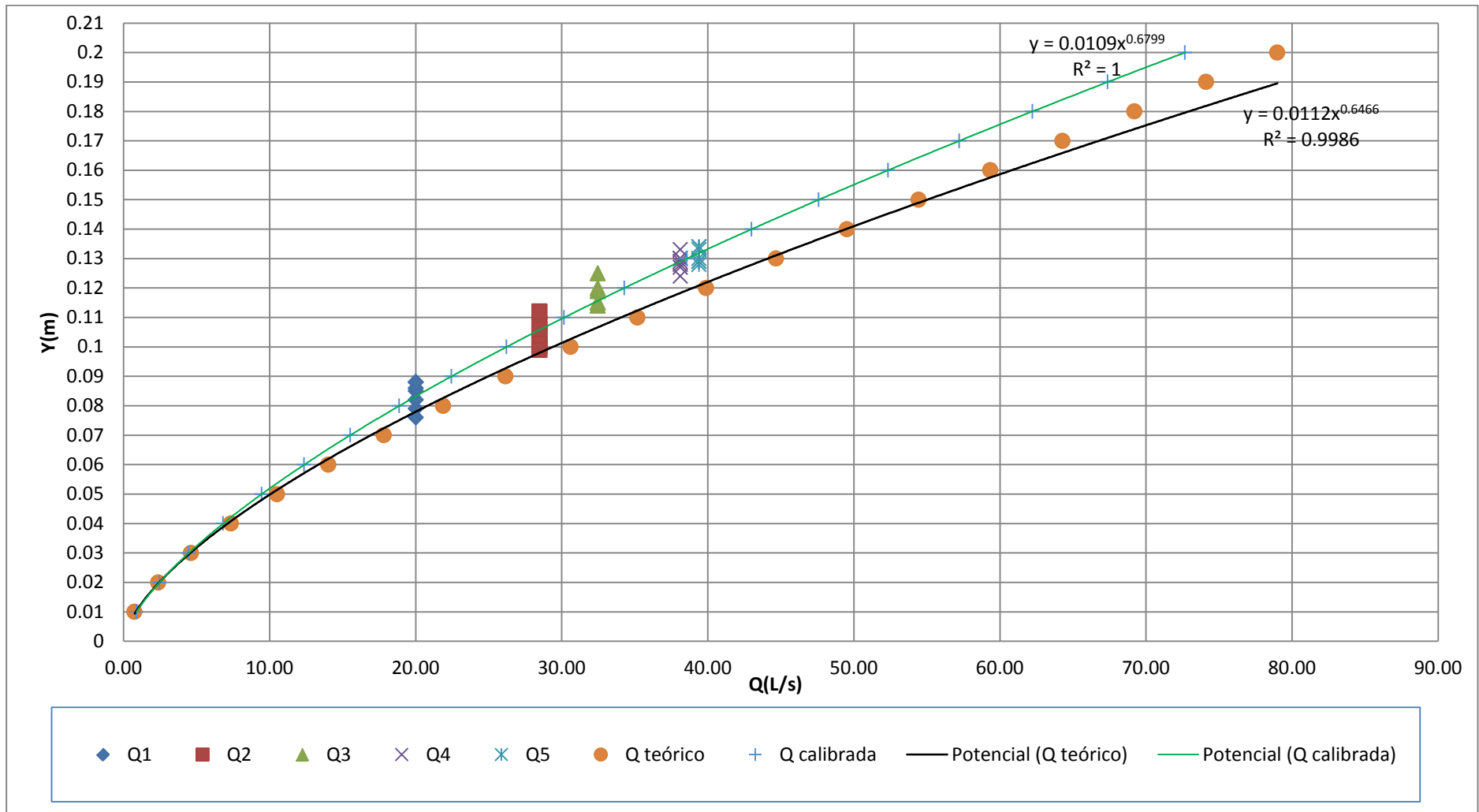


Figura N° 13: Comparación de curvas entre caudales teóricos y experimentales calibrados para pendiente $S=0.25^\circ$
 Fuente: Elaboración propia

3.4.1.2. Experimento de aforo N° 02

La tabla N°13 muestra datos del experimento para una pendiente de $S=0.5^\circ$ equivalente a $S=0.00873$ m/m.

Tabla N° 13: Datos obtenidos del experimento para pendiente $S=0.5^\circ$

Medición	Tirante hidráulico Y(m)							Tiempos de aforo t(s)					t _{prom.}
	N°	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	t1	t2	t3	t4	
1	0.041	0.042	0.044	0.043	0.043	0.042	0.042	2.11	2.23	2.28	2.20	2.10	2.184
2	0.065	0.069	0.063	0.060	0.055	0.057	0.061	1.98	1.84	2.00	1.94	1.97	1.946
3	0.070	0.076	0.074	0.069	0.067	0.071	0.070	1.78	1.92	2.00	1.84	1.82	1.872
4	0.083	0.084	0.073	0.071	0.076	0.075	0.069	1.79	1.89	1.91	1.86	1.77	1.844
5	0.085	0.085	0.074	0.076	0.08	0.077	0.071	1.85	1.89	1.93	1.92	1.78	1.874

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°14 se muestran las velocidades, las cuales son mayores a 1.0 m/s lo que indica que aumentó debido a la variación de la pendiente del canal y con ello el tiempo de aforo, asimismo los tirantes y por ende los caudales.

Tabla N° 14: Resultados de velocidad y caudal para pendiente $S=0.5^\circ$

Medición	Tiempo promedio	Tirante promedio	Velocidad superficial $V_s=L/t_p$	Área hidráulica	Caudal	
				$A_h=bY$	$Q=VA$	
N°	t _p (s)	Y(m)	V _s (m/s)	A _h (m ²)	Q (m ³ /s)	Q (L/s)
1	2.184	0.042	1.37	0.0127	0.0175	17.48
2	1.946	0.061	1.54	0.0184	0.0284	28.41
3	1.872	0.071	1.60	0.0213	0.0341	34.13
4	1.844	0.076	1.63	0.0228	0.0370	37.02
5	1.874	0.078	1.60	0.0235	0.0376	37.60

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°15 se muestran los resultados de los coeficientes de rugosidad de Manning para el material que conforma el canal, rugosidad que depende de las condiciones hidráulicas y su propia geometría, vemos que para el experimento con pendiente de $S=0.5^\circ$, los valores de coeficientes de rugosidad (n), han disminuido con respecto a la tabla N°1 valores de coeficiente de rugosidad de Manning (n) y al resultado de la tabla N°10 para pendiente $S=0.25^\circ$, esto debido al aumento de la velocidad por la misma pendiente, según investigaciones el valor de n puede disminuir en canales al aumentar el nivel de fluido y descarga, o en todo caso la velocidad del fluido con la que descarga; por ejemplo se da el caso en la tabla N°9 el caudal para pendiente $.0.25^\circ$, con tirante de 10.4 cm y velocidad de 0.91 m/s presenta un caudal de

28.48 L/s a diferencia de pendiente $S=0.5^\circ$ a un tirante de 6.10 cm y una velocidad de 1.54 m/s se cuenta con 28.41 L/s de caudal, prácticamente el mismo caudal, sin embargo sus variables difieren.

Así también se cuenta con los resultados de Número de Froude, que en ésta vez se muestra mayor a la unidad, siendo el flujo supercrítico por el aumento de la velocidad.

Tabla N° 15: Resultados de coeficiente “n” y N° de Froude para pendiente $S=0.5^\circ$

Medición	Per.Hidr. $P_h=2Y+b$	Rad.Hidr. $R_h=A/P$	Rugosidad $n=(R^{2/3} \times S^{1/2})/V$	N° de Froude $Fr = V_m/(gY)^{1/2}$	Régimen del
N°	$P_h(m)$	$R_h(m)$	n	Fr	flujo
1	0.38	0.03	0.007	2.129	Supercrítico
2	0.42	0.04	0.008	1.986	Supercrítico
3	0.44	0.05	0.008	1.920	Supercrítico
4	0.45	0.05	0.008	1.886	Supercrítico
5	0.46	0.05	0.008	1.827	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

La tabla N°16 muestra el proceso de los cálculos para la calibración de datos y resultados obtenidos en el experimento, para el cual se aplica las ecuaciones que se encuentran en el punto 3.2.2. Medidas de bondad de ajuste, obteniendo como resultado la ecuación de caudal calibrado, ecuación que permitirá obtener caudales a cualquier profundidad hidráulica dada en el canal del laboratorio.

Tabla N° 16: Cálculo de calibración para pendiente $S=0.5^\circ$

Y(m)	Q (L/s)	Y'=logY	Q'=logQ	Q' x Y'	(Y')^2
0.042	17.48	-1.37234	1.24265	-1.70534	1.88332
0.061	28.41	-1.21163	1.45347	-1.76107	1.46805
0.071	34.13	-1.14874	1.53320	-1.76124	1.31961
0.076	37.02	-1.12000	1.56848	-1.75670	1.25441
0.078	37.60	-1.10632	1.57516	-1.74262	1.22394
Σ		-5.95903	7.37295	-8.72697	7.14932

Fuente: Elaboración propia

$$Q=977.58Y^{1.2717}$$

La figura N°14 muestra la curva de calibración y la ecuación determinada por el software Microsoft Excel, con valor de correlación cercano a 1, ecuación que verifica el resultado de la tabla N°16 y su respectiva ecuación para determinar el caudal experimental.

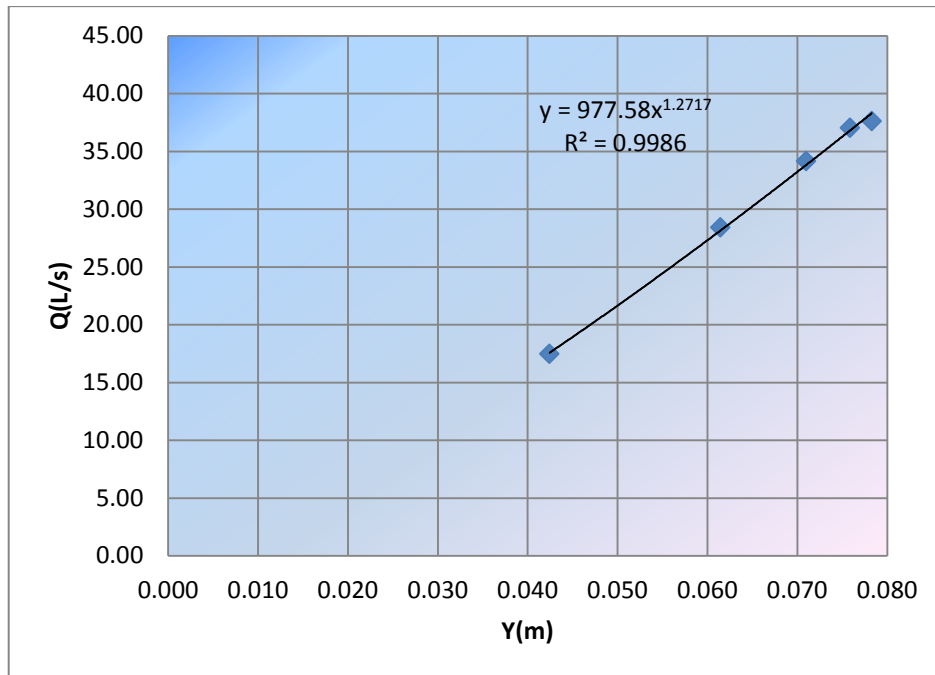


Figura N° 14: Curva de calibración para pendiente S=0.5°
Fuente: Elaboración propia

Con la ecuación calibrada determinada en la figura N°14, se obtiene en la tabla N°17 caudales para profundidades desde 1cm hasta 20 cm, asimismo para obtener un factor de corrección (λ) que facilite obtener el caudal experimental de forma directa, se desarrolló la razón entre caudales del experimento y los determinados con la ecuación de Manning (teórico), las mismas que se encuentran en la tabla N°6, entonces se detalla:

$$Q_{experimental} = \lambda Q_{teórico}$$

Calculando, el resultado de caudales experimentales a partir de los teóricos con el factor λ , brindan datos alejados al real, solo cumple para tirante de 1.00 y 6.00 cm, por lo que se toma la siguiente alternativa, el de aplicar una relación entre caudales experimentales calibrados y teóricos como se muestra en la figura N°15 y su respectiva ecuación polinomial donde:

x = representa al caudal teórico obtenido con la ecuación de Manning

y = representa al caudal experimental calibrado.

Es así que con la ecuación polinomial se determina valores de caudales cercanos a los valores del caudal experimental, por el que ésta ecuación es la que se aplicaría prácticamente para cualquier tirante dado y obtener caudales experimentales.

Tabla N° 17: Resultado de factor de corrección y ecuación para la obtención del caudal experimental a partir del teórico para pendiente S=0.5°

Caudales con ecuación calibrada (experimental)		Caudales determinados con la ecuación de Manning (teórico)		Razón entre caudales	$\lambda \times Q_t$	Ecuación polinomial
Qexp.c.(L/s)	Y(m)	Qt(L/s)	Y(m)	Qexp.c./Qt	Q (L/s)	Q (L/s)
2.80	0.01	1.07	0.01	2.61	1.46	5.12
6.76	0.02	3.36	0.02	2.01	4.58	7.71
11.31	0.03	6.53	0.03	1.73	8.89	11.27
16.31	0.04	10.40	0.04	1.57	14.16	15.62
21.66	0.05	14.86	0.05	1.46	20.23	20.61
27.31	0.06	19.82	0.06	1.38	26.99	26.15
33.23	0.07	25.21	0.07	1.32	34.32	32.13
39.38	0.08	30.95	0.08	1.27	42.14	38.49
45.74	0.09	36.99	0.09	1.24	50.37	45.15
52.30	0.10	43.28	0.10	1.21	58.93	52.05
59.04	0.11	49.77	0.11	1.19	67.77	59.14
65.95	0.12	56.42	0.12	1.17	76.82	66.37
73.01	0.13	63.19	0.13	1.16	86.04	73.69
80.23	0.14	70.05	0.14	1.15	95.38	81.08
87.58	0.15	76.97	0.15	1.14	104.81	88.49
95.08	0.16	83.93	0.16	1.13	114.29	95.90
102.70	0.17	90.90	0.17	1.13	123.78	103.29
110.44	0.18	97.86	0.18	1.13	133.26	110.63
118.30	0.19	104.81	0.19	1.13	142.71	117.91
126.27	0.20	111.71	0.20	1.13	152.11	125.11
n =	20	Σ		27.23		
Factor de corrección (λ) = Σ/n				1.36		

Fuente: Elaboración propia

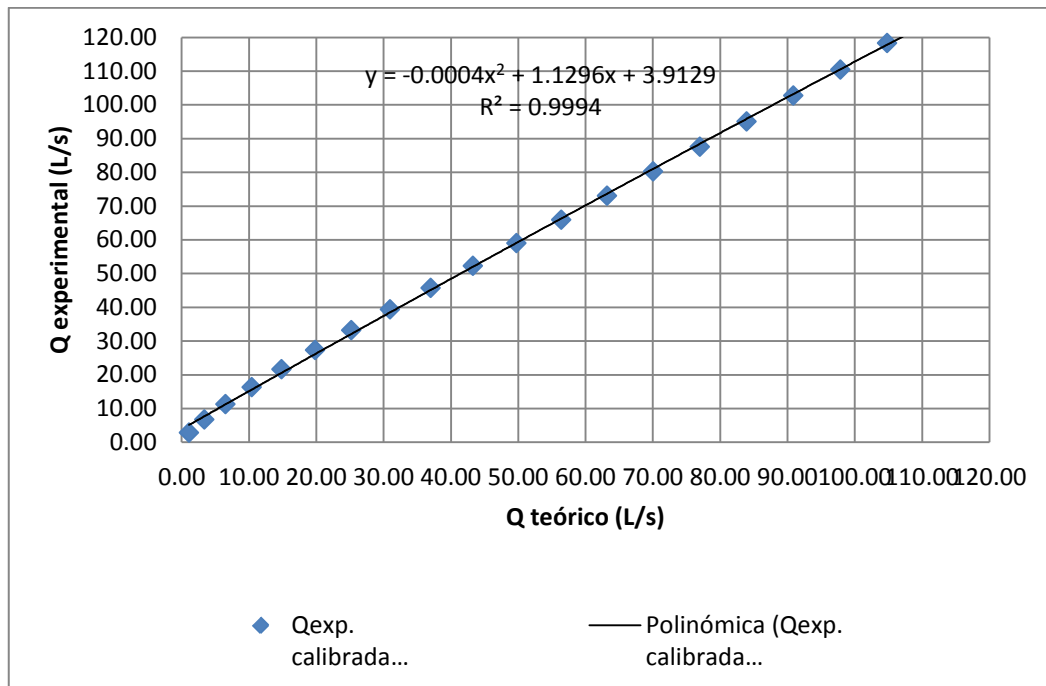


Figura N° 15: Relación entre caudal teórico y experimental calibrado para pendiente S=0.5°

Fuente: Elaboración propia

En la figura N°16 se observan las curvas de comparación de los resultados de caudales teóricos obtenidos en la tabla N°6 y los resultados de los caudales hallados con la ecuación de calibración en la tabla N°17, que indica que los caudales experimentales ésta vez a diferencia del experimento N°01 resultan ser mayores a los obtenidos con la ecuación de Manning, que a medida que aumenta la profundidad hidráulica los caudales varían, de forma que se van alejando a medida que ascienden.

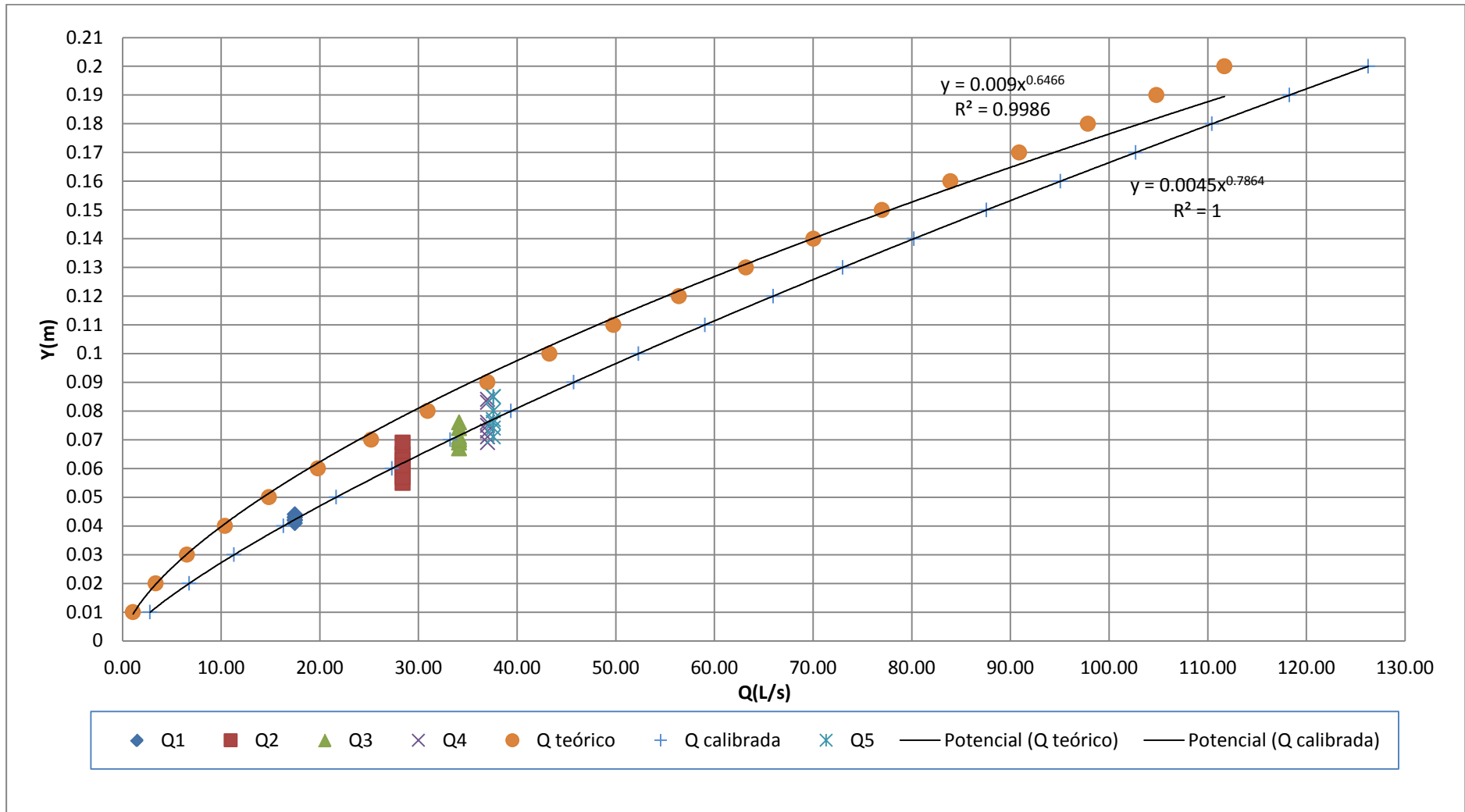


Figura N° 16: Comparación de curvas entre caudales teóricos y experimentales calibrados para pendiente $S=0.5^\circ$
 Fuente: Elaboración propia

3.4.1.3. Experimento de aforo N°03

Los siguientes datos anotados en el experimento mostradas en la tabla N°18 es para una pendiente $S=1^\circ$, equivalente a una pendiente $S=0.01746$ m/m.

Tabla N° 18: Datos obtenidos del experimento para pendiente $S=1^\circ$

Medición	Tirante hidráulico Y(m)							Tiempos de aforo t(s)					$t_{prom.}$
	N°	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	t1	t2	t3	t4	t5
1	0.034	0.037	0.036	0.034	0.033	0.034	0.033	1.90	2.03	1.77	1.89	1.88	1.89
2	0.045	0.051	0.054	0.045	0.053	0.046	0.043	1.71	1.65	1.62	1.66	1.63	1.65
3	0.058	0.062	0.055	0.061	0.060	0.054	0.056	1.53	1.63	1.64	1.50	1.59	1.58
4	0.066	0.063	0.064	0.064	0.062	0.063	0.057	1.56	1.56	1.47	1.61	1.42	1.52
5	0.069	0.069	0.065	0.065	0.066	0.067	0.057	1.85	1.45	1.44	1.43	1.51	1.50

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla N°19, se muestran la velocidad superficial hallada a partir de la longitud de aforo y tiempo promedio, considerando la velocidad superficial como velocidad media debido a que las profundidades hidráulicas en el canal son pequeñas, asimismo el área hidráulico teniendo como ancho de canal $b = 0.30$ m y la medición de los tirantes (Y), por lo que a partir de ellos se obtienen los caudales respectivos mediante la ecuación de continuidad.

Tabla N° 19: Resultados de velocidad y caudal para pendiente $S=1^\circ$

Medición	Tiempo promedio	Tirante promedio	Velocidad superficial $V_s=L/tp$	Área hidráulica	Caudal	
				$A_h=bY$	$Q=VA$	
N°	$t_p(s)$	Y(m)	$V_s(m/s)$	$A_h(m^2)$	Q (m3/s)	Q (L/s)
1	1.89	0.034	1.58	0.0103	0.0164	16.36
2	1.65	0.048	1.81	0.0144	0.0262	26.20
3	1.58	0.058	1.90	0.0174	0.0331	33.08
4	1.52	0.063	1.97	0.0188	0.0370	37.04
5	1.50	0.065	2.00	0.0196	0.0393	39.26

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°20 se determinó la rugosidad del canal de pendiente variable, como se puede ver, los valores de los coeficientes de rugosidad son iguales a 0.008, por lo que de acuerdo a la tabla N°1 de valores de coeficiente de rugosidad de Manning (n), para metal liso pintado el coeficiente mínimo es considerado 0.012 y lo normal 0.013, el resultado es similar al experimento N°02 y el número de Froude el régimen de flujo es supercrítico debido al aumento de velocidad, a la vez con profundidades pequeñas como se muestra en la tabla N°19.

Tabla N° 20: Resultados de coeficiente “n” y N° de Froude para pendiente S=1°

Medición	Per.Hidr. $P_h=2Y+b$	Rad.Hidr. $R_h=A/P$	Rugosidad $n=(R^{2/3} \times S^{1/2})/V$	N° de Froude $Fr = V_m/(gY)^{1/2}$	Régimen del
N°	$P_h(m)$	$R_h(m)$	n	Fr	flujo
1	0.37	0.03	0.008	2.726	Supercrítico
2	0.40	0.04	0.008	2.639	Supercrítico
3	0.42	0.04	0.008	2.520	Supercrítico
4	0.43	0.04	0.008	2.510	Supercrítico
5	0.43	0.05	0.008	2.496	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

La tabla N°21 muestra el proceso de los cálculos para la calibración de datos y resultados obtenidos en el experimento, para el cual se aplica las ecuaciones que se encuentran en el punto 3.2.2. Medidas de bondad de ajuste, obteniendo como resultado la ecuación de caudal calibrado, ecuación que servirá para obtener caudales a cualquier profundidad hidráulica dada en el canal del laboratorio.

Tabla N° 21: Cálculo de calibración para pendiente S=1°

Y(m)	Q (L/s)	Y'=logY	Q'=logQ	Q' x Y'	(Y')^2
0.034	16.36	-1.46308	1.21378	-1.77586	2.14061
0.048	26.20	-1.31747	1.41824	-1.86848	1.73572
0.058	33.08	-1.23657	1.51956	-1.87905	1.52911
0.063	37.04	-1.20263	1.56862	-1.88648	1.44633
0.065	39.26	-1.18423	1.59392	-1.88757	1.40241
Σ		-6.40399	7.31413	-9.29745	8.25417

Fuente: Elaboración propia

$$Q=1584.2Y^{1.3562}$$

La figura N°17 muestra la curva de calibración y la ecuación determinada por el software Microsoft Excel, con valor de correlación igual a 0.9996, ecuación que verifica el resultado de la tabla N°21 y su respectiva ecuación de caudal (Q).

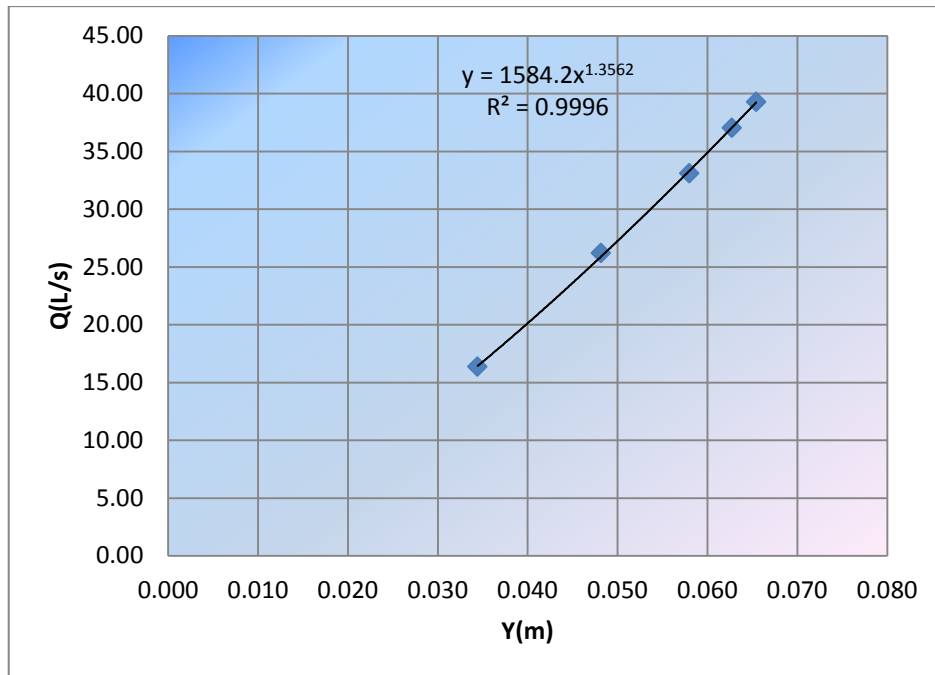


Figura N° 17: Curva de calibración para pendiente $S=1^\circ$
Fuente: Elaboración propia

Con la ecuación calibrada determinada con la tabla N°21, se obtiene en la tabla N°22 caudales para profundidades desde 1cm hasta 20 cm, como también se determinó un factor de corrección $\lambda = 1.25$ que permite la obtención del caudal experimental de forma directa, a partir de caudales determinados con la ecuación de Manning (teórico), las mismas que se encuentran en la tabla N°7, entonces:

$$Q_{experimental} = \lambda Q_{teórico}$$

Calculando, el resultado de caudales experimentales a partir de los teóricos con el factor λ en la tabla N°22 brindan datos muy alejados, solo cumple para tirante de 1 y 4 cm, entonces se considera la segunda alternativa el de aplicar una relación entre caudales teóricos y experimentales calibrados como se muestra en la figura N°18 y su respectiva ecuación polinomial, ecuación que más se acerca a lo correcto, donde:

x = representa al caudal teórico obtenido con la ecuación de Manning

y = representa al caudal experimental calibrado.

De esta manera mediante la ecuación polinomial obtenida se determinó valores de caudales más cercanos al experimento, casi semejantes, por el que ésta ecuación es la que se aplicaría para determinar el caudal experimental directamente, dada una profundidad hidráulica, a excepción de los tirantes 1 y 4 cm.

Tabla N° 22: Resultado de factor de corrección y ecuación para la obtención de caudal experimental a partir del teórico para pendiente S=1°

Caudales con ecuación calibrada (experimental)		Caudales determinados con la ecuación de Manning (teórico)		Razón entre caudales	$\lambda \times Q_t$	Ecuación polinomial
Qexp.c.(L/s)	Y(m)	Qt(L/s)	Y(m)	Qexp.c. /Qt	Q (L/s)	Q (L/s)
3.07	0.01	1.52	0.01	2.03	2.07	5.48
7.87	0.02	4.76	0.02	1.65	6.48	8.90
13.63	0.03	9.23	0.03	1.48	12.57	13.64
20.14	0.04	14.71	0.04	1.37	20.03	19.45
27.25	0.05	21.02	0.05	1.30	28.62	26.18
34.90	0.06	28.03	0.06	1.24	38.17	33.68
43.01	0.07	35.65	0.07	1.21	48.54	41.86
51.55	0.08	43.77	0.08	1.18	59.60	50.62
60.48	0.09	52.31	0.09	1.16	71.24	59.88
69.76	0.10	61.21	0.10	1.14	83.34	69.56
79.39	0.11	70.38	0.11	1.13	95.84	79.61
89.33	0.12	79.79	0.12	1.12	108.65	89.95
99.58	0.13	89.36	0.13	1.11	121.69	100.53
110.11	0.14	99.07	0.14	1.11	134.90	111.32
120.90	0.15	108.86	0.15	1.11	148.23	122.26
131.96	0.16	118.70	0.16	1.11	161.63	133.31
143.27	0.17	128.56	0.17	1.11	175.06	144.44
154.82	0.18	138.41	0.18	1.12	188.47	155.62
166.60	0.19	148.22	0.19	1.12	201.83	166.81
178.60	0.20	157.99	0.20	1.13	215.13	178.01
n =	20	Σ		24.93		
Factor de corrección (λ) = Σ/n				1.25		

Fuente: Elaboración propia

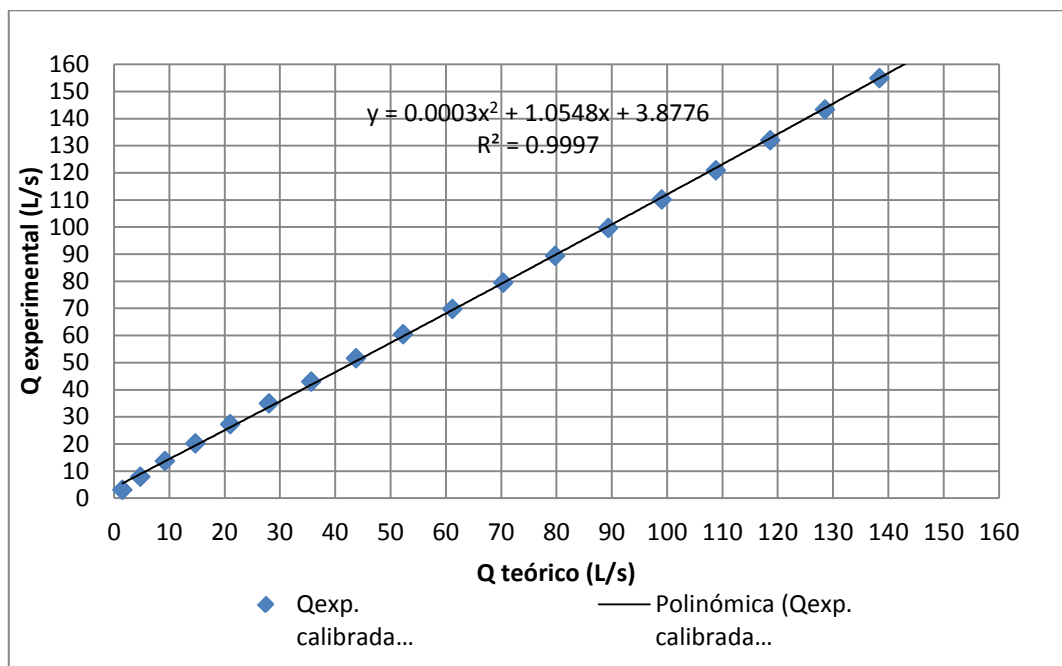


Figura N° 18: Relación entre caudal teórico y experimental calibrado para pendiente S=1°

Fuente: Elaboración propia

En la figura N°19 se observa la comparación de los resultados de caudales teóricos obtenidos en la tabla N°7 y los caudales hallados con la ecuación de calibración en la tabla N°21, lo que se observa es que los caudales experimentales a medida que se van determinando a partir del tirante de 4cm, se va alejando de la curva teórica, es decir los caudales son mayores a lo encontrado en la parte teórica determinado con la geometría del canal.

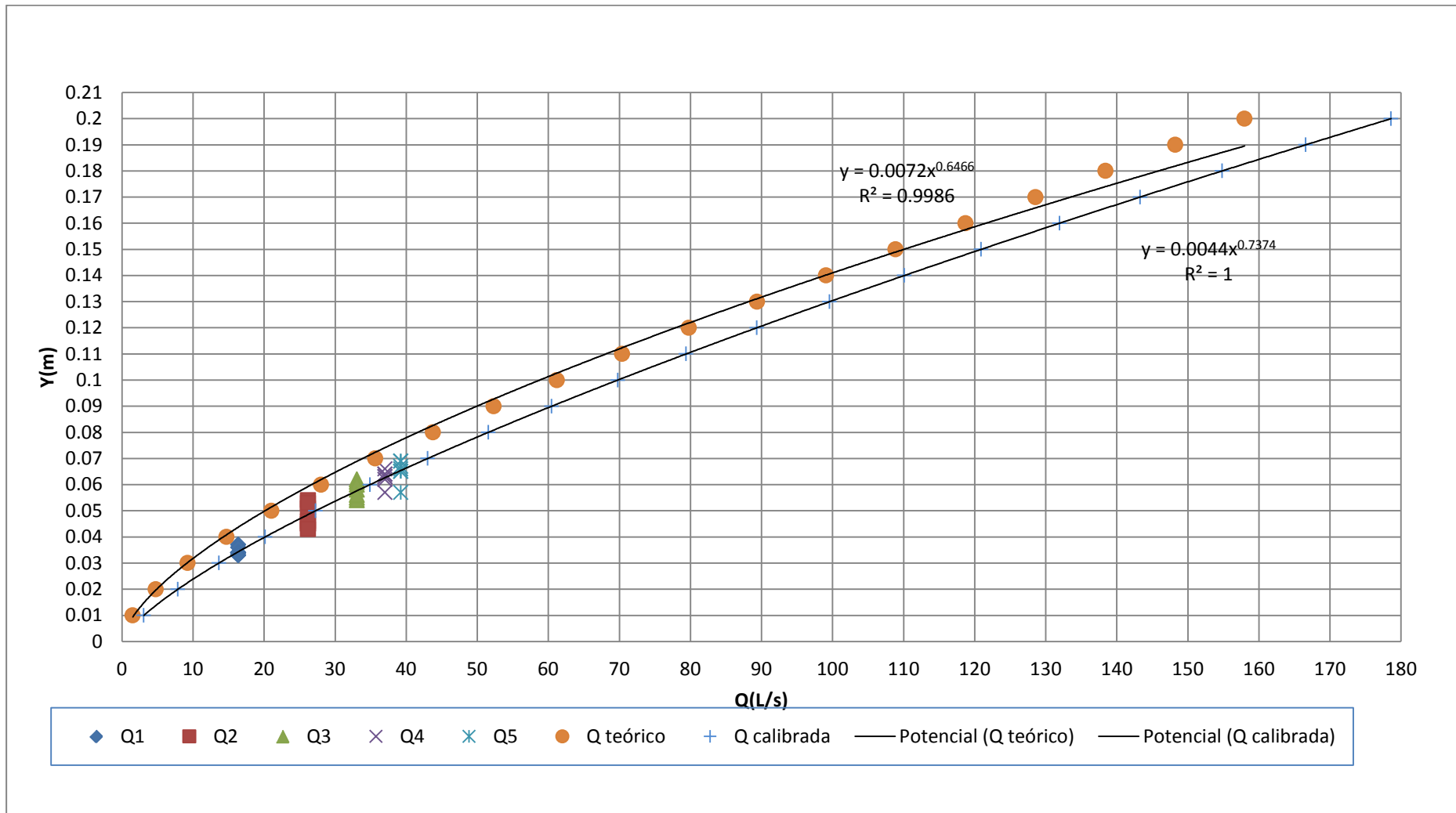


Figura N° 19: Comparación de curvas entre caudales teóricos y experimentales calibrados para pendiente $S=1^\circ$
 Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Segundo conjunto de datos experimentales de aforos

El segundo conjunto de datos fue realizado en la fecha 05 de mayo, posterior al primero, con la finalidad de comparar con el conjunto de los primeros datos y ver la diferencia de variación con respecto al tiempo y probablemente la precisión de los datos, para los mismos ítem y poder definir la calibración correcta para cada pendiente tomada.

3.4.2.1. Experimento de aforo N° 04

Los siguientes datos anotados en el experimento son para una pendiente de $S=0.25^\circ$, equivalente a una pendiente $S=0.00436$ m/m.

Tabla N° 23: Datos obtenidos del experimento para pendiente $S=0.25^\circ$

Medición	Tirante hidráulico Y(m)							Tiempos de aforo t(s)					t _{prom.}
	N°	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	t1	t2	t3	t4	
1	0.068	0.065	0.064	0.066	0.071	0.072	0.074	3.59	3.53	3.71	3.65	3.52	3.60
2	0.095	0.090	0.084	0.103	0.104	0.100	0.095	3.12	3.26	3.2	3.27	3.17	3.20
3	0.110	0.103	0.105	0.113	0.117	0.111	0.110	3.09	2.81	2.9	2.95	2.89	2.93
4	0.114	0.112	0.114	0.120	0.126	0.125	0.124	3.02	2.79	3.27	3.09	3.08	3.05
5	0.120	0.114	0.119	0.125	0.134	0.129	0.127	3.15	2.97	2.82	2.83	2.72	2.90

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°24, se determina la velocidad superficial a partir de la longitud de aforo y tiempo promedio, considerando la velocidad superficial como velocidad media debido a que las profundidades hidráulicas en el canal son pequeñas, asimismo el área hidráulico teniendo como ancho de canal $b = 0.30$ m y la medición de los tirantes (Y), por lo que a partir de ellos se obtienen los caudales respectivos mediante la ecuación de continuidad.

Tabla N° 24: Resultados de velocidad y caudal para pendiente $S=0.25^\circ$

Medición	Tiempo promedio	Tirante promedio	Velocidad superficial $V_s=L/t_p$	Área hidráulica	Caudal	
				$A_h=bY$	$Q=VA$	
N°	t _p (s)	Y(m)	V _s (m/s)	A _h (m ²)	Q (m ³ /s)	Q (L/s)
1	3.60	0.069	0.83	0.0206	0.0171	17.14
2	3.20	0.096	0.94	0.0288	0.0269	26.93
3	2.93	0.110	1.02	0.0330	0.0338	33.77
4	3.05	0.119	0.98	0.0358	0.0352	35.20
5	2.90	0.124	1.04	0.0372	0.0385	38.51

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°25 se determinó la rugosidad del canal de pendiente variable, canal de base de material metal y las paredes de fibra de vidrio, siendo ésta última como influyente mínima en el movimiento del flujo, el material que predomina en el canal es

el metal que se encuentra en la base por ser abarcado en todo su ancho por el fluido y como se puede observar en los resultados, los valores de los coeficientes de rugosidad oscilan entre 0.010 y 0.011, por lo que de acuerdo a la tabla N°1 de valores de coeficiente de rugosidad de Manning (n), para metal liso pintado el coeficiente mínimo es considerado 0.012 y lo normal 0.013 Por lo que se puede decir es cercano al valor mínimo. Asimismo en cuanto al resultado de número de Froude el régimen de flujo es subcrítico, pero para el primero es supercrítico se puede mencionar que es a causa del tirante que se muestra menor a los demás en la tabla N°24.

Tabla N° 25: Resultados de coeficiente “n” y N° de Froude para pendiente S=0.25°

Medición	Per.Hidr. $P_h=2Y+b$	Rad.Hidr. $R_h=A/P$	Rugosidad $n=(R^{2/3} \times S^{1/2})/V$	N° de Froude $Fr = V_m/(gY)^{1/2}$	Régimen del flujo
N°	$P_h(m)$	$R_h(m)$	n	Fr	flujo
1	0.44	0.05	0.010	1.016	Supercrítico
2	0.49	0.06	0.011	0.966	Subcrítico
3	0.52	0.06	0.010	0.987	Subcrítico
4	0.54	0.07	0.011	0.909	Subcrítico
5	0.55	0.07	0.011	0.939	Subcrítico

Fuente: Elaboración propia

La tabla N°26 muestra el proceso de los cálculos para la calibración de datos y resultados obtenidos en el experimento, para el cual se aplica las ecuaciones que se encuentran en el punto 3.2.2. Medidas de bondad de ajuste, obteniendo como resultado la ecuación de caudal calibrado, ecuación que servirá para obtener caudales a cualquier profundidad hidráulica dada en el canal del laboratorio.

Tabla N° 26: Cálculo de calibración para pendiente S=0.25°

Y(m)	Q (L/s)	Y'=logY	Q'=logQ	Q' x Y'	(Y')^2
0.069	17.14	-1.16386	1.23408	-1.43630	1.35456
0.096	26.93	-1.01838	1.43017	-1.45645	1.03709
0.110	33.77	-0.95917	1.52850	-1.46609	0.92001
0.119	35.20	-0.92341	1.54653	-1.42808	0.85269
0.124	38.51	-0.90658	1.58557	-1.43744	0.82188
Σ		-4.97139	7.32485	-7.22437	4.98623

Fuente: Elaboración propia

$$Q=646.54Y^{1.3534}$$

La figura N°20 muestra la curva de calibración y la ecuación determinada por el software Microsoft Excel, con valor de correlación 0.9941, ecuación que verifica el resultado de la tabla N°26 y su respectiva ecuación.

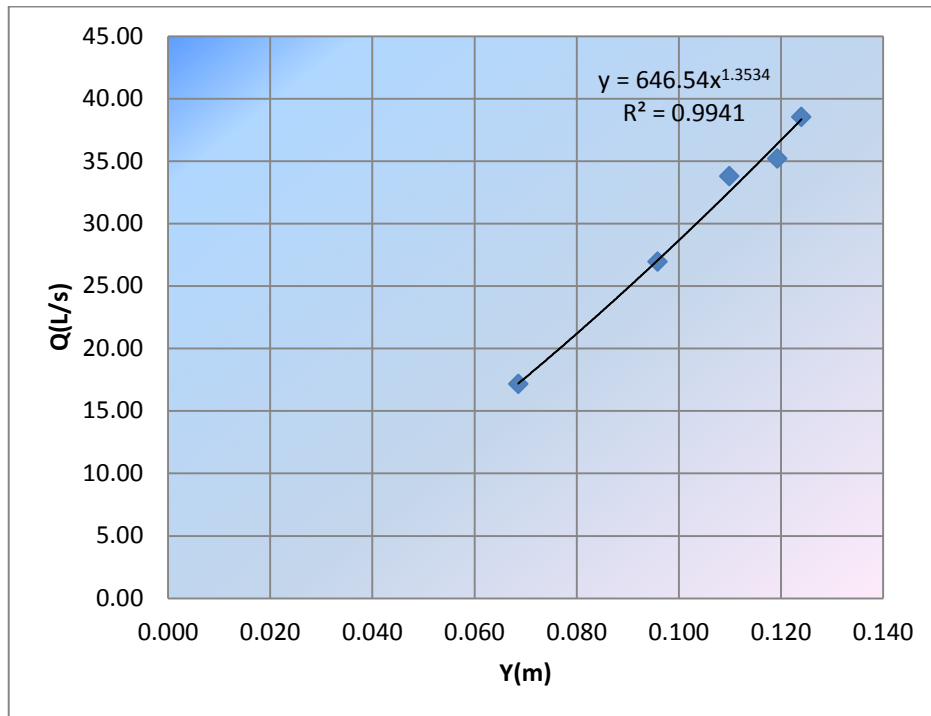


Figura N° 20: Curva de calibración para pendiente $S=0.25^\circ$
 Fuente: Elaboración propia

Con la ecuación calibrada de caudal determinada con la tabla N°26, se obtiene en la tabla N°27 caudales para profundidades desde 1cm hasta 20 cm, asimismo para obtener un factor de corrección (λ) que permita hallar el caudal experimental de forma directa al corregir el caudal teórico, para el cual se desarrolló la razón entre caudales del experimento y los determinados con la ecuación de Manning (teórico), siendo:

$$Q_{experimental} = \lambda Q_{teórico}$$

Calculando con el factor encontrado, el resultado de caudales experimentales a partir de los teóricos con el factor $\lambda = 1.02$, brindan datos cercanos, pero no los esperados a los valores de caudal obtenidos con la ecuación de calibración, por lo que se toma otra alternativa para mejorar los resultados de caudales, como aplicar una relación entre caudales experimentales calibrados y teóricos como se muestra en la figura N°21 y su respectiva ecuación polinomial, donde:

x = representa al caudal teórico obtenido con la ecuación de Manning

y = representa al caudal experimental calibrado.

La ecuación polinomial el más cercano, determina valores de caudales, sin embargo se aleja a diferencia de los obtenidos con el factor de corrección, por lo que el factor λ multiplicado por el caudal teórico será considerada en la determinación de caudal experimental directamente.

Tabla N° 27: Resultado de factor de corrección y ecuación para la obtención de caudal experimental a partir del teórico para pendiente $S=0.25^\circ$

Caudales con ecuación calibrada (experimental)		Caudales determinados con la ecuación de Manning (teórico)		Razón entre caudales	$\lambda \times Q_t$	Ecuación polinomial
Q _{exp.c.} (L/s)	Y(m)	Q _t (L/s)	Y(m)	Q _{exp.c.} /Q _t	Q (L/s)	Q (L/s)
1.27	0.01	0.76	0.01	1.67	0.78	1.93
3.25	0.02	2.38	0.02	1.36	2.44	3.12
5.62	0.03	4.62	0.03	1.22	4.73	4.78
8.29	0.04	7.35	0.04	1.13	7.54	6.80
11.22	0.05	10.51	0.05	1.07	10.77	9.14
14.35	0.06	14.02	0.06	1.02	14.37	11.76
17.68	0.07	17.82	0.07	0.99	18.27	14.60
21.19	0.08	21.88	0.08	0.97	22.43	17.64
24.85	0.09	26.16	0.09	0.95	26.81	20.85
28.66	0.10	30.60	0.1	0.94	31.37	24.20
32.60	0.11	35.19	0.11	0.93	36.07	27.67
36.68	0.12	39.89	0.12	0.92	40.89	31.24
40.87	0.13	44.68	0.13	0.91	45.80	34.89
45.18	0.14	49.53	0.14	0.91	50.77	38.60
49.61	0.15	54.43	0.15	0.91	55.78	42.36
54.13	0.16	59.35	0.16	0.91	60.83	46.16
58.76	0.17	64.28	0.17	0.91	65.88	49.97
63.49	0.18	69.20	0.18	0.92	70.93	53.80
68.31	0.19	74.11	0.19	0.92	75.96	57.63
73.22	0.20	78.99	0.2	0.93	80.96	61.45
n =	20	Σ		20.50		
Factor de corrección (λ) = Σ/n				1.02		

Fuente: Elaboración propia

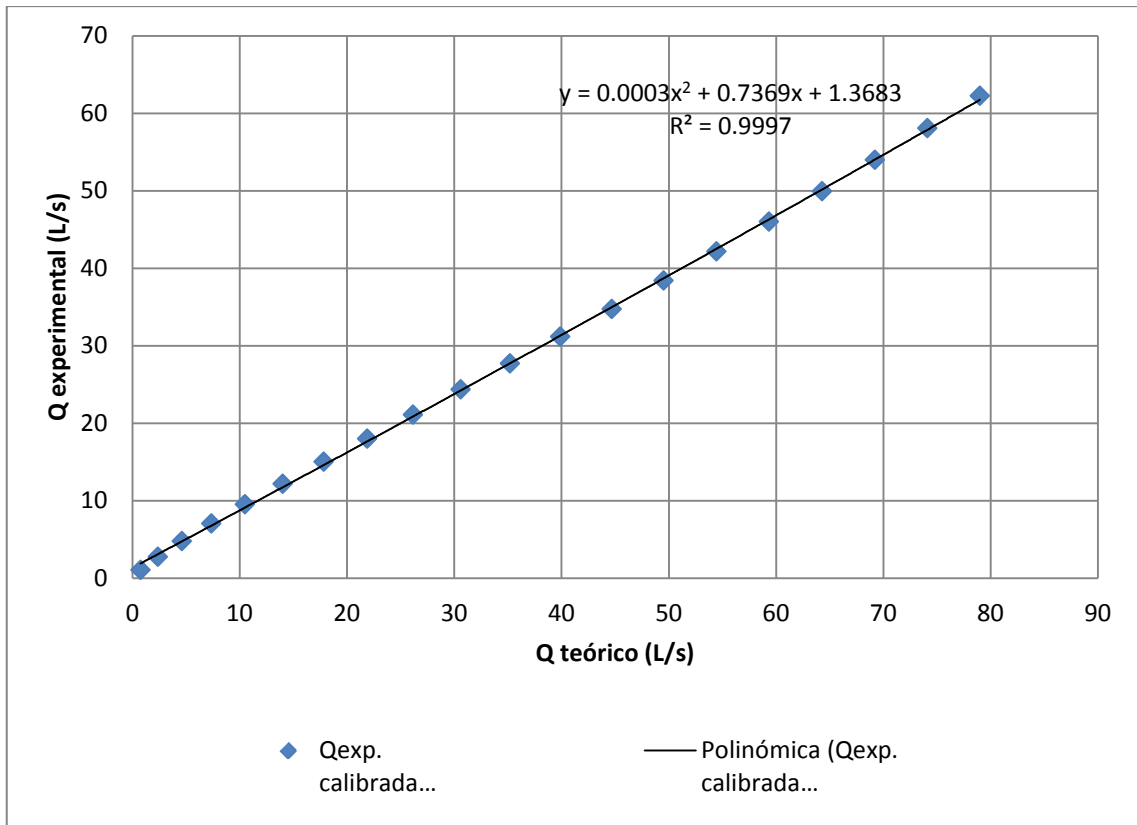


Figura N° 21: Relación entre caudal experimental calibrado y teórico para pendiente $S=0.25^\circ$
 Fuente: Elaboración propia

En la figura N°22 se observa la comparación de los resultados de caudales teóricos obtenidos en la tabla N°5 y los resultados de los caudales hallados con la ecuación de calibración en la tabla N°27, lo que indica que los caudales experimentales obtenidos con tirantes desde 1 a 6 cm son mayores que los teóricos y partir de tirante 7 cm quien predomina y va ascendiendo es el caudal teórico.

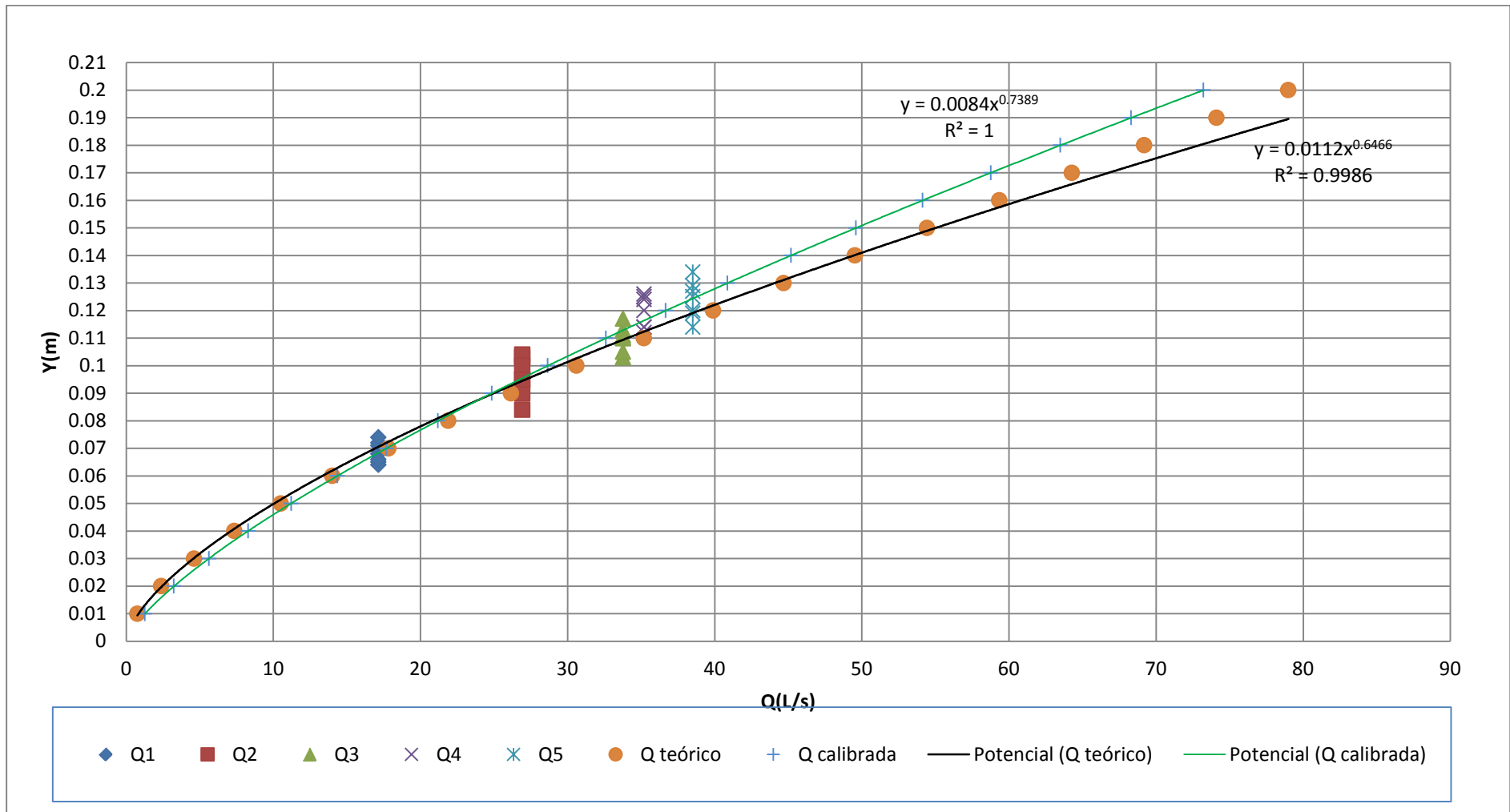


Figura N° 22: Comparación de curvas entre caudales teóricos y experimentales calibrados para pendiente $=0.25^\circ$
 Fuente: Elaboración propia

3.4.2.2. Experimento de aforo N° 05

La tabla N°28 muestra datos del experimento para una pendiente de $S=0.5^\circ$ equivalente a $S=0.00873$ m/m.

Tabla N° 28: Datos obtenidos del experimento para pendiente $S=0.5^\circ$

Medición	Tirante hidráulico Y(m)							Tiempos de aforo t(s)					t _{prom.}
	N°	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	t1	t2	t3	t4	
1	0.042	0.044	0.047	0.048	0.044	0.040	0.040	2.11	2.25	2.19	2.18	2.15	2.18
2	0.062	0.069	0.060	0.061	0.059	0.062	0.058	1.84	1.95	1.91	1.91	1.87	1.90
3	0.069	0.076	0.073	0.068	0.066	0.072	0.068	1.91	1.65	1.76	1.78	1.73	1.77
4	0.082	0.081	0.073	0.071	0.079	0.074	0.069	1.90	1.75	1.74	1.75	1.82	1.79
5	0.084	0.082	0.074	0.078	0.080	0.075	0.071	1.80	1.65	1.68	1.70	1.82	1.73

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°29 se muestran las velocidades, las cuales son mayores a 1.0 m/s lo que indica que aumentó debido a la variación de la pendiente del canal y con ello el tiempo de aforo, asimismo los tirantes y por ende los caudales.

Tabla N° 29: Resultados de velocidad y caudal para pendiente $S=0.5^\circ$

Medición	Tiempo promedio	Tirante promedio	Velocidad superficial $V_s=L/tp$	Área hidráulica	Caudal	
				$A_h=bY$	$Q=VA$	
N°	t _p (s)	Y(m)	V _s (m/s)	A _h (m ²)	Q (m ³ /s)	Q (L/s)
1	2.176	0.044	1.38	0.0131	0.0180	18.02
2	1.896	0.062	1.58	0.0185	0.0292	29.23
3	1.766	0.070	1.70	0.0211	0.0358	35.82
4	1.792	0.076	1.67	0.0227	0.0380	37.95
5	1.73	0.078	1.73	0.0233	0.0404	40.43

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°30 los coeficientes de rugosidad de Manning para el material que conforma el canal, rugosidad que depende de las condiciones hidráulicas y su propia geometría, se observa que para el experimento con pendiente de $S=0.5^\circ$, los valores de coeficientes de rugosidad (n), han disminuido con respecto a la tabla N°1 valores de coeficiente de rugosidad de Manning (n) y al resultado de la tabla N°25 para pendiente $S=0.25^\circ$, esto debido al aumento de la velocidad por la misma pendiente.

Así también se cuenta con los resultados de Número de Froude, que en ésta vez se muestran mayores a la unidad, siendo el flujo supercrítico por el aumento de la velocidad.

Tabla N° 30: Resultados de coeficiente “n” y N° de Froude para pendiente 0.5°

Medición	Per.Hidr. $P_h=2Y+b$	Rad.Hidr. $R_h=A/P$	Rugosidad $n=(R^{2/3} \times S^{1/2})/V$	N° de Froude $Fr = V_m/(gY)^{1/2}$	Régimen del flujo
N°	$P_h(m)$	$R_h(m)$	n	Fr	
1	0.39	0.03	0.007	2.109	Supercrítico
2	0.42	0.04	0.007	2.036	Supercrítico
3	0.44	0.05	0.007	2.046	Supercrítico
4	0.45	0.05	0.008	1.944	Supercrítico
5	0.46	0.05	0.007	1.986	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

La tabla N°31 muestra el proceso de los cálculos para la calibración de datos y resultados obtenidos en el experimento, para el cual se aplica las ecuaciones que se encuentran en el punto 3.2.2. Medidas de bondad de ajuste, obteniendo como resultado la ecuación de caudal calibrado, ecuación que permitirá obtener caudales a cualquier profundidad hidráulica dada en el canal del laboratorio.

Tabla N° 31: Cálculo de calibración para pendiente $S=0.5^\circ$

Y(m)	Q (L/s)	Y'=logY	Q'=logQ	Q' x Y'	(Y')^2
0.044	18.02	-1.36080	1.25579	-1.70887	1.85177
0.062	29.23	-1.21062	1.46578	-1.77451	1.46560
0.070	35.82	-1.15313	1.55412	-1.79211	1.32972
0.076	37.95	-1.12164	1.57926	-1.77137	1.25808
0.078	40.43	-1.10950	1.60670	-1.78263	1.23099
Σ		-5.95569	7.46165	-8.82948	7.13616

Fuente: Elaboración propia

$$Q=1392.65Y^{1.3865}$$

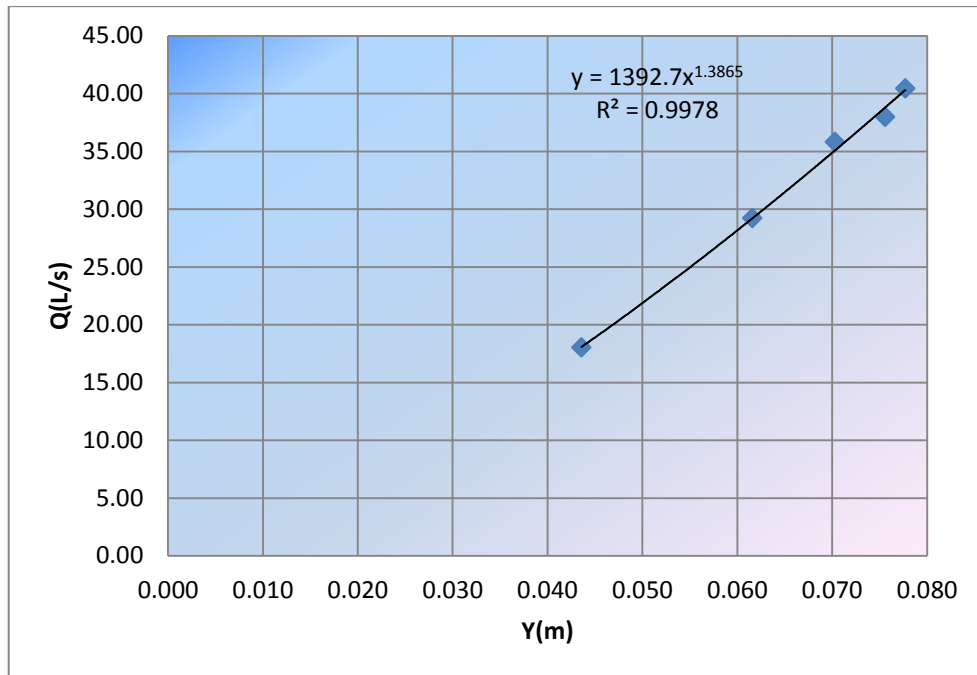


Figura N° 23: Curva de calibración para pendiente S=0.5°
Fuente: Elaboración propia

Con la ecuación calibrada a partir de la tabla N°31, se obtiene en la tabla N°32 caudales para profundidades desde 1cm hasta 20 cm, asimismo para obtener un factor de corrección (λ) que facilite obtener el caudal experimental de forma directa, se desarrolló la razón entre caudales del experimento y los determinados con la ecuación de Manning (teórico), siendo $\lambda=1.43$ y se detalla como la siguiente:

$$Q_{experimental} = \lambda Q_{teórico}$$

Aplicando, el resultado de caudales experimentales a partir de los teóricos con el factor λ , brindan datos definitivamente pequeños al experimento, no cumple el factor, por lo que se toma la alternativa de aplicar una relación entre caudales experimentales calibrados y teóricos como la que se muestra en la figura N°24 y su respectiva ecuación polinomial, donde:

x = representa al caudal teórico obtenido con la ecuación de Manning

y = representa al caudal experimental calibrado.

Con la ecuación polinomial se determina valores de caudales cercanos a los valores del caudal experimental, entonces ésta ecuación queda para las respectivas determinaciones

de caudales para cualquier tirante dado a excepción de 1 cm, para este valor se puede aplicar el factor que es con la que mejor cumple.

Tabla N° 32: Resultado de factor de corrección y ecuación para la obtención del caudal experimental a partir del teórico para pendiente $S=0.5^\circ$

Caudales con ecuación calibrada (experimental)		Caudales determinados con la ecuación de Manning (teórico)		Razón entre caudales	$\lambda \times Q_t$	Ecuación polinomial
Q(L/s)	Y(m)	Q (L/s)	Y(m)	Qexp.c. /Qt	Q (L/s)	Q (L/s)
2.35	0.01	1.07	0.01	2.19	1.10	4.13
6.14	0.02	3.36	0.02	1.83	3.45	6.92
10.77	0.03	6.53	0.03	1.65	6.69	10.80
16.05	0.04	10.40	0.04	1.54	10.66	15.56
21.88	0.05	14.86	0.05	1.47	15.23	21.08
28.17	0.06	19.82	0.06	1.42	20.32	27.25
34.88	0.07	25.21	0.07	1.38	25.84	34.00
41.97	0.08	30.95	0.08	1.36	31.72	41.24
49.42	0.09	36.99	0.09	1.34	37.91	48.92
57.19	0.10	43.28	0.10	1.32	44.36	56.97
65.27	0.11	49.77	0.11	1.31	51.01	65.35
73.64	0.12	56.42	0.12	1.31	57.82	74.00
82.29	0.13	63.19	0.13	1.30	64.76	82.89
91.19	0.14	70.05	0.14	1.30	71.80	91.97
100.34	0.15	76.97	0.15	1.30	78.89	101.20
109.74	0.16	83.93	0.16	1.31	86.02	110.56
119.36	0.17	90.90	0.17	1.31	93.17	120.02
129.20	0.18	97.86	0.18	1.32	100.31	129.55
139.26	0.19	104.81	0.19	1.33	107.42	139.12
149.53	0.20	111.71	0.20	1.34	114.50	148.71
n =	20	Σ		28.63		
Factor de corrección (λ) = Σ/n				1.43		

Fuente: Elaboración propia

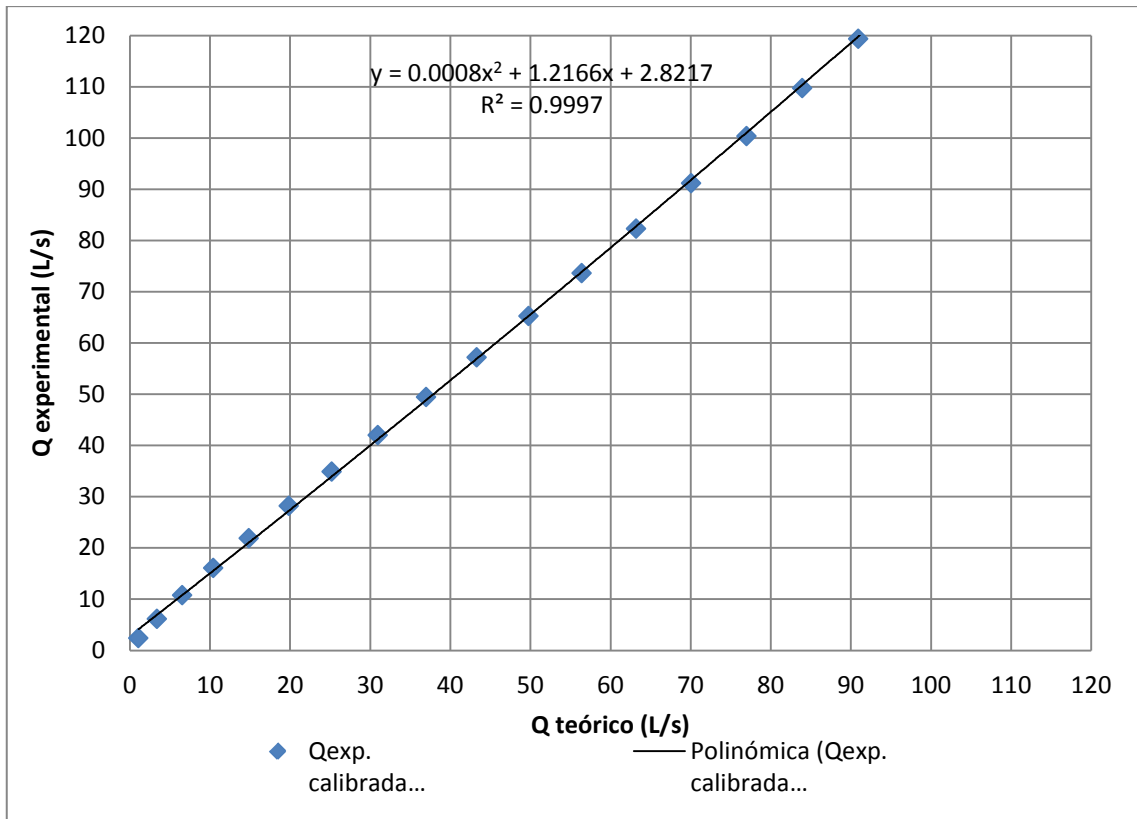


Figura N° 24: Relación entre caudal teórico y experimental calibrado para pendiente $S=0.5^\circ$
 Fuente: Elaboración propia

En la figura N°25 se observan las curvas de comparación de los resultados de caudales teóricos obtenidos en la tabla N°6 y los resultados de los caudales hallados con la ecuación de calibración en la tabla N°32, que indica que la curva de los caudales experimentales tiende a subir y alejarse del teórico siendo porejemplo que para un tirante de 20 cm el teórico es 111.71 L/s en cambio el experimental ya calibrado es 149.53 L/s, por lo que difieren mucho y si se continúa hallando para mayores más tirantes existe más separación.

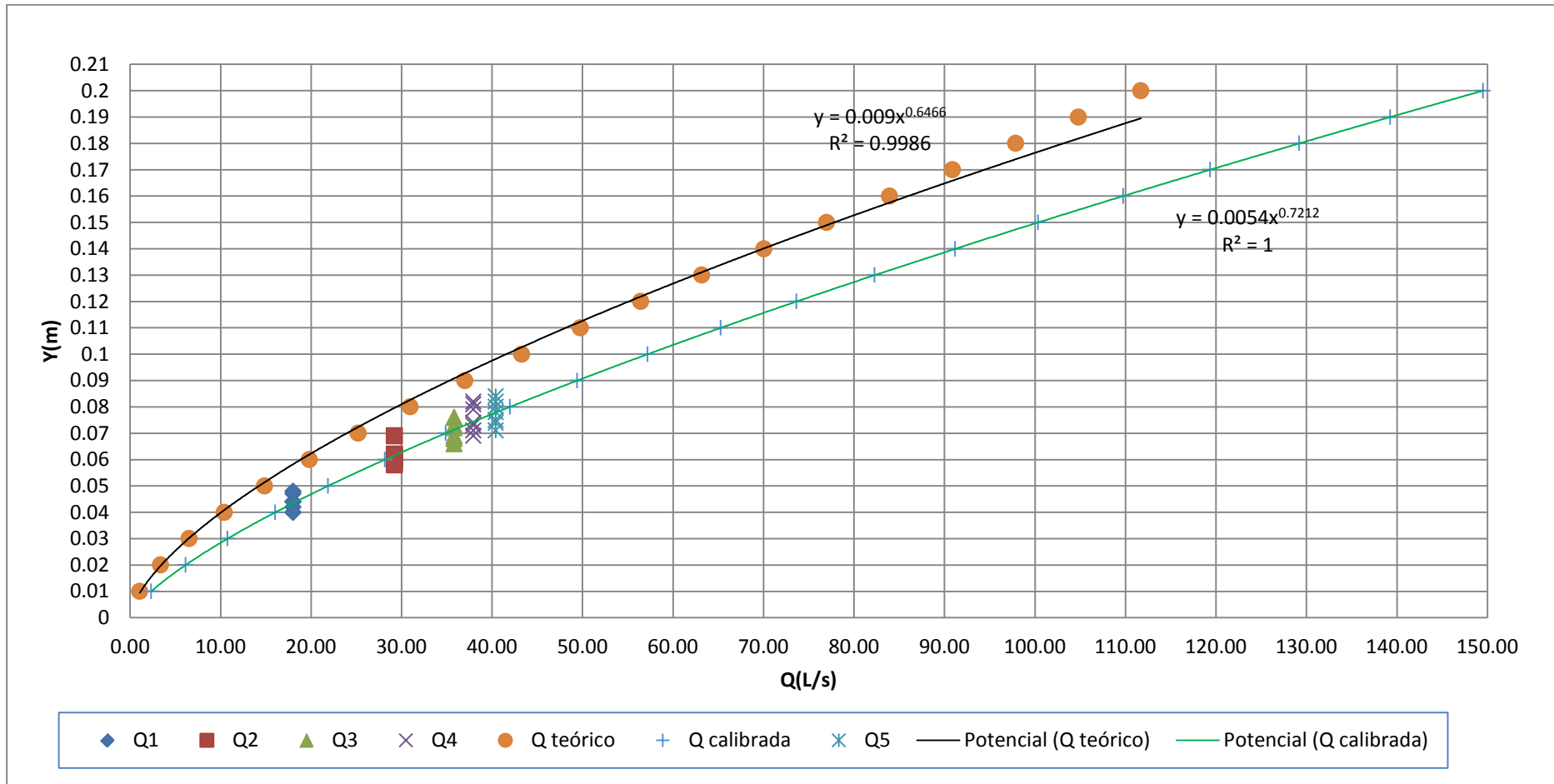


Figura N° 25: Comparación de curvas entre caudales teóricos y experimentales calibrados para pendiente $S=0.5^\circ$
 Fuente: Elaboración propia

3.4.2.3. Experimento de aforo N° 06

Los siguientes datos anotados en el experimento mostradas en la tabla N°33 es para una pendiente $S=1^\circ$, equivalente a $S=0.01746$ m/m.

Tabla N° 33: Datos obtenidos del experimento para pendiente $S=1^\circ$

Medición	Tirante hidráulico Y(m)							Tiempos de aforo t(s)					$t_{prom.}$
	N°	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	t1	t2	t3	t4	t5
1	0.034	0.038	0.036	0.034	0.04	0.035	0.033	1.75	1.83	1.86	1.78	1.81	1.81
2	0.045	0.051	0.053	0.045	0.053	0.046	0.043	1.72	1.74	1.79	1.66	1.67	1.72
3	0.055	0.063	0.055	0.059	0.063	0.053	0.054	1.44	1.46	1.55	1.56	1.56	1.51
4	0.066	0.064	0.062	0.063	0.064	0.064	0.055	1.42	1.52	1.38	1.49	1.58	1.48
5	0.068	0.064	0.066	0.064	0.065	0.065	0.058	1.85	1.45	1.44	1.43	1.51	1.50

Fuente: Elaboración propia

La tabla N°34, se muestra la velocidad determinada del aforo en una longitud de 3.0 m y tiempo promedio, considerando la velocidad superficial como velocidad media debido a que las profundidades hidráulicas en el canal son pequeñas, asimismo el área hidráulico teniendo como ancho de canal $b = 0.30$ m y la medición de los tirantes (Y), por lo que a partir de ellos se obtienen los caudales respectivos mediante la ecuación de continuidad.

Tabla N° 34: Resultados de velocidad y caudal para pendiente $S=1^\circ$

Medición	Tiempo promedio	Tirante promedio	Velocidad superficial $V_s=L/t_p$	Área hidráulica	Caudal	
				$A_h=bY$	$Q=VA$	
N°	$t_p(s)$	Y(m)	$V_s(m/s)$	$A_h(m^2)$	Q (m3/s)	Q (L/s)
1	1.81	0.036	1.66	0.0107	0.0178	17.80
2	1.72	0.048	1.75	0.0144	0.0252	25.17
3	1.51	0.057	1.98	0.0172	0.0341	34.14
4	1.48	0.063	2.03	0.0188	0.0381	38.10
5	1.50	0.064	2.00	0.0193	0.0386	38.57

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°35 se determinó la rugosidad del material del canal, como se puede ver, los valores de los coeficientes de rugosidad son iguales a 0.008, por lo que de acuerdo a la tabla N°1 de valores de coeficiente de rugosidad de Manning (n), para metal liso pintado el coeficiente mínimo es considerado 0.012 y lo normal 0.013, y el número de Froude indica el régimen de flujo supercrítico debido al aumento de velocidad, a la vez con profundidades pequeñas como se muestra en la tabla N°34.

Tabla N° 35: Resultados de coeficiente “n” y N° de Froude para pendiente S=1°

Medición	Per.Hidr. $P_h=2Y+b$	Rad.Hidr. $R_h=A/P$	Rugosidad $n=(R^{2/3} \times S^{1/2})/V$	N° de Froude $Fr = V_m/(gY)^{1/2}$	Régimen del
N°	$P_h(m)$	$R_h(m)$	n	Fr	flujo
1	0.37	0.03	0.007	2.806	supercrítico
2	0.40	0.04	0.008	2.548	supercrítico
3	0.41	0.04	0.008	2.640	supercrítico
4	0.43	0.04	0.008	2.591	supercrítico
5	0.43	0.05	0.008	2.518	supercrítico

Fuente: Elaboración propia

La tabla N°36 muestra el proceso de los cálculos para la calibración de datos y resultados obtenidos en el experimento, para el cual se aplica las ecuaciones que se encuentran en el punto 3.2.2. Medidas de bondad de ajuste, obteniendo como resultado la ecuación de caudal calibrado, ecuación que servirá para obtener caudales a cualquier profundidad hidráulica dada en el canal del laboratorio.

Tabla N° 36: Cálculo de calibración para pendiente S=1°

Y(m)	Q (L/s)	Y'=logY	Q'=logQ	Q' x Y'	(Y')^2
0.036	17.80	-1.44716	1.25037	-1.80948	2.09427
0.048	25.17	-1.31876	1.40097	-1.84754	1.73912
0.057	34.14	-1.24087	1.53324	-1.90256	1.53976
0.063	38.10	-1.20362	1.58094	-1.90286	1.44871
0.064	38.57	-1.19189	1.58627	-1.89065	1.42059
Σ		-6.40230	7.35179	-9.35308	8.24246

Fuente: Elaboración propia

$$Q=1624.8Y^{1.3592}$$

La figura N°26 muestra la curva de calibración y la ecuación determinada por el software Microsoft Excel, con valor de correlación igual a 0.9942, ecuación que verifica el resultado de la tabla N°36 y su respectiva ecuación de caudal (Q).

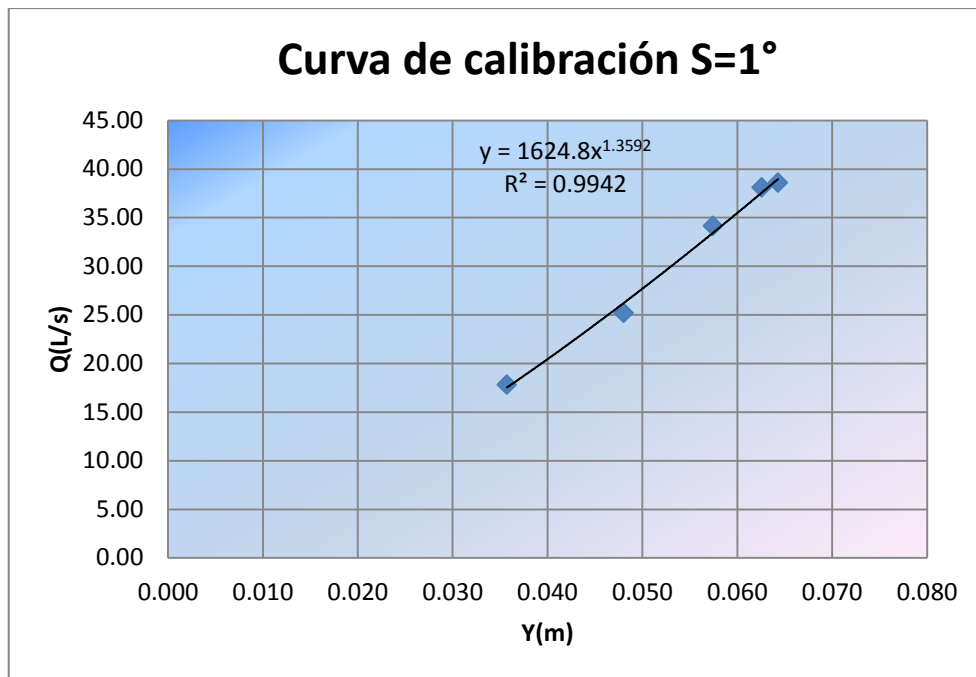


Figura N° 26: Curva de calibración para pendiente S=1°
Fuente: Elaboración propia

Con la ecuación calibrada determinada con la tabla N°36, se obtiene en la tabla N°37 caudales para profundidades desde 1cm hasta 20 cm, como también se determinó un factor de corrección $\lambda = 1.27$ que permite la obtención del caudal experimental de forma directa, a partir de caudales determinados con la ecuación de Manning (teórico), las mismas que se encuentran en la tabla N°7, entonces:

$$Q_{experimental} = \lambda Q_{teórico}$$

Calculando, el resultado de caudales experimentales a partir de los teóricos (Q_t) multiplicado por el factor λ en la tabla N°37 brindan datos no cercanos al experimental, considerando la segunda alternativa el de aplicar una relación entre caudales teóricos y experimentales calibrados como se muestra en la figura N°27 y su respectiva ecuación polinomial, siendo:

x = representa al caudal teórico obtenido con la ecuación de Manning

y = representa al caudal experimental calibrado.

De esta manera mediante la ecuación polinomial obtenida se determinó valores de caudales sin embargo son más alejados que los obtenidos con el factor de corrección, por lo que la ecuación no satisface.

Tabla N° 37: Resultado de factor de corrección y ecuación para la obtención de caudal experimental a partir del teórico para pendiente S=1°

Caudales con ecuación calibrada (experimental)		Caudales determinados con la ecuación de Manning (teórico)		Razón entre caudales	$\lambda \times Q_t$	Ecuación polinomial
Q(L/s)	Y(m)	Q (L/s)	Y(m)	Qexp.c. /Qt	Q (L/s)	Q (L/s)
3.11	0.01	1.52	0.01	2.05	1.92	4.70
7.97	0.02	4.76	0.02	1.68	6.03	7.67
13.83	0.03	9.23	0.03	1.50	11.71	11.76
20.45	0.04	14.71	0.04	1.39	18.65	16.78
27.69	0.05	21.02	0.05	1.32	26.65	22.59
35.48	0.06	28.03	0.06	1.27	35.55	29.06
43.75	0.07	35.65	0.07	1.23	45.21	36.11
52.46	0.08	43.77	0.08	1.20	55.51	43.65
61.57	0.09	52.31	0.09	1.18	66.34	51.61
71.05	0.10	61.21	0.1	1.16	77.62	59.93
80.88	0.11	70.38	0.11	1.15	89.26	68.55
91.03	0.12	79.79	0.12	1.14	101.18	77.41
101.49	0.13	89.36	0.13	1.14	113.33	86.48
112.25	0.14	99.07	0.14	1.13	125.63	95.70
123.29	0.15	108.86	0.15	1.13	138.05	105.04
134.59	0.16	118.70	0.16	1.13	150.53	114.47
146.15	0.17	128.56	0.17	1.14	163.03	123.96
157.96	0.18	138.41	0.18	1.14	175.52	133.47
170.00	0.19	148.22	0.19	1.15	187.97	143.00
182.28	0.20	157.99	0.2	1.15	200.35	152.50
n =	20	Σ		25.36		
Factor de corrección (λ) = Σ/n				1.27		

Fuente: Elaboración propia

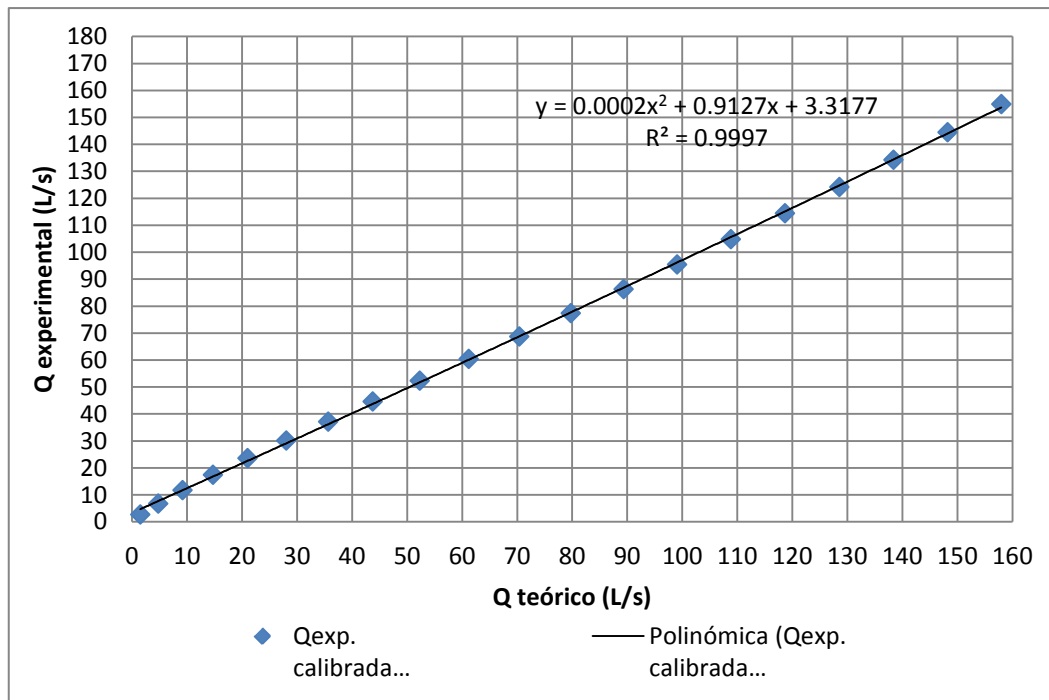


Figura N° 27: Relación entre caudal teórico y experimental calibrado para pendiente S=1°

Fuente: Elaboración propia

En la figura N°28 se observa la comparación de los resultados de caudales teóricos obtenidos en la tabla N°7 y los caudales hallados con la ecuación de calibración en la tabla N°37, en la que se observa los resultados experimentales son mayores al caudal teórico.

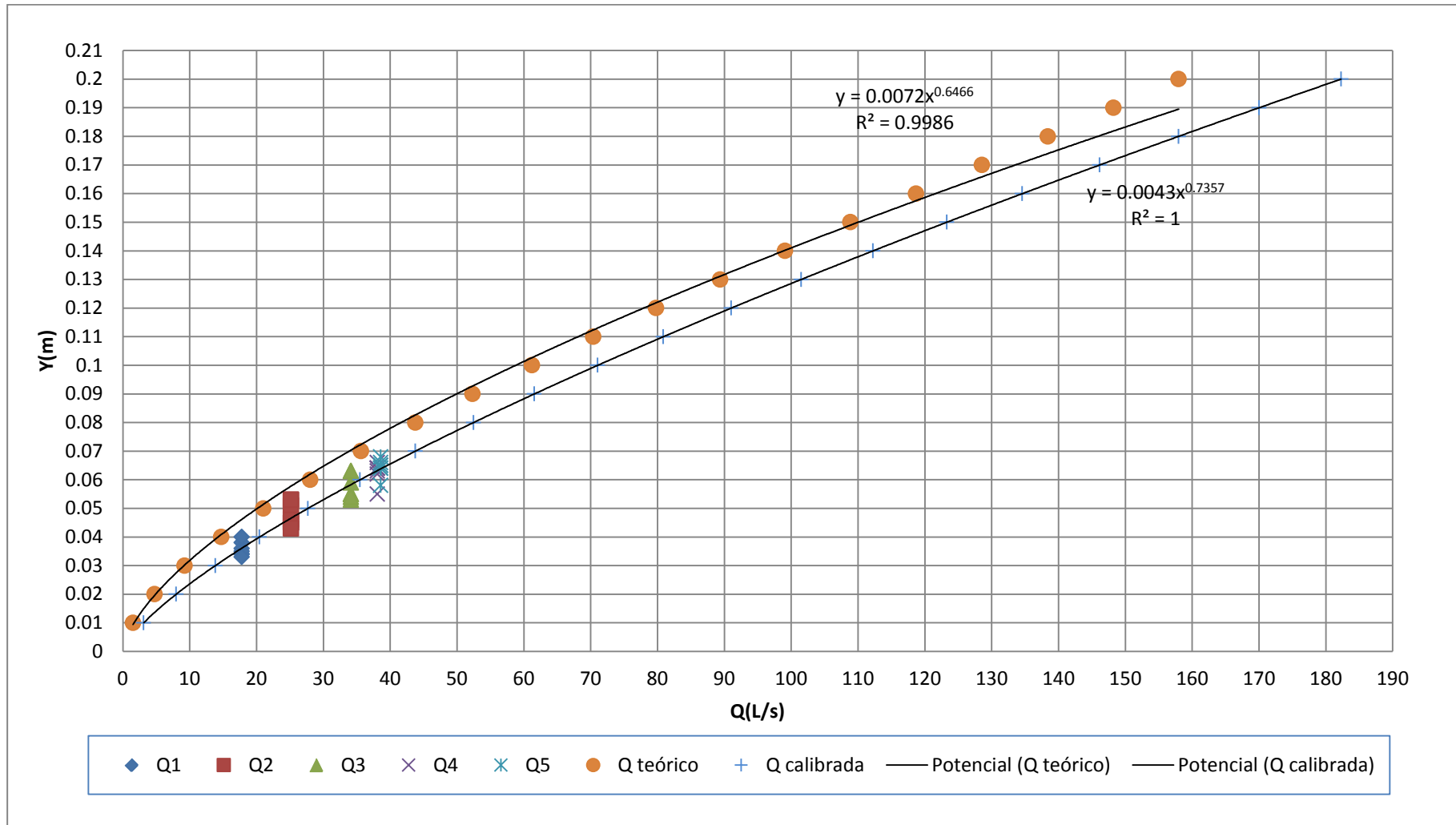


Figura N° 28: Comparación de curvas entre caudales teóricos y experimentales calibrados para pendiente $S=1^\circ$
 Fuente: Elaboración propi

3.4.3. Comparación de resultados de experimento de aforos

En la tabla N°38 presentada, se muestran los resultados de los caudales teóricos y del experimento respectivamente calibrados, las cuales se describen a continuación:

- Para la pendiente de $S=0.25^\circ$, del caudal experimental calibrada, el experimento (E04) son los valores que más se aproximan a los valores teóricos que el experimento (E01).
- Para la pendiente de $S=0.5^\circ$, del caudal experimental calibrada, el experimento (E02) son los valores que más se aproximan a los valores teóricos que el experimento (E05).
- Y para la pendiente de $S=1^\circ$, del caudal experimental calibrada, el experimento (E03) son los valores que más se aproximan a los valores teóricos que el experimento (E06).

Por lo que se define de acuerdo a lo expuesto, los resultados obtenidos con los datos de geometría del flume son teóricos y presentan variaciones en cuanto a los parámetros como por ejemplo por mencionar uno de ellos es el coeficiente de rugosidad de Manning por ser un dato teórico, tomado de experiencias distintas; en cuanto a los resultados de los experimentos propios en el flume del laboratorio son los reales con datos de experiencias propias, las variaciones pueden ser debido a la precisión de lectura de los tirantes, medición del tiempo entre otros factores.

La tabla N°39 plasma la comparación de caudales hallados con los factores de corrección y ecuación en el que se define que la forma de obtener el caudal experimental con los factores de corrección cumplen para los experimentos E04, E05, E06 y los caudales encontrados con la ecuación polinomial, ecuación que se obtuvo a partir de realizar una relación de caudal teórico experimental calibrado, cumplen para los experimentos E01, E02 y E03 los cuales son los primeras experiencias.

Por lo expuesto en los dos párrafos queda definida que las ecuaciones polinomiales presentadas en la tabla N°40 serán las que se usarán para determinar resultados de caudales experimentales de manera directa para las pendientes en que se trabajaron los experimentos $S=0.25^\circ$, 0.5° y 1° respectivamente.

Tabla N° 38: Comparación de caudales teórico y experimental calibrada

Tirante Y(m)	Caudal teórico			Caudal experimental calibrada					
	S=0.25°	S=0.5°	S=1°	E01 S=0.25°	E02 S=0.5°	E03 S=1°	E04 S=0.25°	E05 S=0.5°	E06 S=1°
	Q (L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	Q (L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	Q (L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)
0.01	0.76	1.07	1.52	0.89	2.80	3.07	1.27	2.35	3.11
0.02	2.38	3.36	4.76	2.46	6.76	7.87	3.25	6.14	7.97
0.03	4.62	6.53	9.23	4.46	11.31	13.63	5.62	10.77	13.83
0.04	7.35	10.40	14.71	6.81	16.31	20.14	8.29	16.05	20.45
0.05	10.51	14.86	21.02	9.46	21.66	27.25	11.22	21.88	27.69
0.06	14.02	19.82	28.03	12.37	27.31	34.90	14.35	28.17	35.48
0.07	17.82	25.21	35.65	15.52	33.23	43.01	17.68	34.88	43.75
0.08	21.88	30.95	43.77	18.88	39.38	51.55	21.19	41.97	52.46
0.09	26.16	36.99	52.31	22.45	45.74	60.48	24.85	49.42	61.57
0.1	30.60	43.28	61.21	26.22	52.30	69.76	28.66	57.19	71.05
0.11	35.19	49.77	70.38	30.16	59.04	79.39	32.60	65.27	80.88
0.12	39.89	56.42	79.79	34.28	65.95	89.33	36.68	73.64	91.03
0.13	44.68	63.19	89.36	38.56	73.01	99.58	40.87	82.29	101.49
0.14	49.53	70.05	99.07	43.00	80.23	110.11	45.18	91.19	112.25
0.15	54.43	76.97	108.86	47.59	87.58	120.90	49.61	100.34	123.29
0.16	59.35	83.93	118.70	52.33	95.08	131.96	54.13	109.74	134.59
0.17	64.28	90.90	128.56	57.21	102.70	143.27	58.76	119.36	146.15
0.18	69.20	97.86	138.41	62.23	110.44	154.82	63.49	129.20	157.96
0.19	74.11	104.81	148.22	67.38	118.30	166.60	68.31	139.26	170.00
0.2	78.99	111.71	157.99	72.66	126.27	178.60	73.22	149.53	182.28

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 39: Comparación de caudal experimental con factor de corrección y ecuación polinomial

Tirante Y(m)	Experimental calibrada						Factor de corrección			Ecuación polinomial		
	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E04	E05	E06	E01	E02	E03
	S=0.25°	S=0.5°	S=1°	S=0.25°	S=0.5°	S=1°	S=0.25°	S=0.5°	S=1°	S=0.25	S=0.5°	S=1°
	Q (L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	Q (L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	Q (L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)	Q (L/s)	Q(L/s)	Q(L/s)
0.01	0.89	2.80	3.07	1.27	2.35	3.11	0.78	1.10	1.92	1.47	5.12	5.48
0.02	2.46	6.76	7.87	3.25	6.14	7.97	2.44	3.45	6.03	2.73	7.71	8.90
0.03	4.46	11.31	13.63	5.62	10.77	13.83	4.73	6.69	11.71	4.49	11.27	13.64
0.04	6.81	16.31	20.14	8.29	16.05	20.45	7.54	10.66	18.65	6.66	15.62	19.45
0.05	9.46	21.66	27.25	11.22	21.88	27.69	10.77	15.23	26.65	9.19	20.61	26.18
0.06	12.37	27.31	34.90	14.35	28.17	35.48	14.37	20.32	35.55	12.05	26.15	33.68
0.07	15.52	33.23	43.01	17.68	34.88	43.75	18.27	25.84	45.21	15.19	32.13	41.86
0.08	18.88	39.38	51.55	21.19	41.97	52.46	22.43	31.72	55.51	18.59	38.49	50.62
0.09	22.45	45.74	60.48	24.85	49.42	61.57	26.81	37.91	66.34	22.22	45.15	59.88
0.1	26.22	52.30	69.76	28.66	57.19	71.05	31.37	44.36	77.62	26.07	52.05	69.56
0.11	30.16	59.04	79.39	32.60	65.27	80.88	36.07	51.01	89.26	30.10	59.14	79.61
0.12	34.28	65.95	89.33	36.68	73.64	91.03	40.89	57.82	101.18	34.31	66.37	89.95
0.13	38.56	73.01	99.58	40.87	82.29	101.49	45.80	64.76	113.33	38.66	73.69	100.53
0.14	43.00	80.23	110.11	45.18	91.19	112.25	50.77	71.80	125.63	43.15	81.08	111.32
0.15	47.59	87.58	120.90	49.61	100.34	123.29	55.78	78.89	138.05	47.75	88.49	122.26
0.16	52.33	95.08	131.96	54.13	109.74	134.59	60.83	86.02	150.53	52.45	95.90	133.31
0.17	57.21	102.70	143.27	58.76	119.36	146.15	65.88	93.17	163.03	57.24	103.29	144.44
0.18	62.23	110.44	154.82	63.49	129.20	157.96	70.93	100.31	175.52	62.11	110.63	155.62
0.19	67.38	118.30	166.60	68.31	139.26	170.00	75.96	107.42	187.97	67.03	117.91	166.81
0.2	72.66	126.27	178.60	73.22	149.53	182.28	80.96	114.50	200.35	72.00	125.11	178.01

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 40: Ecuaciones y coeficiente de correlación

Pendiente	Ecuación polinomial	Coficiente
S(°)	Y=Qexperimental ; X=Qteórico	R ²
0.25°	$y = 0.0016x^2 + 0.774x + 0.8841$	0.9999
0.5°	$y = -0.0004x^2 + 1.1296x + 3.9129$	0.9994
1°	$y = 0.0003x^2 + 1.0548x + 3.8776$	0.9997

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura N°29 se muestra las curvas representadas mediante las ecuaciones de la tabla N°40, por lo que para determinar un valor de un caudal se puede hacer el uso de las ecuaciones o las curvas, cabe mencionar que el error con el que trabaja es de: para S=0.25°, S=0.5° y S=1° son: de ±0.03, ±0.61 y ±0.68 litros por segundo respectivamente.

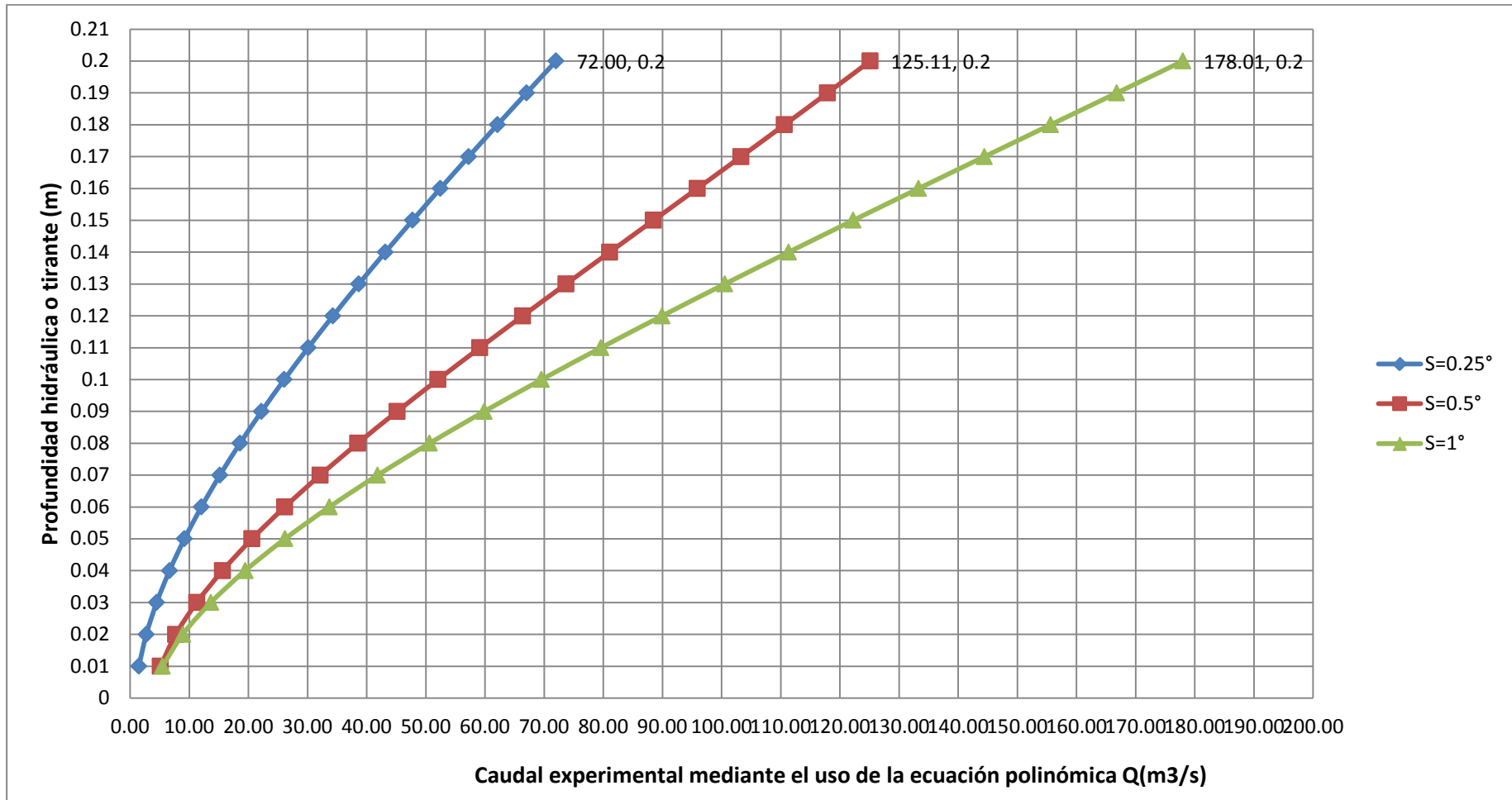


Figura N° 29: Curvas de determinación de caudal experimental para pendientes $S=0.25^\circ$, 0.5° y 1°
 Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: RECOPIACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

4.1. Alcantarilla

Las alcantarillas son estructuras hidráulicas de luz menor a 6.0 metros, definida hidráulicamente como un conducto cerrado, se construyen mayormente en los cruces de las vías carreteras, ferroviarias o urbanas, son consideradas como drenajes transversales elementales y a lo largo de la vía resulta de suma importancia e incide a la vez en los costos, estas estructuras pueden ser diseñadas de variedades de formas y construidas en distintos materiales como son los convencionales y prefabricados.

4.1.1. Finalidad de una alcantarilla

La finalidad de la existencia de las estructuras de alcantarillas son principalmente encausar y transportar el caudal adecuadamente de forma parcialmente llena (trabaja como un canal a superficie libre) o llena (trabaja a presión) las aguas superficiales de un río, quebrada, pluvial o hasta aguas residuales, asimismo permitir externamente el transporte de vehículos, personas y animales. Por tanto, para obtener el objetivo es importante determinar la sección hidráulica más óptima para el mejor transporte y comportamiento del flujo, asimismo permita el flujo de caudal máximo, sin sobrepasar la carga máxima (H) a la entrada.

4.1.2. Ubicación de alcantarilla

La ubicación de las alcantarillas dependen del alineamiento y pendiente natural del cauce, ésta última se debe tener en cuenta ya que su incremento o disminución influyen en la velocidad del flujo y con ésta el transporte de sedimentos, por lo que en su diseño primará el aspecto técnico (considerar todas las características hidráulicas) más que en los costos. Su ubicación dependerá también de la experiencia y el buen juicio del ingeniero, quién se deberá mucho de los diversos estudios que se realicen en la zona de construcción como: los aspectos hidrológicos, hidráulicos, estructurales entre otros, con el fin de tener una eficiente estructura que brinde el buen paso del flujo. Según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, en la proyección e instalación de alcantarillas el aspecto técnico debe prevalecer sobre el aspecto económico.

4.1.3. Tipos de alcantarillas

Según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje los tipos de alcantarillas utilizadas en los proyectos de carreteras en nuestro país son los de: marco de concreto, tuberías metálicas corrugadas, tubería de concreto y tubería de polietileno de alta densidad y las secciones más usuales son rectangulares, cuadradas y circulares. Ya tratándose de casos muy especiales se pueden usar las secciones parabólicas y abovedadas, dependiendo también del costo. Como por ejemplo un caso es en la zona de la selva de nuestro país donde existen caudales importantes con pendiente baja, lo ideal es colocar alcantarillas que tengan una sección mayor hidráulicamente.

La Administración Federal de carreteras - FHWA del Departamento de Transportes U.S. (2012) precisa que: “Las alcantarillas de mayor sección se define mejor sobre la base de aspectos de diseño estructural que sobre la base de consideraciones hidráulicas, como en las formas especiales que son: las elípticas verticales y horizontales, arcos de perfil bajo y alto, en general los tramos de las alcantarillas varían entre 7m a 14m” (p.1.13).

Así mismo para la elección del tipo de alcantarilla es también muy importante tener en cuenta el acceso a la zona de proyecto y el material que se dispone en la zona para llevar a cabo su construcción, como también el costo.

En la figura N°30 se muestran las secciones típicas de alcantarillas, asimismo en la figura N°31 las secciones de alcantarillas con la diferencia de que estas presentan fondo natural y en la figura N°32 la forma típica de una alcantarilla de mayor sección, que presenta la forma de un arco parabólico.

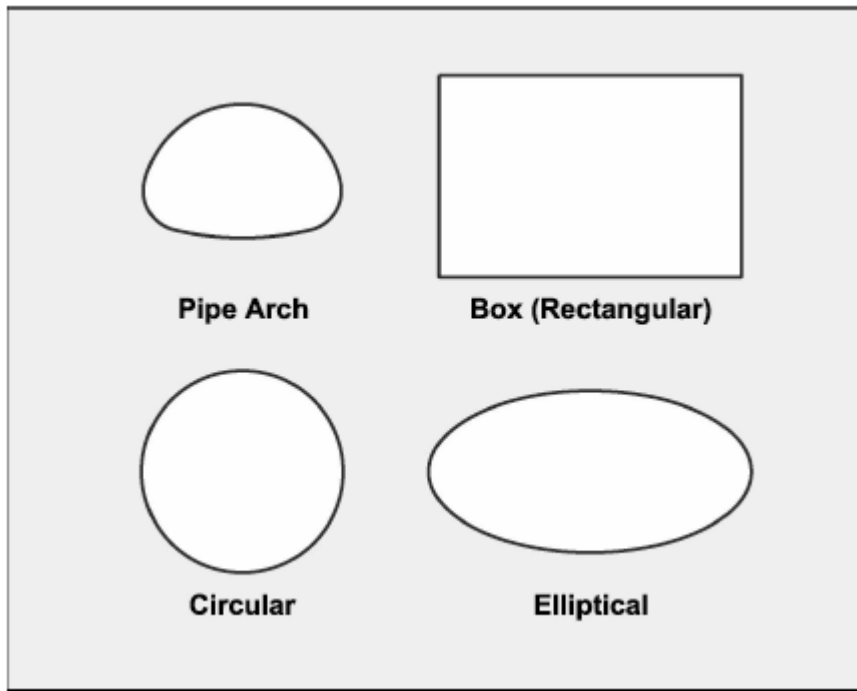


Figura N° 30: Secciones típicas de alcantarillas
 Fuente: Hydraulic Design of Highway Culverts. FHWA. U.S.

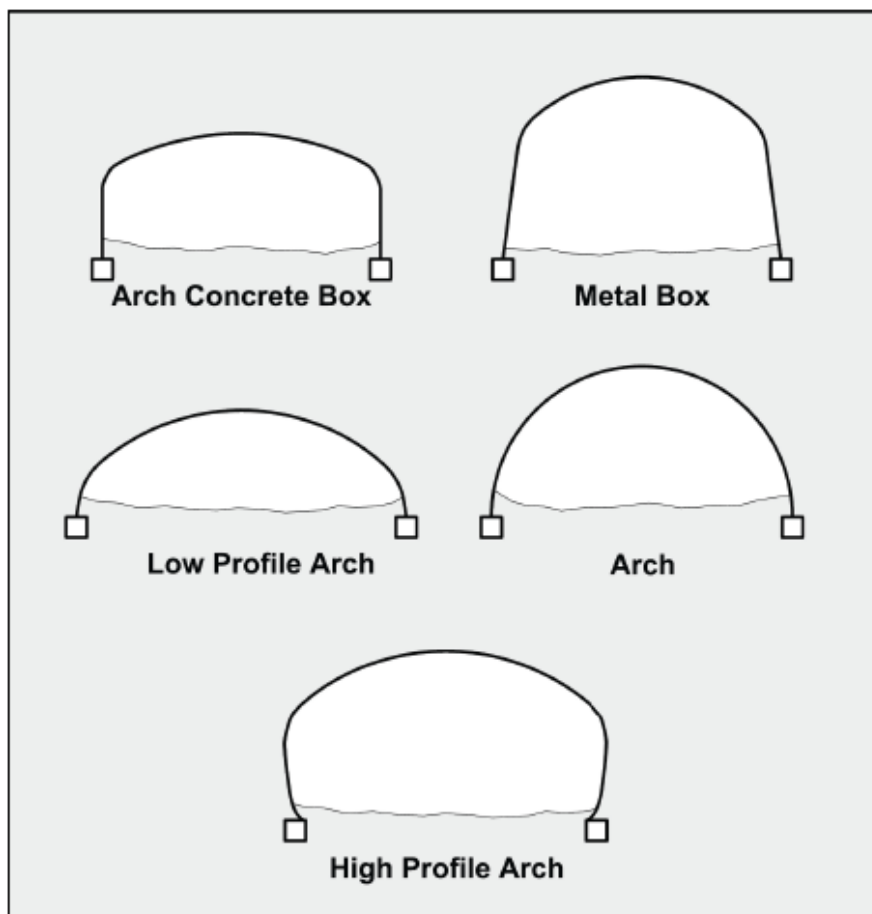


Figura N° 31: Secciones de alcantarillas con fondo natural
 Fuente: Hydraulic Design of Highway Culverts. FHWA. U.S.



Figura N° 32: Forma típica de alcantarilla de mayor sección
Fuente: Hydraulic Design of Highway Culverts. FHWA. U.S.

4.1.3.1. Alcantarillas de marco de concreto cuadradas y rectangulares

Este tipo de alcantarilla generalmente es recomendable usar en zonas donde el suelo de fundación o terreno natural es de mala calidad y su ubicación se dará en el nivel que se requiera, siempre y cuando el nivel superior de la losa coincida en el nivel de la rasante.

Se construyen en lugares donde las avenidas son mayores y cuentan con caudales de diseño importantes o relativamente grandes, en especial si el flujo es supercrítico, y para los casos donde los cauces naturales son muy anchos o el terraplén de la carretera es muy bajo, se opta por la colocación de alcantarillas múltiples, teniendo en cuenta por supuesto que no exista ningún tipo de obstrucción por las subdivisiones, debido posiblemente a la disminución de velocidad del flujo del cauce natural, que generará sedimentación y depósito de algunos sólidos flotantes, por ello que la mejor alcantarilla es la que cuenta con mayor sección, a continuación se muestran algunos tipos de alcantarillas de concreto, en la figura N°33 una alcantarilla de cajón típico de concreto, en la figura N°34 alcantarilla de caja multicelda con aleros también de material concreto y en la figura N°35 se muestran alcantarillas de doble barril de concreto con la diferencia en los aleros, la primera en ángulo recta y la segunda con ángulo de inclinación.



Figura N° 33: Alcantarilla de cajón típico de concreto con aleros
Fuente: Hydraulic Design of Highway Culverts. FHWA. U.S.



Figura N° 34: Alcantarilla de caja multicelda con aleros
Fuente: Hydraulic Design of Highway Culverts. FHWA. U.S.

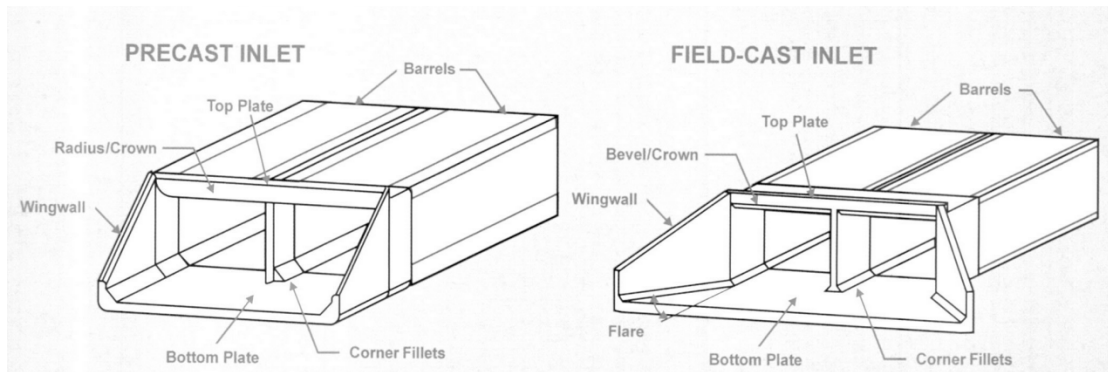


Figura N° 35: Alcantarillas tipo cajón de concreto, de barril doble con alero recto y en ángulo
 Fuente: A Better Design For Box Culverts? Kerényi, K., J Sterling, J., Goeden, K., Phillips, R., y Oien, P.

4.1.3.2. Alcantarillas de tuberías

Las alcantarillas de tipo circular como son las tuberías se aplican en las vías de alto volumen de tránsito, pueden soportar hasta cargas estructurales altas como se puede observar en la figura N°36. Cuando los caudales son pequeños y por necesidad de mantenimiento y limpieza, para ello se adoptará la sección mínima de la tubería de 0.9 m (36") de diámetro o su equivalente de otra sección. Asimismo para alcantarillas de tuberías múltiples se considerará una separación de la mitad del diámetro del tubo, considerado la distancia de un mínimo de 0.4 m hasta 1.0 m, ello con la finalidad de contar con la facilidad de compactar el relleno intermedio.

En cuanto a costos éstas resultan ser razonables, a diferencia de los arcos de tubería y las elípticas que son más costosas.



Figura N° 36: Alcantarilla de sección circular multiceldas
 Fuente: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/03/alcantarillas-circulares-o-tubos-de.html>

4.1.4. Elección de material

La elección del material para la construcción o colocación de una alcantarilla dependerá de varios aspectos importantes, por el mismo hecho de que nuestro País cuenta con regiones diferentes que cada uno tiene su particularidad en cuanto: al tipo de suelo, condiciones de terreno, condiciones hidrológicas, materiales propios existentes en la zona, aspectos que requieren de estudios para la buena elección del material que permita cumplir con la vida útil de la estructura.

De acuerdo a los factores que condicionan el diseño de las alcantarillas que se mencionan en adelante, es recomendable el uso de material de concreto de alta resistencia y tubos de alta densidad. Asimismo se mencionan los siguientes materiales:

Entre los que más se usan se tienen:

- Concreto (reforzado y sin reforzar)
- Muros de piedra bruta o bolonerías
- Acero (Liso y corrugado)
- Aluminio corrugado

y para casos o condiciones especiales se tienen:

- Hierro fundido
- Arcilla vitrificada
- Fibra bituminosa

4.1.5. Partes o elementos de una alcantarilla

Una alcantarilla consta de las siguientes partes principales:

- a) Bocatoma. Es la entrada o abanico (inlet)
- b) Barril o garganta. Parte central o cuerpo de la alcantarilla.
- c) Difusor. Salida o abanico de expansión (oulet)
- d) Batea o invertido. Es la parte inferior o fondo del barril o garganta.
- e) Corona o muro cabezal. Techo o parte superior interior del barril o garganta.
- f) Muros aletas. Son los muros que direccionan el flujo hacia la entrada y a la salida de la estructura, a la vez se utilizan para soportar o contener el terraplén de la vía.

- g) Estructura de salida. Son las obras construidas para direccionar el flujo, disminuir la velocidad, también se pueden construir rampas, escalones en presencia de pendientes altas.

Las partes descritas se muestran en la siguiente figura N°37.

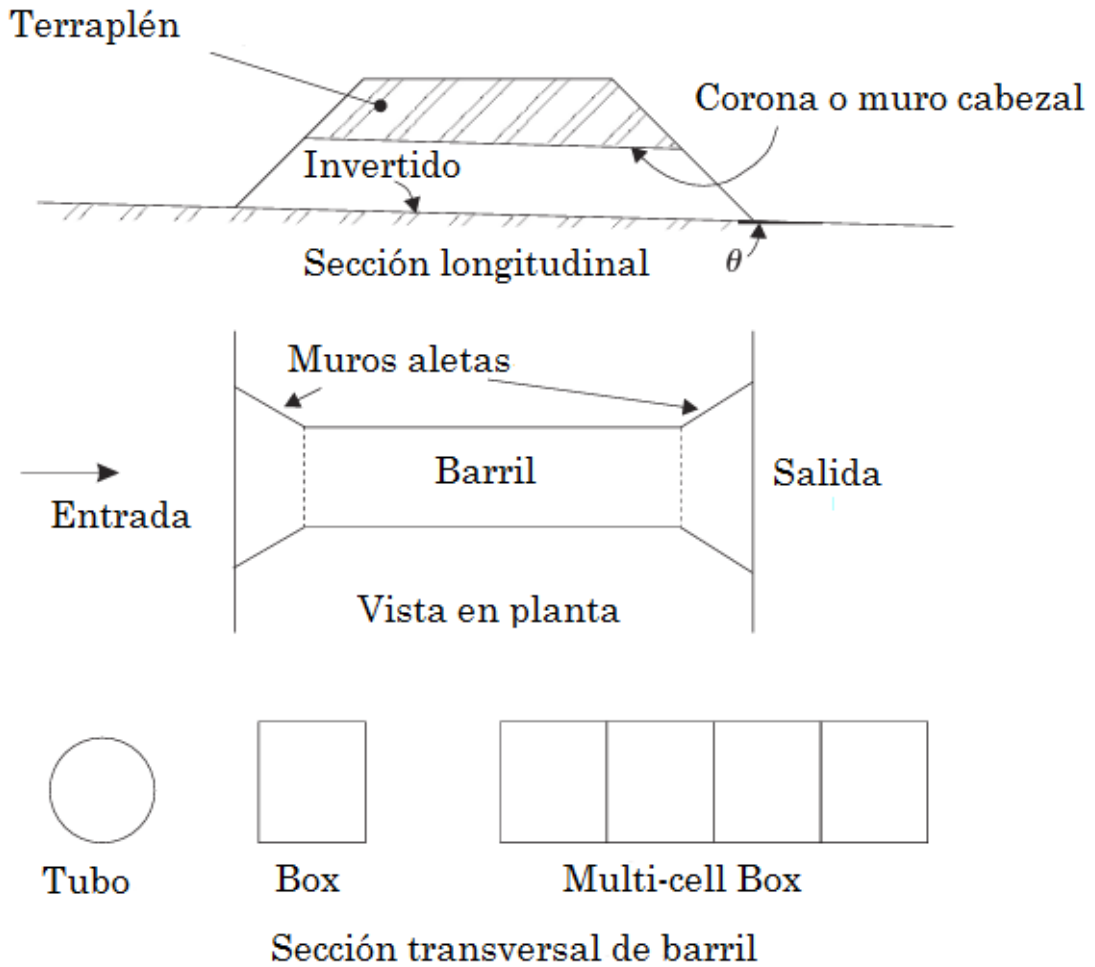


Figura N° 37: Elementos importantes de una alcantarilla

Fuente: The Hydraulic of Open Channel Flow: an Introduction. Chanson, H.

4.2. Factores que condicionan el diseño hidráulico de una alcantarilla

Los factores importantes que condicionan al momento de realizar el diseño de una alcantarilla para el buen comportamiento hidráulico son: El caudal de diseño, la geometría, pendiente de cauce y alcantarilla, velocidad del flujo, tamaño de la alcantarilla, rugosidad de alcantarilla, material de transporte o arrastre, condiciones a la

entrada y a la salida, sección transversal, entre otros. Por lo que se opta realizar estudios rigurosos y minuciosos de laboratorio.

En cuanto al factor de velocidad se tendrá las velocidades máximas y mínimas permisibles, como se muestra en la tabla N°41 la cual se aplica en el País, basadas o sustraídas de referencias extranjeras.

Tabla N° 41: Velocidades máximas admisibles en conductos revestidos

TIPO DE REVESTIMIENTO	VELOCIDAD (m/s)
Concreto	3.0 - 6.0
Ladrillo con concreto	2.5 - 3.5
Mampostería de piedra y concreto	2.0

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje

La velocidad mínima a considerarse es igual a 0.25m/s, siempre y cuando se verifique que esta velocidad no genere sedimentación en la alcantarilla, ya que de ser así estaría provocando la reducción de la capacidad hidráulica, asimismo la velocidad de salida de flujo de la alcantarilla deberá ser limitada para evitar socavaciones; se menciona que generalmente ésta velocidad es mayor a la del escurrimiento natural, para ello se cuenta con la tabla N°42 de velocidades máxima admisibles.

Tabla N° 42: Velocidades máximas admisibles (m/s) en canales no revestidos

TIPO DE TERRENO	FLUJO INTERMITENTE (M/S)	FLUJO PERMANENTE (M/S)
Arena fina (no coloidal)	0.75	0.75
Arcilla arenosa (no coloidal)	0.75	0.75
Arcilla limosa (no coloidal)	0.90	0.90
Arcilla fina	1.00	1.00
Ceniza volcánica	1.20	1.00
Grava fina	1.50	1.20
Arcilla dura (coloidal)	1.80	1.40
Material graduado (no coloidal)		
Desde arcilla grava	2.00	1.50
Desde limo a grava	2.10	1.70
Grava	2.30	1.80
Grava gruesa	2.40	2.00
Desde grava a piedras (<15 cm)	2.70	2.10
Desde grava a piedras (>20 cm)	3.00	2.40

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje

4.3. Consideraciones importantes para el diseño de una alcantarilla

4.3.1. Material sólido de arrastre

Fuera del material propio que lleva el flujo en su recorrido, arrastra también materiales naturales, como arbustos, ramas de árboles, malezas; asimismo materiales que son generados y arrojados como son los desperdicios y otros, son todos ellos que a la existencia de una alcantarilla son productos que afectan a la estructura causando el mal comportamiento hidráulico por la acumulación de estos elementos. Para tratar de contrarrestar estos daños a la alcantarilla, en el diseño es importante considerar otros tipos de estructuras a la entrada aguas arriba de la alcantarilla, que ayuden a la acumulación de los elementos para luego ser eliminados. En zonas donde se ven mayor afección de dichos elementos se opta en el diseño, una sección mayor para la alcantarilla, que permitan el paso de todos los sólidos, para lo cual se tiene una alternativa práctica de cálculo del caudal sólido que se muestra a continuación:

$$Q_s = \rho AV \quad (27)$$

Donde:

Q_s = Caudal sólido (m^3/s)

ρ = Densidad promedio del material sólido $2650 \text{ kg}/m^3$

A = Área transversal del material sólido retenido (m^2)

V = Velocidad aproximada del flujo sólido (Considerar $2m/s$, o aplicar dependiendo de cada zona)

4.3.2. Socavación local a la salida de la alcantarilla

La socavación se debe por la velocidad alta tanto en la entrada y la salida de la alcantarilla generando afecciones a la estructura. Para poder moderar la velocidad del flujo se tienen diversas estructuras de entrada y salida en una alcantarilla, como también para evitar erosiones en el lecho y a orillas a la salida del culvert, se pueden evitar aumentando la rugosidad del barril, ya que el flujo en un canal o cauce la restringe la alcantarilla por lo que, la velocidad dentro puede resultar más alto, asimismo para evitar la socavación local se realizan construcciones de protección como: emboquillados de piedra, enrocados u otros tipos de revestimiento.

Para la determinación del diámetro medio de los elementos de protección se tiene la siguiente fórmula de Laushey:

$$d_{50} = \frac{V^2}{3.1 g} \quad (28)$$

Donde:

d_{50} : Diámetro medio de los elementos de protección (m)

V : Velocidad media del flujo a la salida de la alcantarilla (m/s)

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

Según *Highway Drainage Design Manual Hydraulics - Arizona Department of Transportation, ADOT (2007)* se dice que “Generalmente no se requiere protección en el flujo natural si la velocidad de salida es inferior a 1.5 veces la velocidad natural de la corriente. Asimismo se requieren disipadores de energía cuando la relación entre la salida y las velocidades naturales de la corriente de agua es mayor que 2.5 o la velocidad de salida es mayor que 4.57 m/s” (p.8-7).

4.3.3. Mantenimiento y limpieza

Para efectuar este trabajo, en el diseño de la alcantarilla se deberá considerar las dimensiones de la alcantarilla, tal que permita la facilidad de darle mantenimiento con el fin de evitar obstrucciones o el mal funcionamiento hidráulico.

4.3.4. Seguridad y vida útil

La seguridad y vida útil de la alcantarilla depende de varios aspectos como: el material con la que se construya, la velocidad del flujo y los elementos que puede arrastrar, ya que por ejemplo una construcción con material metálico como es el caso de los tubos, tiende a ser afectado por el mismo ambiente y el flujo, por ello que no es recomendable su uso.

De acuerdo a las investigaciones, es que para las estructuras menores generalmente realizan análisis de riesgo muy simples casi sin importancia, sin embargo para zonas donde ocurren daños por inundaciones y la alcantarilla resultara de sección mayor, es necesario realizar los análisis de riesgo con la finalidad de encontrar la capacidad

óptima de la alcantarilla con base en una comparación de beneficios y costos. Contando con ello el diseñador puede usarlo para analizar alternativas donde el daño por inundación es grande o el costo de la alcantarilla es significativo.

Asimismo la vida útil tiene que ver también con la construcción de la carretera, si la alcantarilla se encuentra en un lugar donde el reemplazo o el revestimiento serán prácticos y la reconstrucción de la vía ha de ser en tiempo corto, entonces la vida útil de la alcantarilla será corta. En cambio si la ubicación del culvert no se encuentra en un lugar práctico para realizar las actividades mencionadas entonces su vida útil debe ser la misma al de la vía.

4.4. Tipos de estructuras de entrada y salida en una alcantarilla

4.4.1. Estructuras de entrada

Las estructuras de entrada en una alcantarilla ayudan y mejoran el ingreso del flujo, para ello se debe tener en cuenta que ésta se realice con la mínima contracción posible, las estructuras que se pueden construir son las siguientes:

4.4.1.1. Cajas colectoras

Las cajas colectoras son un tipo de entrada de las alcantarillas, captan agua de las cunetas de corte, cunetas en separadores, filtros o zanjas de coronación.

4.4.1.2. Aleros, cabezotes

La existencia de aleros en la entrada de las alcantarillas ayuda a direccionar el flujo hacia la alcantarilla, mejorando de esta forma su desempeño hidráulico, como también sirven para retención de material dando estabilidad estructural a los lados de la alcantarilla. Por lo que para las aletas lo ideal es mantener un ángulo de 45°, sin embargo ésta puede variar de acuerdo al caso y condiciones que se presenten.

Asimismo según las Normas para Obras de Drenaje Vial de Paraguay el ángulo ideal de los aleros que forma con la dirección del flujo es de 50° y que tratándose de aplicar aristas en secciones de cajón, hasta no superar la carga hidráulica “He” no es notorio la eficiencia hidráulica, sin embargo se pueden aplicar bisel en el dintel de entrada, con la finalidad de ayudar el ingreso de ramas, evitando su acumulación.

4.4.1.3. Placas de solera

Estas protegen contra la erosión, brindan la facilidad de ingreso de flujo a la alcantarilla y contrarrestan las fuerzas de subpresión presentes.

4.4.2. Estructuras de salida

Las estructuras de salida se ejecutan generalmente idénticas a la entrada.

4.4.2.1. Aleros, cabezotes

En la salida de las alcantarillas, los aleros, cabezotes, aparte de cumplir la función de direccionar el flujo como se mencionó en las estructuras de entrada, éstas sirven también para disminuir la velocidad de salida, asimismo estructuralmente contienen el terraplén de los lados de la alcantarilla dándole estabilidad a la vía como a la propia alcantarilla.

4.4.2.2. Canales y escalones

Los canales y escalones se colocan o se construyen en función de las pendientes o niveles de la corriente, especialmente para las velocidades de flujo muy alto que en ocasiones se presentan, para ello se pueden construir rampas, las cuales son canales con pendientes altos, en el que la velocidad es fuerte como por ejemplo mayores a los 6 m/s y de régimen supercrítico. Asimismo en las partes o zonas más bajas construir escalones, donde ya la pendiente baja, formando un régimen subcrítico. Los escalones deberán ir acompañados de pantallas (ver figura N°38) para recibir el agua para que éstas no se disparen por la pendiente, de ésta forma se disipará la energía cinética del flujo por impacto con los escalones.

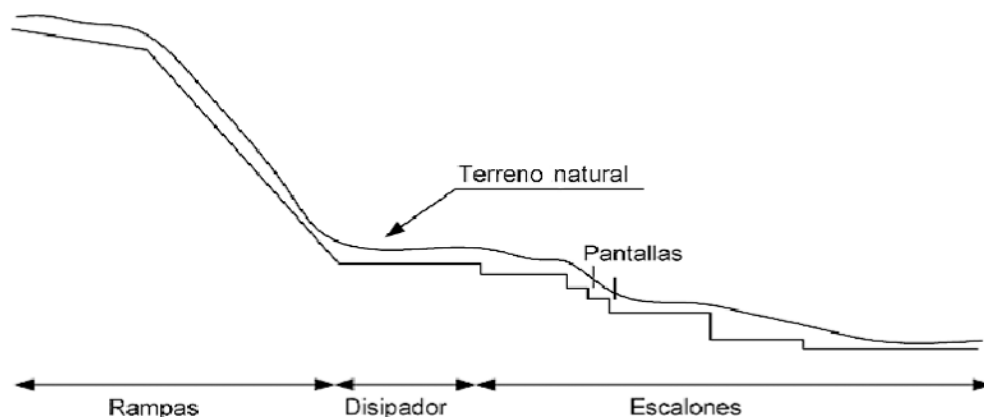


Figura N° 38: Rampas, escalones y disipadores de energía
Fuente: Estructuras en canales. Silva.G.

4.5. Tipos de flujo en una alcantarilla

Según la USGS (United States Geological Survey) los tipos de flujo en una alcantarilla son siete, pero para el diseño de alcantarillas en carreteras se usan dos tipos de flujo y son; flujos en alcantarillas con control de entrada y control de salida.

Y según la Administración Federal de carreteras (FHWA), la inclinación del barril es el factor principal que influye en si una alcantarilla estará o no en el control de entrada o salida.

4.5.1. Alcantarilla con control de entrada

Control de entrada quiere decir que la capacidad hidráulica en la alcantarilla depende de la entrada, de la geometría de la embocadura, la forma, área de la sección transversal del conducto y de los biseles que se pueden aplicar. Por lo que la capacidad, está determinada por la profundidad de remanso o carga hidráulica (H_e), lo cual es la longitud vertical en la entrada, desde el umbral de la alcantarilla hasta la energía total de esa sección, es decir; la profundidad (Y) más la altura de la velocidad, como se observa en la siguiente figura N°39.

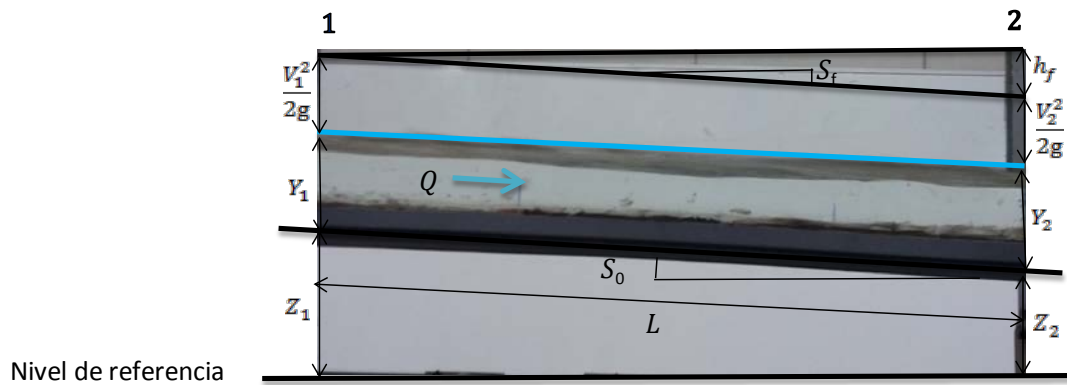


Figura N° 39: Flujo uniforme en un canal abierto
Fuente: Elaboración propia

Por lo que se define que con control de entrada, los factores de rugosidad, el largo de conducto y las condiciones de la salida, no son factores que determinan o afectan la capacidad de la alcantarilla y con respecto a la pendiente si ésta aumenta o disminuye no influye tanto en la altura del remanso, entonces si la velocidad disminuye y se tenga la dificultad en su determinación la altura del agua coincidirá con la línea de energía total.

Entonces se dice que el control de entrada ocurre cuando la alcantarilla tiene la capacidad de conducir flujo mucho más que el permitido por el conducto de entrada, por lo que el control se encuentra a la entrada de la alcantarilla contando con profundidad crítica en la sección de control pasando a ser un régimen supercrítico en la parte aguas abajo.

Según FHWA, un método para aumentar el rendimiento de entrada es el uso de bordes biselados en la entrada de la alcantarilla, debido a que los bordes biselados reducen la contracción del flujo, la recomendación de biseles es de 45° en todas las alcantarillas a la entrada de la corona o muro cabezal, sea en el control de entrada o salida.

4.5.1.1. Entrada sumergida

Para denominar que la entrada se encuentra sumergida no solo basta que la carga hidráulica H_e se encuentre cubriendo el ingreso de la alcantarilla, más sino que H_e sea mayor o igual que un valor crítico digamos H^* , por lo que este valor es igual a 1.2 o 1.5 veces la altura de la alcantarilla, sin embargo por hacerlo práctico se considera 1.5D.

$$H_e \geq H^*$$

$$H^* = 1.5D$$

Asimismo una alcantarilla que trabaja con entrada sumergida, la entrada de la alcantarilla funciona como un orificio, orificio que aguas arriba es sumergida y aguas abajo fluye libremente.

4.5.1.2. Entrada no sumergida

Para las condiciones de entrada no sumergida, la alcantarilla funciona como un vertedero, el cual es una sección que controla el flujo no sumergido en la que se puede definir la elevación de la superficie del flujo aguas arriba para una carga dada, a la vez ésta definición dependerá de la geometría del vertedero, entonces para entrada no sumergida el flujo será semejante al de un vertedero.

$$H_e < H^*$$

$$H^* = 1.5D$$

Asimismo en el caso de la entrada no sea sumergida y la salida sí, entonces se forma un resalto hidráulico en el conducto de la alcantarilla.

4.5.1.3. Cálculo de He en Obras con Control de Entrada

Para la obtención directa de la carga hidráulica a la entrada de la alcantarilla, se cuenta con la ecuación polinómica de grado cinco, creada mediante modelos de regresión por el Federal Highway Administration (FHWA), la cual es:

$$He = [a + bzF + c(zF)^2 + d(zF)^3 + e(zF)^4 + f(zF)^5 - 0.5S]D \quad (29)$$

Donde:

He = carga hidráulica a la entrada (m)

a...f = coeficientes de regresión (ver tabla N°43)

F = $Q/D^{5/2}$ en alcantarillas circulares o $Q/BD^{3/2}$ en alcantarillas de cajón o arco

Q = caudal (m³/s)

D = altura de la alcantarilla (m); en caso de tubos diámetro

B = ancho o luz de la alcantarilla (m)

S = pendiente longitudinal (m/m)

Z = 1.81130889 (factor de conversión para unidades métricas)

Tabla N° 43: Coeficientes de regresión para alcantarillas con Control de Entrada

Descripción Según Tipo de Obra	Código	a	b	c	d	e	f
Alcantarilla circular de concreto, aristas rectas, muro frontal, alas $33 \leq \beta \leq 83^\circ$	1	0.087483	0.706578	-0.2533	0.0667	-0.00662	0.000251
Alcantarilla circular de concreto, aristas ranuradas, muro frontal, alas $33 \leq \beta \leq 83^\circ$	2	0.114099	0.653562	-0.2336	0.059772	-0.00616	0.000243
Alcantarilla circular de concreto, aristas ranuradas, tubo prolongado (sin muro ni alas)	3	0.108786	0.662381	-0.2338	0.057959	-0.00558	0.000205
Alcantarilla circular de acero corrugado, muro frontal, alas $33 \leq \beta \leq 83^\circ$	4	0.167433	0.538595	-0.14937	0.039154	-0.00344	0.000116
Alcantarilla circular de acero corrugado, tubo cortado a bisel (sin alas)	5	0.107137	0.757789	-0.3615	0.123393	-0.01606	0.000767
Alcantarilla circular de acero corrugado, tubo prolongado (sin muro ni alas)	6	0.187321	0.567719	-0.15654	0.044505	-0.00344	0.00009
Alcantarilla de cajón, aristas rectas, muro frontal, alas $33 \leq \beta \leq 83^\circ$	7	0.072493	0.507087	-0.11747	0.02217	-0.00149	0.000038
Alcantarilla de cajón, aristas rectas, muro frontal, alas $\beta = 17^\circ$ o 100°	8	0.122117	0.505435	-0.10856	0.020781	-0.00137	0.000035
Alcantarilla de cajón, aristas rectas, muro frontal, alas $\beta = 0^\circ$	9	0.144138	0.461363	-0.09215	0.020003	-0.00136	0.000036
Alcantarilla de cajón, aristas biseladas, muro frontal, alas $\beta = 50^\circ$	10	0.156609	0.398935	-0.06404	0.011201	-0.00064	0.000015

Fuente: Federal Highway Administration (FHWA)

4.5.2. Alcantarilla con control de salida

En el control de salida influyen todos los aspectos del control de entrada y los factores dentro de la alcantarilla, como por ejemplo la rugosidad, área, forma, longitud y pendiente. El flujo en alcantarillas con control de salida puede presentarse como conducto lleno o parcialmente lleno, sea en una parte de la alcantarilla o en toda, por ello si en cualquier sección fluye lleno, entonces es sección llena. Entonces debido a que son dos casos diferentes el cálculo de la carga es diferente, casos sumergido y no sumergido.

Asimismo control de salida se genera también cuando la alcantarilla tiene una pendiente moderada, baja, o leve en el que muestre un régimen de flujo subcrítico y como también el nivel de aguas arriba y aguas abajo se encuentre por debajo del diámetro o altura de la alcantarilla.

$$H_e < D$$

$$Y_{Salida} < D$$

4.5.2.1. Con salida sumergida

Para este caso la carga o energía necesaria para que circule el caudal por la alcantarilla, se tratará de ganar la pérdida de entrada sea por rugosidad y altura de velocidad en la salida, para ello se cuenta con la siguiente ecuación:

$$H = \left[1 + Ke + \frac{2gn^2L}{R^{4/3}} \right] \frac{V^2}{2g} \quad (30)$$

Donde:

H = Diferencia entre línea d energía en la sección de entrada y la cota piezométrica en la sección de salida.

Ke = Ce = Coeficiente de pérdida de carga en la entrada de la alcantarilla (ver tabla N°44)

n = Coeficiente de Rugosidad de Manning (ver tabla N°45)

L = Longitud de la alcantarilla (m)

R = Radio hidráulico (m)

V = Velocidad media en la alcantarilla (m/s)

Entonces teniendo hallada el valor de H, la carga a la entrada de la alcantarilla se obtiene sumando la carga del nivel de aguas a la salida de la alcantarilla (ver figura N°40)

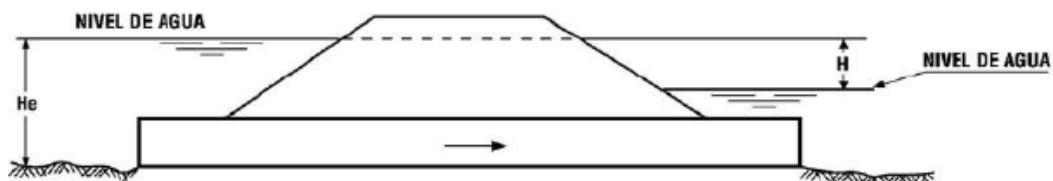


Figura N° 40: Esguerrimiento con salida sumergida

Fuente: Manual de Carreteras de Paraguay-Normas para Obras de Drenaje Vial

Tabla N° 44: Coeficientes de pérdida de carga a la entrada en alcantarillas con control de salida

Tipo de Estructura y Características de la Entrada	Ke
1. Tubos de concreto	
- Conducto prolongado fuera del terraplén	
Arista ranurada	0.2
Arista recta	0.5
- Con muro de cabecera, con o sin muros de ala	
Arista ranurada	0.2
Arista recta	0.5
Arista redondeada ($r = 1/12 D$)	0.2
Arista biselada	0.2
2. Tubos circulares de metal corrugado	
- Conducto prolongado fuera del terraplén	
Sin muro de cabecera	0.9
Con muro de cabecera perpendicular al eje del tubo con o sin muros de ala y aristas rectas	0.5
Con muro de cabecera perpendicular al eje del tubo con o sin muros de ala y aristas biseladas	0.25
3. Alcantarilla de cajón en concreto armado con muro de cabecera paralelo al terraplén	
- Sin muros de ala y bordes de aristas rectas	0.5
- Bordes aristas aristas redondeadas ($r=1/12 D$) o biseladas	0.2
- Con muros de ala formando ángulos entre 30° y 75° con el eje del conducto	0.4
- Bordes de aristas rectas	0.2
- Bordes del dintel con aristas redondeadas ($r=1/12 D$) o biseladas	0.5
- Con muros de ala formando ángulos entre 10° y 25° con el eje del conducto y aristas rectas	0.7
- Con muros de ala paralelos y aristas rectas en el dintel	0.1
- Con muros de ala alabeados y aristas redondeadas ($r=1/4 D$)	0.1

Fuente: Manual de Carreteras de Paraguay-Normas para Obras de Drenaje Vial

Tabla N° 45: Coeficientes de rugosidad para materiales usados en alcantarillas

Materiales	n
a) Concreto	0.012
b) metal corrugado	
- Ondulaciones estándar (68 mm x 13 mm)	0.024
Revestidos en un 25%	0.021
Totalmente revestido	0.012
- Ondulaciones medianas (76 mm x 25 mm)	0.027
Revestidos en un 25%	0.023
Totalmente revestido	0.012
- Ondulaciones grandes (152 mm x 51 mm)	Variable
Revestidos en un 25%	0.026
Totalmente revestido	0.012

Fuente: Manual de Carreteras de Paraguay-Normas para Obras de Drenaje Vial

Generalmente los valores típicos de coeficientes de rugosidad para el diseño de alcantarillas, según FHWA son: $n=0.012$ para las alcantarillas de paredes lisas y $n=0.024$ para las alcantarillas de paredes rugosas (corrugadas).

4.5.2.2. Con salida no sumergida

Para este tipo de control de salida no sumergida se presentan los siguientes casos:

Caso 1: Como se puede mostrar en la figura N°41, este caso se da para caudales altos y que tienen la capacidad de fluir con altura crítica igual a la altura de la alcantarilla a la salida. Y para obtener el nivel de agua a la entrada se sumará la carga hidráulica a la altura del dintel en la salida.

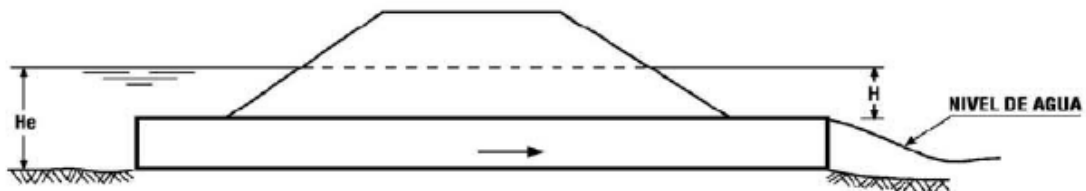


Figura N° 41: Esguerramiento a la altura de la alcantarilla en la salida
Fuente: Manual de Carreteras de Paraguay-Normas para Obras de Drenaje Vial

Caso 2: Se da cuando la profundidad crítica pasa por debajo del dintel a la salida de la alcantarilla, lo cual ocurre cuando el agua fluye en la alcantarilla en parte de su longitud como se muestra en la figura N°42 (llena hasta el punto A), la línea piezométrica pasa por ese punto cuando el agua ya no se encuentra en contacto con la parte superior de la alcantarilla y de acuerdo a la teoría de curva de remanso, la línea piezométrica pasará en la salida por la mitad entre la distancia del dintel de la alcantarilla y la profundidad crítica. Entonces para obtener la carga hidráulica H_e a la entrada, se sumará el valor de H hallado a la línea piezométrica (nivel de agua).

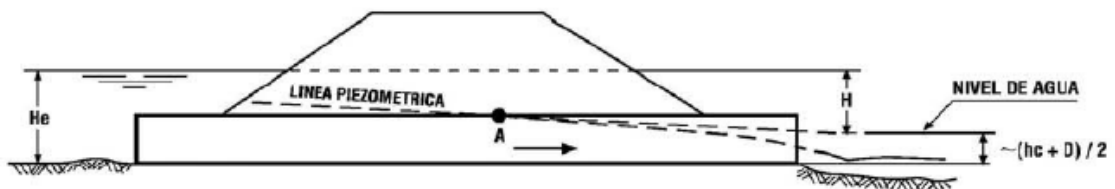


Figura N° 42: Flujo fluye lleno en parte de la longitud de la alcantarilla
Fuente: Manual de Carreteras de Paraguay-Normas para Obras de Drenaje Vial

Para que el agua fluya lleno parte de la longitud de la alcantarilla, la profundidad del agua a la entrada medida desde la superficie de remanso calculado deberá ser igual o mayor que la siguiente:

$$D + (1 + Ke) \frac{V^2}{2g} \quad (31)$$

Donde:

V = Velocidad media para la sección transversal llena del conducto

Ke = Pérdida de carga en la entrada

D = Altura interior de la alcantarilla

Caso 3: Este caso ocurre cuando el caso 2 no se cumple, por lo que el agua presentará una superficie libre dentro de la alcantarilla y en toda su longitud, como se muestra en la figura N°43.

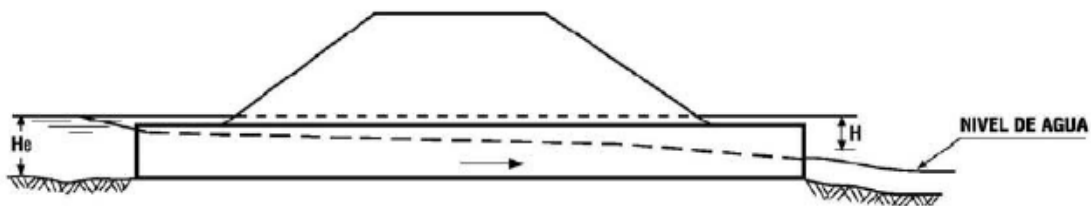


Figura N° 43: Flujo con superficie libre dentro de la alcantarilla
Fuente: Manual de Carreteras de Paraguay-Normas para Obras de Drenaje Vial

Según Ven Te Chow (1994) menciona que “Las investigaciones en laboratorio indica que una alcantarilla, a menudo con un borde cuadrado en la parte superior de la entrada, no fluirá llena aún si la entrada se encuentra por debajo del nivel de aguas arriba cuando la salida no está sumergida. En estas condiciones, el flujo que entra a la alcantarilla se contraerá hasta una profundidad menor que la altura del cuerpo de ella de manera muy similar a la contracción del flujo en la forma de un chorro por debajo de una compuerta deslizante. Por lo tanto si la alcantarilla no fluye llena se considera como una alcantarilla hidráulicamente corta, de lo contrario hidráulicamente larga” (p.483).

Sin embargo estas definiciones no solo dependen de la longitud de la alcantarilla, más sino de la pendiente, tamaño, geometría de entrada de la alcantarilla, el nivel de aguas y entre otras características.

4.5.3. Flujo ideal en una alcantarilla

Hubert Chanson (2004) refiere que el cálculo de flujo ideal para el diseño de una alcantarilla es diseñar para conducir un caudal máximo, ésta asociada también a un nivel de inundación, por lo que para ello estudios hidrológicos emanan en su determinación, deben diseñarse tal que las pérdidas de carga sean mínimas para que se reduzcan las aguas estancadas aguas arriba (inundaciones probables). Por lo que las alcantarillas llamadas cortas, deben ser diseñadas para flujo de superficie libre con condiciones críticas de flujo en el barril. El rendimiento hidráulico de la alcantarilla es el caudal de diseño, la energía total aguas arriba y la pérdida de energía máxima aceptable H .

Con la siguiente ecuación se puede calcular el caudal máximo por unidad de ancho para condiciones de flujo crítico en el barril de una estructura de sección rectangular, despreciando la pérdida de energía. Como los cálculos hidráulicos más simples se basan en la suposición de entrada y un difusor suave y sin pérdida de energía, lo cual quiere decir, que la energía total es la misma aguas arriba y aguas abajo. Entonces asumiendo una energía total $H1$ (ver figura N°44) se tiene:

$$Q_{m\acute{a}x} = \sqrt{g} \left(\frac{2}{3} (H1 - Z_{inlet}) \right)^{3/2} \quad (32)$$

Donde:

Z_{inlet} = Elevación de lecho a la entrada

$(H1 - Z_{inlet})$ = Profundidad crítica en el conducto con el Bernoullí

Por consiguiente al ancho mínimo b del barril para lograr condiciones e flujo crítico es:

$$b_{m\acute{i}n} = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{\sqrt{g}} \left(\frac{2}{3} (H1 - Z_{inlet}) \right)^{-3/2} \quad (33)$$

Y la profundidad crítica en el barril será:

$$Y_c = \frac{2}{3}(H1 - Z_{inlet}) \quad (34)$$

La batea o invertido del barril se puede bajar con la finalidad de aumentar la capacidad de descarga o también para reducir el ancho del barril o garganta, entonces las ecuaciones anteriores serían de la siguiente manera:

$$Q_{m\acute{a}x} = \sqrt{g} \left(\frac{2}{3}(H1 - Z_{inlet} + \Delta Z_0) \right)^{3/2} \quad (35)$$

$$b_{m\acute{i}n} = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{\sqrt{g}} \left(\frac{2}{3}(H1 - Z_{inlet} + \Delta Z_0) \right)^{-3/2} \quad (36)$$

$$Y_c = \frac{2}{3}(H1 - Z_{inlet} + \Delta Z_0) \quad (37)$$

Donde:

ΔZ_0 = Diferencia de elevación del lecho entre la batea o invertida a la entrada y el fondo del barril.

Henderson (como se citó en Chanson, 2004) menciona “La ecuación para determinar el ancho mínimo $b_{m\acute{i}n}$, para obtener un flujo cercano al crítico sin efectos de “choque”. Si $b < b_{m\acute{i}n}$, ocurrirá efectos de choque en el barril” (p.47-49).

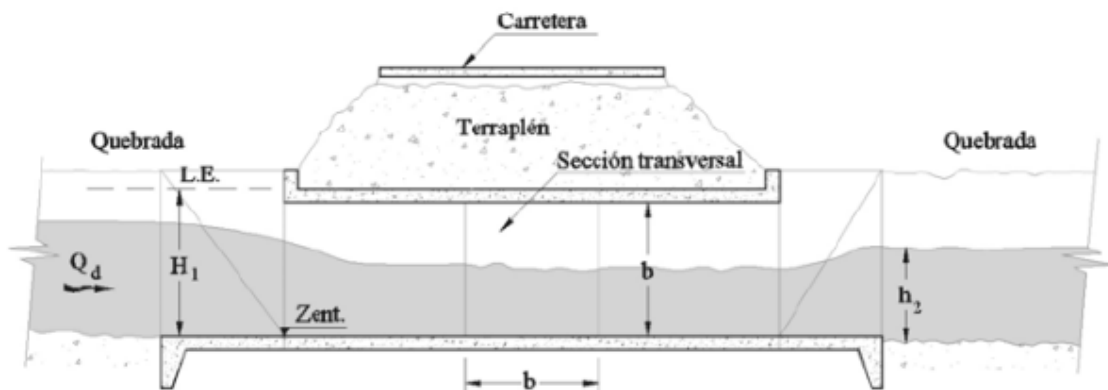


Figura N° 44: Perfil longitudinal de una alcantarilla
Fuente: Hidráulica Aplicada al diseño de obras. Horacio Mery M. (2013)

Según Horacio (2013) “el diseño óptimo de una alcantarilla, consistirá en equilibrar la capacidad de conducción del caudal de diseño (Q_d), el nivel máximo de aguas arriba, el costo de la obra y la simplicidad de la misma” (p.280).

Asimismo se señala que la gran mayoría de las alcantarillas se diseñan con escurrimiento cercano al crítico, a fin de maximizar el caudal máximo unitario, reducir la sección transversal y por tanto el costo. Como el escurrimiento en el cauce aguas arriba y aguas abajo es normalmente subcrítico, a medida que el escurrimiento se aproxima a la alcantarilla aumenta gradualmente su velocidad, y el N° de Froude se acerca a la unidad. En la práctica las condiciones de escurrimiento crítico en el conducto son difíciles de establecer. Normalmente el N° de Froude en el conducto se sitúa entre 0.7 y 0.9 y el caudal unitario se acerca al máximo.

Entonces, en una alcantarilla de sección rectangular se cumplen las siguientes relaciones:

$$\frac{H}{Y} = 1 + \frac{1}{2} x F_r^2 \quad (38)$$

$$\frac{q}{Q_{m\acute{a}x}} = \frac{3\sqrt{3}F_r}{2 + F_r^2} \quad (39)$$

$$\frac{H}{Y_c} = \frac{2 + F_r^2}{2F_r^{2/3}} \quad (40)$$

$$\frac{Y}{Y_c} = \frac{1}{F_r^{2/3}} \quad (41)$$

Donde:

H = Bernoullí

q = Caudal unitario

Y = altura de escurrimiento o profundidad hidráulica

Y_c = altura crítica o profundidad hidráulica crítica

De acuerdo a las ecuaciones anteriores para los números de Froude de 0.7, 0.8, 0.9 y 1.0 se obtienen los valores mostrados en la siguiente tabla N°46.

Tabla N° 46: Valores de Y, H y Q en función de Froude para Alcantarilla de Sección Rectangular

Fr	Y/Y _c	H/Y _c	q/Q _{máx}
0.70	1.27	1.24	0.975
0.80	1.16	1.32	0.989
0.90	1.07	1.40	0.997
1.00	1.00	1.50	1.000

Fuente: Hidráulica aplicada al diseño de obras. Mery Horacio (2013).

4.5.4. Flujo ondular en una alcantarilla

El flujo ondular que se muestra en el barril de una alcantarilla, es el flujo casi crítico, este flujo se caracteriza por la presencia de estas ondulaciones estacionarias en la superficie libre, por lo que para un diseñador el flujo ondular a superficie libre es importante para el dimensionamiento de la altura de culvert, si las ondas llegan a saltar hasta el techo, entonces el flujo deja de ser o comportarse flujo de canal abierto o superficie libre pasando a ser flujo de tubería, es decir; a presión. Henderson (como se citó en Chanson, 2004) recomendó que la relación entre la energía específica de aguas arriba (H_1) y la altura del barril (D) debiera ser igual o menor a 1.20 para el establecimiento del flujo a superficie libre en la garganta o conducto. La cual se puede observar en la tabla N°47. Dicha relación proporciona una holgura o luz mínima por encima del nivel de superficie libre en el barril de aproximadamente 20%. Asimismo se muestra recomendaciones de otros autores.

Tabla N° 47: Condiciones de flujo para el flujo de entrada de superficie libre (alcantarilla estándar)

Referencia (1)	Condición (2)	Observación (3)
Henderson (1966)	$(H_1 - Z_{inlet}) \leq 1.2D$	Alcantarilla cajón
Hee (1969)	$(H_1 - Z_{inlet}) \leq 1.25D$	Alcantarilla circular
Chow (1973)	$(H_1 - Z_{inlet}) \leq 1.2D$	
US Bureau of Reclamation (1987)	$(H_1 - Z_{inlet}) \leq 1.2 - 1.5D$	
Nota: D = Altura del barril ; H_1 = Energía total en la entrada; Z_{inlet} = Nivel de lecho en la entrada.		

Fuente: The Hydraulics of Open Channel Flow: An Introduction. Hubert Chanson (2004)

4.6. Contracción y expansión de flujo en alcantarillas

4.6.1. Flujo subcrítico a través de transiciones súbitas

Las transiciones súbitas refieren a los cambios de secciones transversales, como son los casos de las contracciones y expansiones sean verticales, horizontales o la presencia de ambas, como se muestra en la figura N°45.

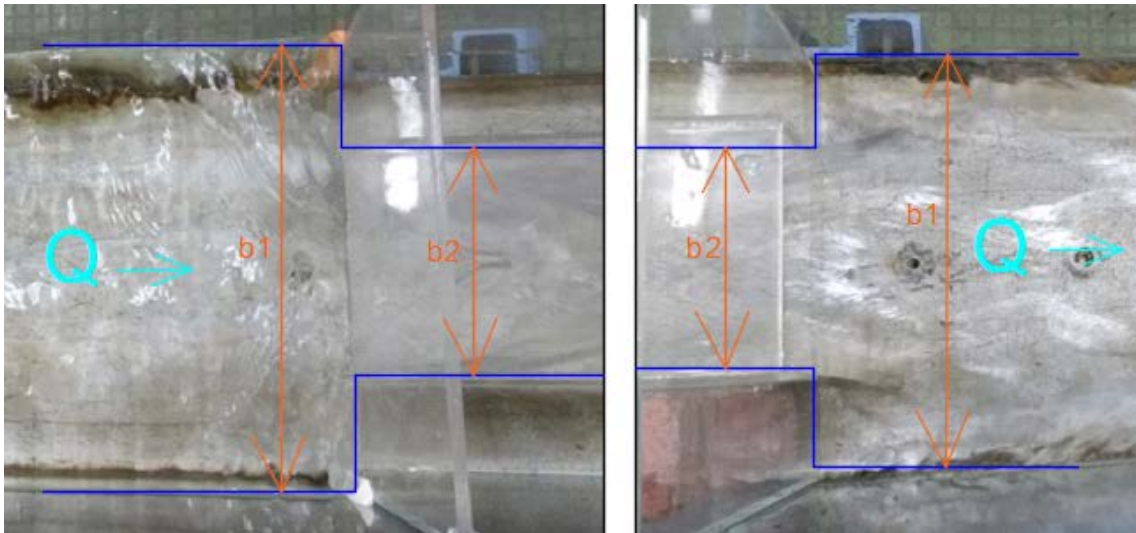


Figura N° 45: Transiciones súbitas de contracción y expansión
Fuente: Elaboración propia

- G. Fórmica (como se citó en Ven Te Chow, 1994) en sus diferentes diseños de transiciones súbitas con propósitos experimentales, considera el ancho de canal de laboratorio =355 mm para las secciones más anchas y 205 mm para las más angostas.

4.6.2. Contracción de flujo

Este caso se da en la entrada del culvert, ya que los cauces o canales generalmente cuentan con sección más amplia que una alcantarilla y al ingresar el flujo en la alcantarilla se generan las llamadas venas contractas como se pueden ver en la figura, debido a estos cambios se tienen las pérdidas de energía, por ello que es posible desprestigiar el efecto de fricción en la pared; asimismo dentro del conducto se forman ondas cruzadas simétricas con respecto al eje del canal, por ello que hasta la forma de bisel en la estructura de entrada es importante, debido a ello se dará el tipo de transición, como por ejemplo en un bisel redondeado existirá una transición de flujo más gradual y la contracción será mínima, por lo tanto la pérdida de energía será menor y la entrada será eficiente, En cambio en una entrada con bisel cuadrada será muy notorio la

contracción, ambos casos se muestran en la figura N°46 donde también se puede ver la formación de las venas contractas.

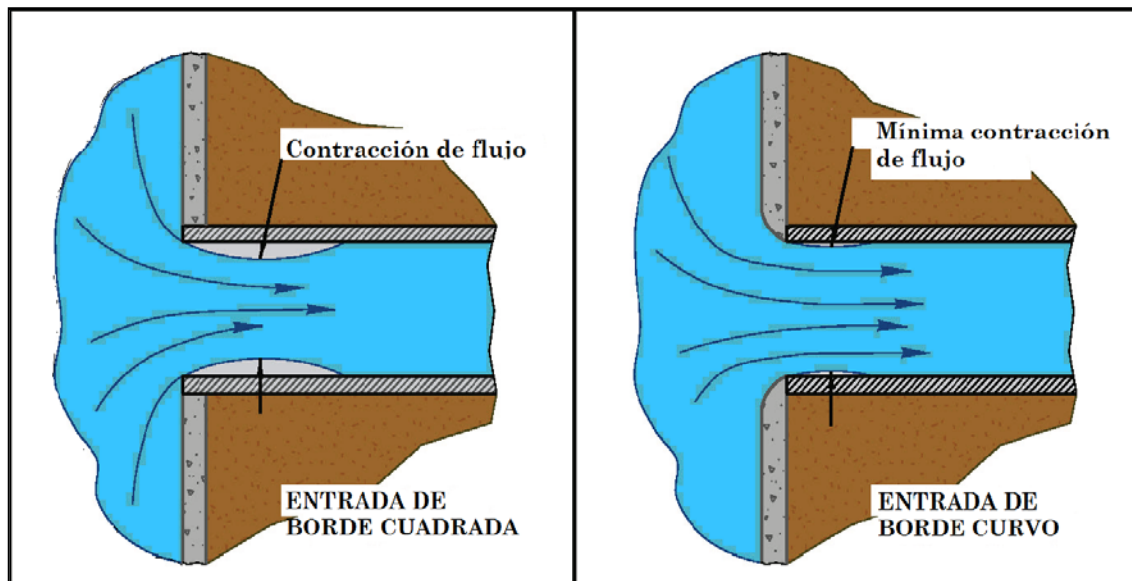


Figura N° 46: Contracción de flujo
Fuente: Hydraulic Design of Highway Culverts. FHWA. U.S.

Asimismo para los casos de contracciones en flujo supercrítico, que pasen por muros convergentes simétricos como será el caso de los aleros al ingreso de la alcantarilla, ocurrirá la aparición de ondas cruzadas simétricas con respecto al eje del canal.

- Ippen y Dawson (como se citó en Ven Te Chow, 1994) mencionan que mediante una investigación experimental y analítica, encontraron que contracciones rectas son siempre mejores que contracciones curvas de igual longitud de contracción desde el punto de vista de altura máxima.

4.6.3. Expansión de flujo

El flujo al salir del conducto de la alcantarilla se expande generando también ondas cruzadas y vórtices exactamente en la salida a los lados de la alcantarilla, en la que se cuenta con flujo crítico a supercrítico, debido al aumento de la velocidad.

Las expansiones en flujo supercrítico, ocurre cuando el fluido fluye desde un conducto hacia el exterior, es como el caso de una alcantarilla, que surge al salir del conducto hacia el exterior en aguas abajo presentando una velocidad alta, en el que probablemente no haga contacto con las superficies alrededor del canal, es decir; las

paredes del canal o en su caso las mismas paredes de los aleros a la salida de la alcantarilla, el cual se observará en los experimentos que se realizaran y describirán en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO V: MODELAMIENTO CONCEPTUAL, EXPERIMENTAL Y NUMÉRICO

5.1. Simulación del modelo físico en flume

5.1.1. Experimento de modelo físico en flume

El experimento se desarrolló con tres tipos de modelos, la primera con la alcantarilla sin aleros, la segunda alcantarilla con aleros de ángulo de inclinación de 12.5° y la tercera, alcantarilla con aleros de ángulo de inclinación de 30° , las dos últimas son ángulos que forman en la horizontal en dirección del flujo a partir de la entrada del conducto de la alcantarilla a cada lado, así como en la salida.

Se aplicaron tres pendientes las cuales son: $S=0.25^\circ$, $S=0.5^\circ$ y $S=1^\circ$, pendientes con que se ejecutaron cada modelo del experimento, como también para cada pendiente se ensayaron con la aplicación de cinco diferentes caudales, las cuales se determinaron mediante aforo con flotadores, con presencia de la estructura (alcantarilla) en el canal, las mediciones de caudales se muestran en la Tabla N°48.

Tabla N° 48: Medición de caudales con presencia de estructura (Alcantarilla)

Aforo N°	Longitud de aforo L(m)	Ancho de canal b(m)	Profundidad de tirante Y(m)	Tiempos de aforo (seg)					Tiempo promedio t_p (seg)	Velocidad media V(m/s)	Área hidráulica A(m ²)	Caudales	
				t_1	t_2	t_3	t_4	t_5				Q(m ³ /s)	Q(L/s)
01	2.0	0.3	0.039	9.94	10.90	10.13	9.96	9.56	10.10	0.20	0.0117	0.0023	2.32
02	2.0	0.3	0.058	9.96	8.54	9.44	7.87	8.45	8.85	0.23	0.0174	0.0039	3.93
03	2.0	0.3	0.076	7.25	8.06	7.62	9.49	7.75	8.03	0.25	0.0228	0.0057	5.68
04	2.0	0.3	0.096	6.62	7.22	6.68	6.55	6.42	6.70	0.30	0.0288	0.0086	8.60
05	2.0	0.3	0.118	7.84	7.07	5.72	6.09	5.98	6.54	0.31	0.0354	0.0108	10.83

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Equipos de laboratorio

Los equipos utilizados y las más importantes se detallan a continuación:

- Canal de pendiente variable de características H 91.8 D/15
- Flotadores de teknopor, para realizar los aforos.
- Cronómetro, para medir el tiempo que transcurre el flotador en cierta distancia.
- Regla metálica, para medición de los tirantes.

5.1.3. Procedimiento del experimento y registro de datos

5.1.3.1. Primer modelo: Experimento de alcantarilla tipo BOX sin aleros

El experimento se ejecutó con pendiente del canal de $S=0.25^\circ$ para caudal (Q_1)= $0.0023 \text{ m}^3/\text{s}$, luego $Q_2=0.0039 \text{ m}^3/\text{s}$, Q_3 , Q_4 y Q_5 , respectivamente de acuerdo a los valores de caudales que se muestran en la Tabla N°48, enseguida para pendiente $S=0.5^\circ$, con Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 y Q_5 , de la misma forma para la siguiente pendiente $S=1^\circ$. Registrando la medición de la profundidad del flujo o tirante con el uso de una regla metálica en las zonas aguas arriba, en la alcantarilla y aguas abajo del mismo, en una longitud de 3.15m. A continuación en la Tabla N°49 se muestran fotografías del experimento.

Tabla N° 49: Experimento de alcantarilla tipo BOX sin aleros

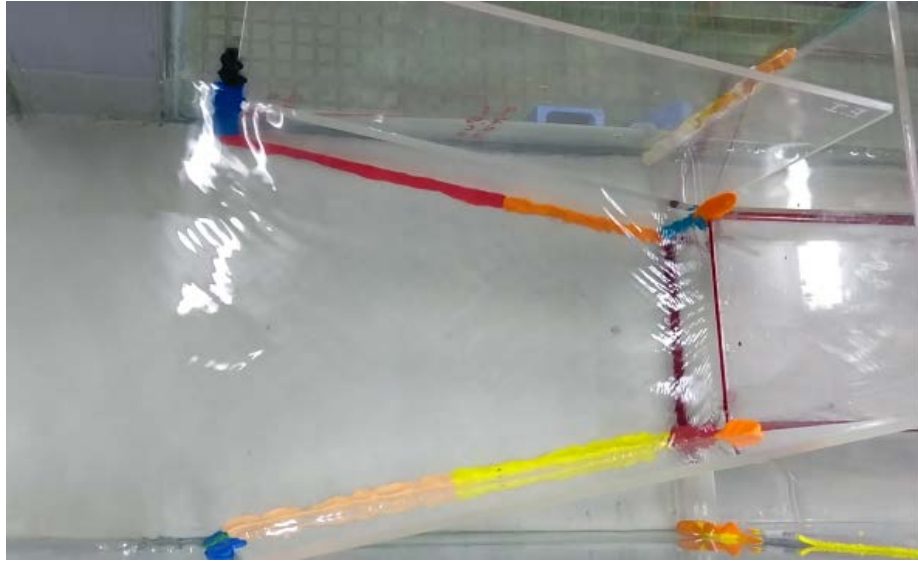
 <p>1. Ingreso de flujo a la alcantarilla con $Q_3=0.0057 \text{ m}^3/\text{s}$, se observa las venas contractas del flujo.</p>	 <p>2. Vista en planta de la formación de onda cruzada en la alcantarilla, ingresa flujo de izquierda a derecha.</p>
 <p>3. Ingreso de flujo con $Q_5=0.0108 \text{ m}^3/\text{s}$, se observa el flujo por encima de la entrada.</p>	 <p>4. Salida de flujo de la alcantarilla, se observa la expansión del flujo y formación de vórtices laterales.</p>

Fuente: Elaboración propia

5.1.3.2. Segundo modelo: Experimento de alcantarilla tipo BOX con aleros de 12.5°

El desarrollo del experimento con aleros fue ejecutado, de la misma manera que el experimento de alcantarilla sin aleros, con la aplicación de los mismos pendientes y caudales. En las Tablas N°50 y 51 se muestran las imágenes del experimento con su respectiva descripción.

Tabla N° 50: Experimento de alcantarilla con aleros 12.5° con $S=0.25^\circ$



1. Ingreso de flujo a la alcantarilla, se observa para un caudal máximo aplicado $Q_5=0.0108 \text{ m}^3/\text{s}$, en una pendiente de $S=0.25^\circ$, que fluye con un tipo de flujo subcrítico, calmado.



2. Vista en planta, ingresa flujo de izquierda a derecha. Se observa la formación de dos ondas cruzadas en la alcantarilla de forma paralela entre sí, la segunda más grande en dirección a la salida.



3. Salida de flujo de la alcantarilla, se observa que el flujo se concentra en la parte central al salir del barril y hacia los aleros un flujo menor.

Fuente: Elaboración propia

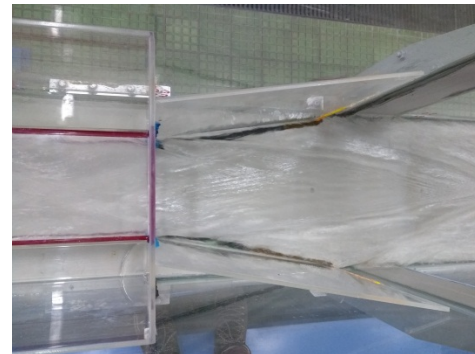
Tabla N° 51: Experimento de alcantarilla con aleros 12.5° con $S=0.5^\circ$



1. Ingreso de flujo a la alcantarilla, se observa para un caudal máximo aplicado $Q_5=0.0108 \text{ m}^3/\text{s}$, al aumentar la pendiente el flujo ya no se muestra calmado, asimismo hacia aguas arriba se van formando ondas, sin embargo el flujo es tipo subcrítico.



2. Vista en planta, ingresa flujo de izquierda a derecha. Se observa la formación de vacíos que se muestran hacia el techo de la alcantarilla y a la vez formando ondas cruzadas.



3. Salida de flujo de la alcantarilla, se observa que el flujo se concentra en la parte central y entre las aristas de los aleros forman ondas cruzadas.

Fuente: Elaboración propia

5.1.3.3. Tercer modelo: Experimento de alcantarilla tipo BOX con aleros de 30°

En las Tablas N°52, 53 y 54 se muestran las imágenes del experimento para el caudal $Q_5=0.0108$, considerado máximo para el experimento, ejecutadas para las pendientes $S=0.25^\circ$, 0.5° y 1° respectivamente.

Tabla N° 52: Experimento de alcantarilla con aleros 30° con $S=0.25^\circ$



1. Ingreso de flujo a la alcantarilla, se observa para un caudal máximo aplicado $Q_5=0.0108$ m³/s, y una pendiente baja el caudal fluye calmado, sin embargo al contacto con las aristas de los aleros y a la entrada tiende a generar pequeñas venas.



2. Vista en planta, ingresa flujo de izquierda a derecha. Se observa la formación de vacíos y vena contracta que se muestran hacia el techo y a la vez formando ondas cruzadas.



3. Vista en perfil de flujo y la alcantarilla, se observa el tirante alto hacia la entrada, sin embargo en el barril no fluye a sección llena y a la salida se puede ver la formación de vórtices hacia los lados, generándose un tipo de flujo supercrítico.

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 53: Experimento de alcantarilla con aleros de 30° con $S=0.5^\circ$



1. Ingreso de flujo a la alcantarilla, se observa para un caudal máximo aplicado $Q_5=0.0108 \text{ m}^3/\text{s}$, y una pendiente de 0.5° , el caudal fluye formando ondas desde aguas arriba.



2. Vista en planta, ingresa flujo de izquierda a derecha. Se observa la formación de vacíos y vena contracta que se muestran hacia el techo y a la vez formando ondas cruzadas, ocurre similar a la pendiente de 0.25° , con la diferencia en el ingreso con ondas.



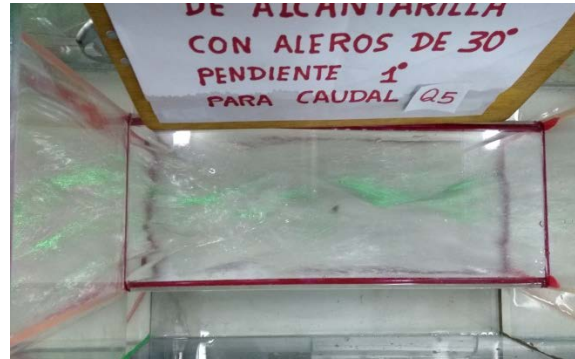
3. Vista en perfil de flujo y la alcantarilla, se observa a diferencia de la pendiente anterior 0.25° , el tirante hacia la entrada se presenta con oscilaciones, en el barril al ingresar el flujo enrasa con el techo formando vacíos y a la salida la formación de vórtices hacia los aleros y luego a lados del canal, generándose un tipo de flujo supercrítico.

Fuente: Elaboración propia

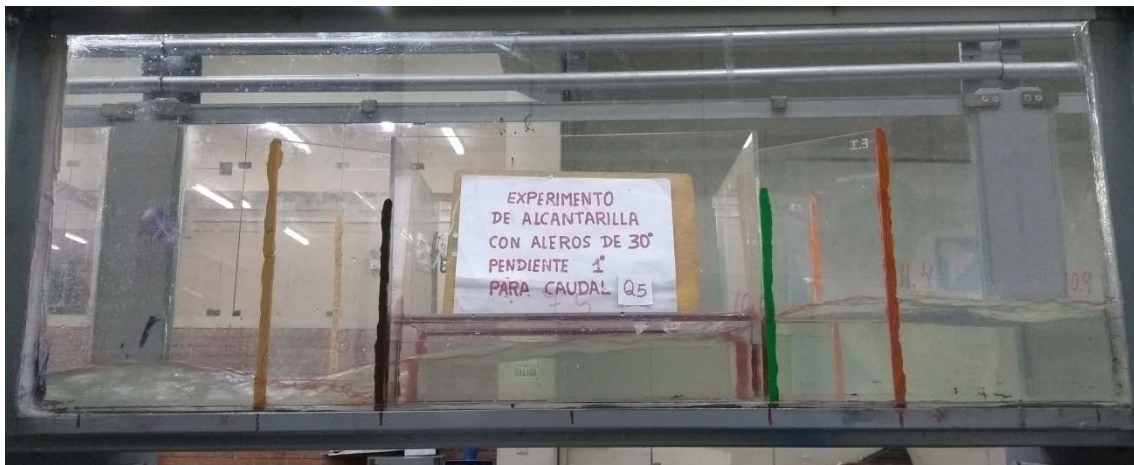
Tabla N° 54: Experimento de alcantarilla con aleros de 30° con $S=1^\circ$



1. Ingreso de flujo a la alcantarilla, se observa para un caudal máximo aplicado $Q_5=0.0108 \text{ m}^3/\text{s}$, y una pendiente de 1° , el caudal fluye formando ondas bastante pronunciadas desde aguas arriba y venas contractas.



2. Vista en planta, ingresa flujo de izquierda a derecha. Se observa la formación de vacíos y venas contractas, el flujo dentro del barril se hace turbulento.



3. Vista en perfil de flujo y la alcantarilla, se observa a diferencia de la pendiente anterior 0.5° , el tirante hacia la entrada se presenta con oscilaciones más pronunciadas, en el barril al ingresar el flujo enrasa con el techo formando vacíos, viéndose también la turbulencia y oscilación del flujo y a la salida la formación de vórtices hacia los aleros y luego a lados del canal, generándose un tipo de flujo supercrítico.

Fuente: Elaboración propia

5.1.4. Alcantarilla tipo BOX sin aleros

5.1.4.1. Experimento de alcantarilla sin aleros $S=0.25^\circ$

Los resultados de los experimentos con la alcantarilla sin aleros para la pendiente $S=0.25^\circ$ y diferentes caudales se muestran en las tablas N°55 – 59, como también se presenta la figura N°47 representación de la curva de energía para los cinco caudales aplicados en los experimentos.

Tabla N° 55: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros $S=0.25^\circ$ con Q1

Pendiente del canal $S(^{\circ})$	Caudal $Q1(m^3/s)$	Profundidad hidráulica	Velocidad $V=Q/A_h$	Energía $E= Y+V^2/2g$	Número de Froude $Fr=V/(g*Y)^{1/2}$	Tirante crítico $Y_c=YFr^{2/3}$	Energía mínima $E_{mín}=1.5Y_c$	Tipo de	
0.25	0.00436	0.0023							
Sección	Ubicación	Tramo	$Y_i(m)$	$V(m/s)$	$E(m)$	Fr	$Y_{ci}(m)$	$E(m)$	Régimen
13		13_12	0.038	0.20	0.040	0.33	0.018	0.027	Subcrítico
12	Aguas arriba	12_11	0.043	0.18	0.045	0.28	0.018	0.027	Subcrítico
11		11_10	0.039	0.20	0.041	0.32	0.018	0.027	Subcrítico
10		10_9	0.043	0.18	0.045	0.28	0.018	0.027	Subcrítico
09		9_8	0.042	0.18	0.044	0.29	0.018	0.027	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.043	0.36	0.050	0.55	0.029	0.043	Subcrítico
07		7_6	0.028	0.55	0.044	1.05	0.029	0.043	Supercrítico
06		6_5	0.025	0.62	0.044	1.25	0.029	0.043	Supercrítico
05		5_4	0.016	0.48	0.028	1.22	0.018	0.027	Supercrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.014	0.55	0.030	1.49	0.018	0.027	Supercrítico
03		3_2	0.019	0.41	0.027	0.94	0.018	0.027	Subcrítico
02		2_1	0.015	0.51	0.029	1.34	0.018	0.027	Supercrítico
01		1_0	0.014	0.55	0.030	1.49	0.018	0.027	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 56: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros $S=0.25^\circ$ con Q2

Pendiente del canal $S(^{\circ})$	Caudal $Q2(m^3/s)$	Profundidad hidráulica	Velocidad $V=Q/A_h$	Energía $E= Y+V^2/2g$	Número de Froude $Fr=V/(g*Y)^{1/2}$	Tirante crítico $Y_c=YFr^{2/3}$	Energía mínima $E_{mín}=1.5Y_c$	Tipo de	
0.25	0.00436	0.0039							
Sección	Ubicación	Tramo	$Y_i(m)$	$V(m/s)$	$E(m)$	Fr	$Y_{ci}(m)$	$E(m)$	Régimen
13		13_12	0.057	0.23	0.0597	0.31	0.026	0.0389	Subcrítico
12	Aguas arriba	12_11	0.058	0.23	0.0606	0.30	0.026	0.0389	Subcrítico
11		11_10	0.058	0.23	0.0606	0.30	0.026	0.0389	Subcrítico
10		10_9	0.059	0.22	0.0615	0.29	0.026	0.0389	Subcrítico
09		9_8	0.062	0.21	0.0643	0.27	0.026	0.0389	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.053	0.49	0.0655	0.69	0.041	0.0618	Subcrítico
07		7_6	0.037	0.71	0.0626	1.18	0.041	0.0618	Supercrítico
06		6_5	0.033	0.79	0.0651	1.40	0.041	0.0618	Supercrítico
05		5_4	0.024	0.55	0.0392	1.13	0.026	0.0389	Supercrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.016	0.82	0.0502	2.07	0.026	0.0389	Supercrítico
03		3_2	0.019	0.69	0.0432	1.60	0.026	0.0389	Supercrítico
02		2_1	0.018	0.73	0.0450	1.73	0.026	0.0389	Supercrítico
01		1_0	0.020	0.66	0.0419	1.48	0.026	0.0389	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 57: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=0.25° con Q3

Pendiente del canal S(°)	Caudal S(m/m)	Q3(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad $V=Q/A_h$	Energía $E= Y+V^2/2g$	Número de Froude $Fr=V/(g*Y)^{1/2}$	Tirante crítico $Y_c=YFr^{2/3}$	Energía mínima $E_{mín}=1.5Y_c$	Tipo de
0.25	0.00436	0.0057							
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	E(m)	Régimen
13		13_12	0.075	0.25	0.0782	0.29	0.033	0.0498	Subcrítico
12	Aguas arriba	12_11	0.078	0.24	0.0810	0.28	0.033	0.0498	Subcrítico
11		11_10	0.076	0.25	0.0792	0.29	0.033	0.0498	Subcrítico
10		10_9	0.077	0.25	0.0801	0.28	0.033	0.0498	Subcrítico
09		9_8	0.078	0.24	0.0810	0.28	0.033	0.0498	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.080	0.47	0.0914	0.53	0.053	0.0790	Subcrítico
07		7_6	0.043	0.88	0.0825	1.35	0.053	0.0790	Supercrítico
06		6_5	0.051	0.74	0.0791	1.05	0.053	0.0790	Supercrítico
05		5_4	0.033	0.57	0.0498	1.01	0.033	0.0498	Supercrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.021	0.90	0.0624	1.98	0.033	0.0498	Supercrítico
03		3_2	0.018	1.05	0.0743	2.50	0.033	0.0498	Supercrítico
02		2_1	0.020	0.95	0.0656	2.14	0.033	0.0498	Supercrítico
01		1_0	0.030	0.63	0.0503	1.16	0.033	0.0498	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 58: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=0.25° con Q4

Pendiente del canal S(°)	Caudal S(m/m)	Q4(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad $V=Q/A_h$	Energía $E= Y+V^2/2g$	Número de Froude $Fr=V/(g*Y)^{1/2}$	Tirante crítico $Y_c=YFr^{2/3}$	Energía mínima $E_{mín}=1.5Y_c$	Tipo de
0.25	0.00436	0.0086							
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	E(m)	Régimen
13		13_12	0.094	0.30	0.0987	0.32	0.044	0.0656	Subcrítico
12	Aguas arriba	12_11	0.096	0.30	0.1005	0.31	0.044	0.0656	Subcrítico
11		11_10	0.096	0.30	0.1005	0.31	0.044	0.0656	Subcrítico
10		10_9	0.097	0.30	0.1015	0.30	0.044	0.0656	Subcrítico
09		9_8	0.098	0.29	0.1024	0.30	0.044	0.0656	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.100	0.57	0.1168	0.58	0.069	0.1042	Subcrítico
07		7_6	0.061	0.94	0.1060	1.21	0.069	0.1042	Supercrítico
06		6_5	0.056	1.02	0.1094	1.38	0.069	0.1042	Supercrítico
05		5_4	0.045	0.64	0.0657	0.96	0.044	0.0656	Subcrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.029	0.99	0.0788	1.85	0.044	0.0656	Supercrítico
03		3_2	0.018	1.59	0.1473	3.79	0.044	0.0656	Supercrítico
02		2_1	0.029	0.99	0.0788	1.85	0.044	0.0656	Supercrítico
01		1_0	0.029	0.99	0.0788	1.85	0.044	0.0656	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 59: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=0.25° con Q5

Pendiente del canal S(°)	Caudal S(m/m)	Q5(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad $V=Q/A_h$	Energía $E= Y+V^2/2g$	Número de Froude $Fr=V/(g*Y)^{1/2}$	Tirante crítico $Y_c=YFr^{2/3}$	Energía mínima $E_{mín}=1.5Y_c$	Tipo de
0.25	0.00436	0.0108							
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	E(m)	Régimen
13		13_12	0.117	0.31	0.1218	0.29	0.051	0.0765	Subcrítico
12	Aguas arriba	12_11	0.119	0.30	0.1237	0.28	0.051	0.0765	Subcrítico
11		11_10	0.118	0.31	0.1228	0.28	0.051	0.0765	Subcrítico
10		10_9	0.120	0.30	0.1246	0.28	0.051	0.0765	Subcrítico
09		9_8	0.121	0.30	0.1255	0.27	0.051	0.0765	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.122	0.59	0.1398	0.54	0.081	0.1215	Subcrítico
07		7_6	0.080	0.90	0.1215	1.02	0.081	0.1215	Supercrítico
06		6_5	0.065	1.11	0.1278	1.39	0.081	0.1215	Supercrítico
05		5_4	0.055	0.66	0.0769	0.89	0.051	0.0765	Subcrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.032	1.13	0.0968	2.01	0.051	0.0765	Supercrítico
03		3_2	0.025	1.44	0.1312	2.91	0.051	0.0765	Supercrítico
02		2_1	0.040	0.90	0.0815	1.44	0.051	0.0765	Supercrítico
01		1_0	0.032	1.13	0.0968	2.01	0.051	0.0765	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

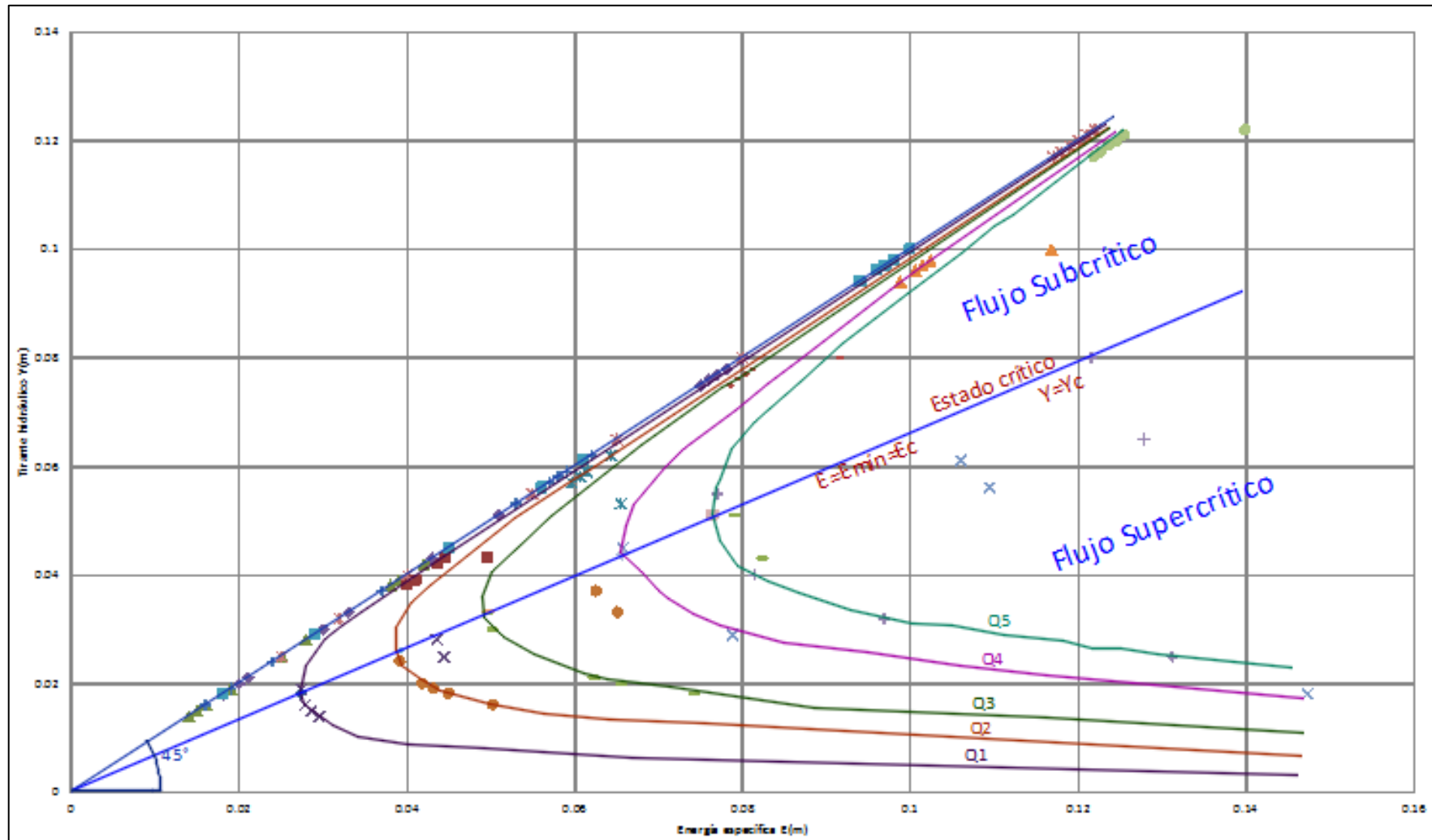


Figura N° 47: Curva Energía Específica de alcantarilla sin aleros $S=0.25^\circ$
 Fuente: Elaboración propia

5.1.4.2. Experimento de alcantarilla sin aleros $S=0.5^\circ$

Las tablas N°60 – 64 muestran los resultados de los experimentos ejecutados con la alcantarilla sin aleros para una pendiente $S=0.5^\circ$ y con cinco caudales distintas, las mismas que figuran en cada tabla. Asimismo se muestra la figura N°48 en la que se graficó la curva de energía con respecto a los caudales.

Tabla N° 60: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros $S=0.5^\circ$ con Q1

Pendiente del canal $S(^{\circ})$	Caudal $Q1(m^3/s)$	Profundidad hidráulica	Velocidad ^h $V=Q/A_h$	Energía $E= Y+V^2/2g$	Número de Froude $Fr=V/(g*Y)^{1/2}$	Tirante crítico $Yc=YFr^{2/3}$	Energía mínima $E_{mín}=1.5Yc$	Tipo de	
0.5	0.00873	0.0023	$V(m/s)$	$E(m)$	Fr	$Yc(m)$	$E(m)$	Régimen	
Sección	Ubicación	Tramo	$Yi(m)$						
13		13_12	0.041	0.19	0.0428	0.30	0.018	0.0274	Subcrítico
12	Aguas arriba	12_11	0.045	0.17	0.0465	0.26	0.018	0.0274	Subcrítico
11		11_10	0.046	0.17	0.0474	0.25	0.018	0.0274	Subcrítico
10		10_9	0.048	0.16	0.0493	0.23	0.018	0.0274	Subcrítico
09		9_8	0.050	0.15	0.0512	0.22	0.018	0.0274	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.054	0.29	0.0582	0.39	0.029	0.0435	Subcrítico
07		7_6	0.033	0.47	0.0442	0.82	0.029	0.0435	Subcrítico
06		6_5	0.032	0.48	0.0439	0.86	0.029	0.0435	Subcrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.020	0.39	0.0276	0.87	0.018	0.0274	Subcrítico
04		4_3	0.014	0.55	0.0295	1.49	0.018	0.0274	Supercrítico
03		3_2	0.010	0.77	0.0404	2.47	0.018	0.0274	Supercrítico
02		2_1	0.015	0.51	0.0285	1.34	0.018	0.0274	Supercrítico
01		1_0	0.015	0.51	0.0285	1.34	0.018	0.0274	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 61: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros $S=0.5^\circ$ con Q2

Pendiente del canal $S(^{\circ})$	Caudal $Q2(m^3/s)$	Profundidad hidráulica	Velocidad ^h $V=Q/A_h$	Energía $E= Y+V^2/2g$	Número de Froude $Fr=V/(g*Y)^{1/2}$	Tirante crítico $Yc=YFr^{2/3}$	Energía mínima $E_{mín}=1.5Yc$	Tipo de	
0.5	0.00873	0.0039	$V(m/s)$	$E(m)$	Fr	$Yc(m)$	$E(m)$	Régimen	
Sección	Ubicación	Tramo	$Yi(m)$						
13		13_12	0.061	0.21	0.0634	0.28	0.026	0.0389	Subcrítico
12	Aguas arriba	12_11	0.064	0.20	0.0661	0.26	0.026	0.0389	Subcrítico
11		11_10	0.067	0.20	0.0689	0.24	0.026	0.0389	Subcrítico
10		10_9	0.070	0.19	0.0718	0.23	0.026	0.0389	Subcrítico
09		9_8	0.071	0.18	0.0727	0.22	0.026	0.0389	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.072	0.36	0.0788	0.43	0.041	0.0618	Subcrítico
07		7_6	0.044	0.60	0.0621	0.91	0.041	0.0618	Subcrítico
06		6_5	0.044	0.60	0.0621	0.91	0.041	0.0618	Subcrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.026	0.50	0.0389	1.00	0.026	0.0389	Subcrítico
04		4_3	0.019	0.69	0.0432	1.60	0.026	0.0389	Supercrítico
03		3_2	0.015	0.87	0.0539	2.28	0.026	0.0389	Supercrítico
02		2_1	0.018	0.73	0.0450	1.73	0.026	0.0389	Supercrítico
01		1_0	0.019	0.69	0.0432	1.60	0.026	0.0389	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 62: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=0.5° con Q3

Pendiente del canal S(°)	Caudal S(m/m)	Caudal Q3(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad V=Q/A _h	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Energía mínima Emin=1.5Yc	Tipo de
0.5	0.00873	0.0057							
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	E(m)	Régimen
13		13_12	0.073	0.26	0.0764	0.31	0.033	0.0498	Subcrítico
12		12_11	0.076	0.25	0.0792	0.29	0.033	0.0498	Subcrítico
11	Aguas arriba	11_10	0.078	0.24	0.0810	0.28	0.033	0.0498	Subcrítico
10		10_9	0.081	0.23	0.0838	0.26	0.033	0.0498	Subcrítico
09		9_8	0.084	0.23	0.0866	0.25	0.033	0.0498	Subcrítico
08		8_7	0.088	0.43	0.0974	0.46	0.053	0.0790	Subcrítico
07	Estructura Alcantarilla	7_6	0.054	0.70	0.0790	0.96	0.053	0.0790	Subcrítico
06		6_5	0.049	0.77	0.0794	1.11	0.053	0.0790	Supercrítico
05		5_4	0.033	0.57	0.0498	1.01	0.033	0.0498	Supercrítico
04		4_3	0.022	0.86	0.0597	1.85	0.033	0.0498	Supercrítico
03	Aguas abajo	3_2	0.018	1.05	0.0743	2.50	0.033	0.0498	Supercrítico
02		2_1	0.025	0.76	0.0542	1.53	0.033	0.0498	Supercrítico
01		1_0	0.023	0.82	0.0575	1.73	0.033	0.0498	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 63: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=0.5° con Q4

Pendiente del canal S(°)	Caudal S(m/m)	Caudal Q4(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad V=Q/A _h	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Energía mínima Emin=1.5Yc	Tipo de
0.5	0.00873	0.0086							
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	E(m)	Régimen
13		13_12	0.091	0.32	0.0961	0.33	0.044	0.0656	Subcrítico
12		12_11	0.095	0.30	0.0996	0.31	0.044	0.0656	Subcrítico
11	Aguas arriba	11_10	0.094	0.30	0.0987	0.32	0.044	0.0656	Subcrítico
10		10_9	0.098	0.29	0.1024	0.30	0.044	0.0656	Subcrítico
09		9_8	0.100	0.29	0.1042	0.29	0.044	0.0656	Subcrítico
08		8_7	0.104	0.55	0.1195	0.55	0.069	0.1042	Subcrítico
07	Estructura Alcantarilla	7_6	0.065	0.88	0.1047	1.10	0.069	0.1042	Supercrítico
06		6_5	0.056	1.02	0.1094	1.38	0.069	0.1042	Supercrítico
05		5_4	0.045	0.64	0.0657	0.96	0.044	0.0656	Subcrítico
04		4_3	0.028	1.02	0.0814	1.95	0.044	0.0656	Supercrítico
03	Aguas abajo	3_2	0.020	1.43	0.1247	3.24	0.044	0.0656	Supercrítico
02		2_1	0.033	0.87	0.0715	1.53	0.044	0.0656	Supercrítico
01		1_0	0.025	1.15	0.0920	2.32	0.044	0.0656	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 64: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=0.5° con Q5

Pendiente del canal S(°)	Caudal S(m/m)	Caudal Q5(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad V=Q/A _h	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Energía mínima Emin=1.5Yc	Tipo de
0.5	0.00873	0.0108							
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	E(m)	Régimen
13		13_12	0.091	0.40	0.0990	0.42	0.051	0.0765	Subcrítico
12		12_11	0.095	0.38	0.1024	0.39	0.051	0.0765	Subcrítico
11	Aguas arriba	11_10	0.094	0.38	0.1015	0.40	0.051	0.0765	Subcrítico
10		10_9	0.098	0.37	0.1049	0.38	0.051	0.0765	Subcrítico
09		9_8	0.100	0.36	0.1066	0.36	0.051	0.0765	Subcrítico
08		8_7	0.104	0.69	0.1285	0.69	0.081	0.1215	Subcrítico
07	Estructura Alcantarilla	7_6	0.065	1.11	0.1278	1.39	0.081	0.1215	Supercrítico
06		6_5	0.056	1.29	0.1407	1.74	0.081	0.1215	Supercrítico
05		5_4	0.045	0.80	0.0778	1.21	0.051	0.0765	Supercrítico
04		4_3	0.028	1.29	0.1127	2.46	0.051	0.0765	Supercrítico
03	Aguas abajo	3_2	0.020	1.80	0.1859	4.07	0.051	0.0765	Supercrítico
02		2_1	0.033	1.09	0.0939	1.92	0.051	0.0765	Supercrítico
01		1_0	0.025	1.44	0.1312	2.91	0.051	0.0765	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

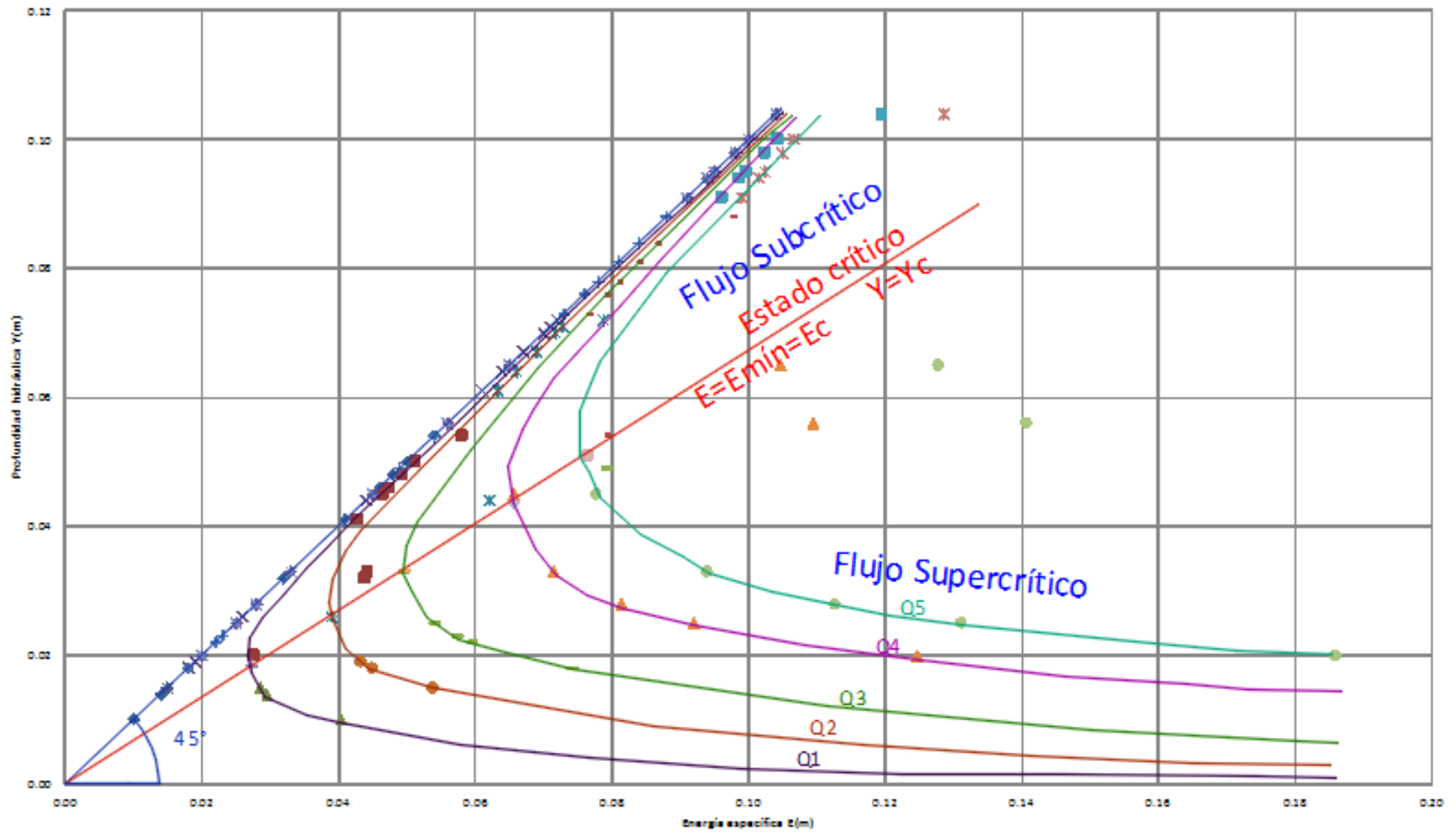


Figura N° 48: Curva Energía Específica de alcantarilla sin aleros $S=0.5^\circ$
 Fuente: Elaboración propia

5.1.4.3. Experimento de alcantarilla sin aleros $S=1^\circ$

Del experimento de alcantarilla sin aleros para una pendiente de $S=1^\circ$, los resultados se presentan en las tablas N°65 – 69, resultados con los que realizó la gráfica de curva de energía con respecto a los caudales usados, las curvas se pueden observar en la figura N°49.

Tabla N° 65: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros $S=1^\circ$ con Q1

Pendiente del canal $S(^\circ)$	Caudal $Q1(m^3/s)$	Profundidad hidráulica	Velocidad ^d $V=Q/A_h$	Energía $E= Y+V^2/2g$	Número de Froude $Fr=V/(g*Y)^{1/2}$	Tirante crítico $Y_c=YFr^{2/3}$	Energía mínima $E_{mín}=1.5Y_c$	Tipo de	
1	0.01746	0.0023							
Sección	Ubicación	Tramo	$Y_i(m)$	$V(m/s)$	$E(m)$	Fr	$Y_{ci}(m)$	$E(m)$	Régimen
13		13_12	0.013	0.59	0.0310	1.66	0.018	0.0274	Supercrítico
12	Aguas arriba	12_11	0.029	0.27	0.0326	0.50	0.018	0.0274	Subcrítico
11		11_10	0.037	0.21	0.0392	0.35	0.018	0.0274	Subcrítico
10		10_9	0.041	0.19	0.0428	0.30	0.018	0.0274	Subcrítico
09		9_8	0.050	0.15	0.0512	0.22	0.018	0.0274	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.055	0.28	0.0590	0.38	0.029	0.0435	Subcrítico
07		7_6	0.030	0.51	0.0435	0.95	0.029	0.0435	Subcrítico
06		6_5	0.023	0.67	0.0460	1.41	0.029	0.0435	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.020	0.39	0.0276	0.87	0.018	0.0274	Subcrítico
04		4_3	0.015	0.51	0.0285	1.34	0.018	0.0274	Supercrítico
03		3_2	0.011	0.70	0.0361	2.14	0.018	0.0274	Supercrítico
02		2_1	0.017	0.45	0.0275	1.11	0.018	0.0274	Supercrítico
01		1_0	0.015	0.51	0.0285	1.34	0.018	0.0274	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 66: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros $S=1^\circ$ con Q2

Pendiente del canal $S(^\circ)$	Caudal $Q2(m^3/s)$	Profundidad hidráulica	Velocidad ^d	Energía $E= Y+V^2/2g$	Número de Froude $Fr=V/(g*Y)^{1/2}$	Tirante crítico $Y_c=YFr^{2/3}$	Energía mínima $E_{mín}=1.5Y_c$	Tipo de	
1	0.01746	0.0039							
Sección	Ubicación	Tramo	$Y_i(m)$	$V(m/s)$	$E(m)$	Fr	$Y_{ci}(m)$	$E(m)$	Régimen
13		13_12	0.015	0.87	0.0539	2.28	0.026	0.0389	Supercrítico
12	Aguas arriba	12_11	0.040	0.33	0.0455	0.52	0.026	0.0389	Subcrítico
11		11_10	0.045	0.29	0.0493	0.44	0.026	0.0389	Subcrítico
10		10_9	0.051	0.26	0.0544	0.36	0.026	0.0389	Subcrítico
09		9_8	0.056	0.23	0.0588	0.32	0.026	0.0389	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.064	0.41	0.0725	0.52	0.041	0.0618	Subcrítico
07		7_6	0.036	0.73	0.0630	1.23	0.041	0.0618	Supercrítico
06		6_5	0.031	0.85	0.0674	1.53	0.041	0.0618	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.023	0.57	0.0395	1.20	0.026	0.0389	Supercrítico
04		4_3	0.017	0.77	0.0473	1.89	0.026	0.0389	Supercrítico
03		3_2	0.012	1.09	0.0728	3.18	0.026	0.0389	Supercrítico
02		2_1	0.020	0.66	0.0419	1.48	0.026	0.0389	Supercrítico
01		1_0	0.016	0.82	0.0502	2.07	0.026	0.0389	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 67: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=1° con Q3

Pendiente del canal S(°)	Caudal Q3(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad	Energía	Número de Froude	Tirante crítico	Energía mínima	Tipo de	
1	0.01746	0.0057		$E= Y+V^2/2g$	$Fr=V/(g*Y)^{1/2}$	$Yc=YFr^{2/3}$	$Emín=1.5Yc$		
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	E(m)	Régimen
13		13_12	0.046	0.41	0.0546	0.61	0.033	0.0498	Subcrítico
12		12_11	0.057	0.33	0.0626	0.44	0.033	0.0498	Subcrítico
11	Aguas	11_10	0.064	0.30	0.0685	0.37	0.033	0.0498	Subcrítico
10	arriba	10_9	0.071	0.27	0.0746	0.32	0.033	0.0498	Subcrítico
09		9_8	0.075	0.25	0.0782	0.29	0.033	0.0498	Subcrítico
08		8_7	0.080	0.47	0.0914	0.53	0.053	0.0790	Subcrítico
07	Estructura	7_6	0.051	0.74	0.0791	1.05	0.053	0.0790	Supercrítico
06	Alcantarilla	6_5	0.045	0.84	0.0810	1.27	0.053	0.0790	Supercrítico
05		5_4	0.034	0.56	0.0498	0.96	0.033	0.0498	Subcrítico
04		4_3	0.023	0.82	0.0575	1.73	0.033	0.0498	Supercrítico
03	Aguas	3_2	0.017	1.11	0.0801	2.73	0.033	0.0498	Supercrítico
02	abajo	2_1	0.028	0.68	0.0513	1.29	0.033	0.0498	Supercrítico
01		1_0	0.020	0.95	0.0656	2.14	0.033	0.0498	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 68: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=1° con Q4

Pendiente del canal S(°)	Caudal Q4(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad	Energía	Número de Froude	Tirante crítico	Energía mínima	Tipo de	
1	0.01746	0.0086		$E= Y+V^2/2g$	$Fr=V/(g*Y)^{1/2}$	$Yc=YFr^{2/3}$	$Emín=1.5Yc$		
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	E(m)	Régimen
13		13_12	0.070	0.41	0.0785	0.49	0.044	0.0656	Subcrítico
12		12_11	0.080	0.36	0.0865	0.40	0.044	0.0656	Subcrítico
11	Aguas	11_10	0.084	0.34	0.0899	0.38	0.044	0.0656	Subcrítico
10	arriba	10_9	0.091	0.32	0.0961	0.33	0.044	0.0656	Subcrítico
09		9_8	0.096	0.30	0.1005	0.31	0.044	0.0656	Subcrítico
08		8_7	0.100	0.57	0.1168	0.58	0.069	0.1042	Subcrítico
07	Estructura	7_6	0.066	0.87	0.1045	1.08	0.069	0.1042	Supercrítico
06	Alcantarilla	6_5	0.052	1.10	0.1140	1.54	0.069	0.1042	Supercrítico
05		5_4	0.045	0.64	0.0657	0.96	0.044	0.0656	Subcrítico
04		4_3	0.030	0.96	0.0765	1.76	0.044	0.0656	Supercrítico
03	Aguas	3_2	0.021	1.37	0.1160	3.01	0.044	0.0656	Supercrítico
02	abajo	2_1	0.037	0.77	0.0676	1.29	0.044	0.0656	Supercrítico
01		1_0	0.023	1.25	0.1022	2.62	0.044	0.0656	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 69: Resultado experimental de alcantarilla sin aleros S=1° con Q5

Pendiente del canal S(°)	Caudal Q5(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad	Energía	Número de Froude	Tirante crítico	Energía mínima	Tipo de	
1	0.01746	0.0108		$E= Y+V^2/2g$	$Fr=V/(g*Y)^{1/2}$	$Yc=YFr^{2/3}$	$Emín=1.5Yc$		
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	E(m)	Régimen
13		13_12	0.085	0.42	0.0942	0.46	0.051	0.0765	Subcrítico
12		12_11	0.096	0.38	0.1032	0.39	0.051	0.0765	Subcrítico
11	Aguas	11_10	0.101	0.36	0.1075	0.36	0.051	0.0765	Subcrítico
10	arriba	10_9	0.108	0.33	0.1137	0.32	0.051	0.0765	Subcrítico
09		9_8	0.113	0.32	0.1182	0.30	0.051	0.0765	Subcrítico
08		8_7	0.118	0.61	0.1371	0.57	0.081	0.1215	Subcrítico
07	Estructura	7_6	0.085	0.85	0.1217	0.93	0.081	0.1215	Subcrítico
06	Alcantarilla	6_5	0.073	0.99	0.1228	1.17	0.081	0.1215	Supercrítico
05		5_4	0.057	0.63	0.0774	0.85	0.051	0.0765	Subcrítico
04		4_3	0.035	1.03	0.0892	1.76	0.051	0.0765	Supercrítico
03	Aguas	3_2	0.026	1.39	0.1242	2.75	0.051	0.0765	Supercrítico
02	abajo	2_1	0.047	0.77	0.0770	1.13	0.051	0.0765	Supercrítico
01		1_0	0.026	1.39	0.1242	2.75	0.051	0.0765	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

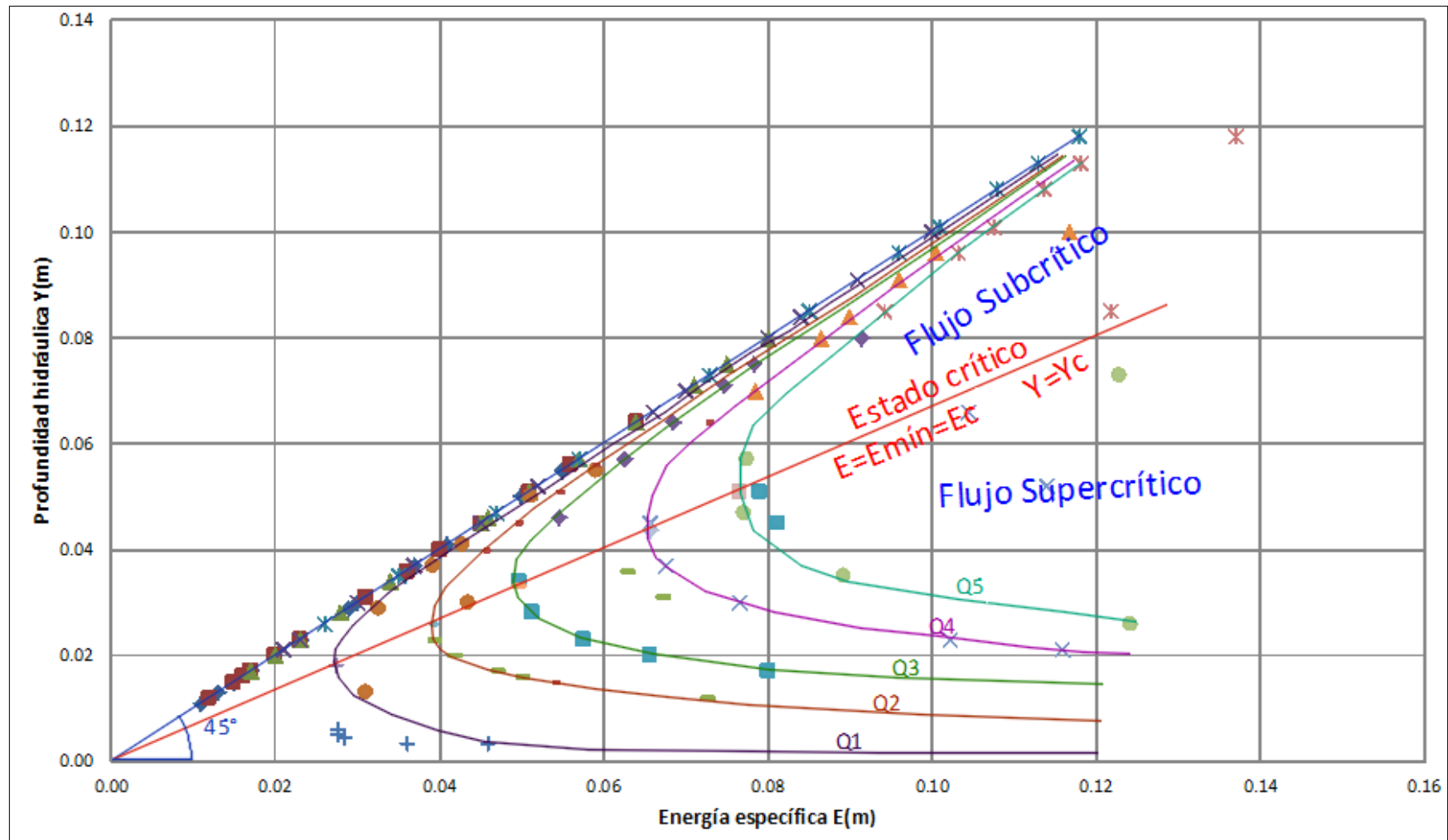


Figura N° 49: Curva Energía Específica de alcantarilla sin aleros $S=1^\circ$
 Fuente: Elaboración propia

5.1.5. Alcantarilla tipo BOX con aleros de 12.5°

5.1.5.1. Experimento de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.25°

Los resultados de realizar los experimentos se muestran en las tablas N°70 – 74 para la pendiente que se menciona S=0.25° con los caudales de Q1 – Q5, asimismo se ilustra la curva de energía específica en la figura N°50.

Tabla N° 70: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.25° Q1

Pendiente del canal S(°)	Caudal S(m/m)	Profundidad hidráulica	Velocidad: V=Q/A _h	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Velocidad crítica Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Energía mínima Emin=1.5Yc	Tipo de Régimen	
0.25	0.00436	0.0023								
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.035	0.22	0.0375	0.38	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
14	Aguas arriba	14_13	0.036	0.21	0.0383	0.36	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
13		13_12	0.037	0.21	0.0392	0.35	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
12		12_11	0.035	0.22	0.0375	0.38	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
11		11_10	0.038	0.20	0.0401	0.33	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
10	Estructura alcantarilla con aleros 12.5°	10_9	0.038	0.28	0.0419	0.45	0.022	0.47	0.0337	Subcrítico
09		9_8	0.039	0.40	0.0470	0.64	0.029	0.53	0.0435	Subcrítico
08		8_7	0.034	0.45	0.0445	0.79	0.029	0.53	0.0435	Subcrítico
07		7_6	0.028	0.55	0.0435	1.05	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
06		6_5	0.013	0.81	0.0465	2.27	0.022	0.47	0.0337	Supercrítico
05		5_4	0.013	0.59	0.0310	1.66	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
04		4_3	0.011	0.70	0.0361	2.14	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
03	Aguas abajo	3_2	0.010	0.77	0.0404	2.47	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
02		2_1	0.011	0.70	0.0361	2.14	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
01		1_0	0.013	0.59	0.0310	1.66	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 71: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.25° Q2

Pendiente del canal S(°)	Caudal S(m/m)	Profundidad hidráulica	Velocidad: V=Q/A _h	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Velocidad crítica Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Energía mínima Emin=1.5Yc	Tipo de Régimen	
0.25	0.00436	0.0039								
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.052	0.25	0.0552	0.35	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
14	Aguas arriba	14_13	0.054	0.24	0.0570	0.33	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
13		13_12	0.053	0.25	0.0561	0.34	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
12		12_11	0.055	0.24	0.0579	0.32	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
11		11_10	0.056	0.23	0.0588	0.32	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
10	Estructura alcantarilla con aleros 12.5°	10_9	0.056	0.32	0.0612	0.43	0.032	0.56	0.0479	Subcrítico
09		9_8	0.049	0.53	0.0636	0.77	0.041	0.64	0.0618	Subcrítico
08		8_7	0.038	0.69	0.0622	1.13	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
07		7_6	0.034	0.77	0.0643	1.33	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
06		6_5	0.017	1.05	0.0733	2.57	0.032	0.56	0.0479	Supercrítico
05		5_4	0.015	0.87	0.0539	2.28	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
04		4_3	0.015	0.87	0.0539	2.28	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
03	Aguas abajo	3_2	0.013	1.01	0.0648	2.82	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
02		2_1	0.015	0.87	0.0539	2.28	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
01		1_0	0.016	0.82	0.0502	2.07	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 72: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.25° Q3

Pendiente del canal S(°)	Caudal S(m/m)	Caudal Q3(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad V=Q/A _n	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Velocidad crítica Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Energía mínima Emin=1.5Yc	Tipo de Régimen
0.25	0.00436	0.0057								
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.074	0.26	0.0773	0.30	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
14	Aguas	14_13	0.075	0.25	0.0782	0.29	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
13	arriba	13_12	0.075	0.25	0.0782	0.29	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
12		12_11	0.077	0.25	0.0801	0.28	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
11		11_10	0.077	0.25	0.0801	0.28	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
10		10_9	0.075	0.34	0.0810	0.40	0.041	0.63	0.0612	Subcrítico
09	Estructura	9_8	0.065	0.58	0.0823	0.73	0.053	0.72	0.0790	Subcrítico
08	alcantarilla	8_7	0.048	0.79	0.0797	1.15	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
07	con aleros	7_6	0.044	0.86	0.0817	1.31	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
06	12.5°	6_5	0.028	0.92	0.0713	1.76	0.041	0.63	0.0612	Supercrítico
05		5_4	0.023	0.82	0.0575	1.73	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
04		4_3	0.022	0.86	0.0597	1.85	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
03	Aguas	3_2	0.018	1.05	0.0743	2.50	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
02	abajo	2_1	0.022	0.86	0.0597	1.85	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
01		1_0	0.020	0.95	0.0656	2.14	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 73: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.25° Q4

Pendiente del canal S(°)	Caudal S(m/m)	Caudal Q4(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad V=Q/A _n	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Velocidad crítica Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Energía mínima Emin=1.5Yc	Tipo de Régimen
0.25	0.00436	0.0086								
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.093	0.31	0.0978	0.32	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
14	Aguas	14_13	0.095	0.30	0.0996	0.31	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
13	arriba	13_12	0.094	0.30	0.0987	0.32	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
12		12_11	0.095	0.30	0.0996	0.31	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
11		11_10	0.094	0.30	0.0987	0.32	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
10		10_9	0.091	0.43	0.1004	0.45	0.054	0.73	0.0807	Subcrítico
09	Estructura	9_8	0.083	0.69	0.1073	0.77	0.069	0.83	0.1042	Subcrítico
08	alcantarilla	8_7	0.059	0.97	0.1071	1.28	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
07	con aleros	7_6	0.055	1.04	0.1104	1.42	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
06	12.5°	6_5	0.033	1.18	0.1045	2.08	0.054	0.73	0.0807	Supercrítico
05		5_4	0.025	1.15	0.0920	2.32	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
04		4_3	0.028	1.02	0.0814	1.95	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
03	Aguas	3_2	0.022	1.30	0.1085	2.80	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
02	abajo	2_1	0.023	1.25	0.1022	2.62	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
01		1_0	0.025	1.15	0.0920	2.32	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 74: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.25° Q5

Pendiente del canal S(°)	Caudal S(m/m)	Caudal Q5(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad V=Q/A _n	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Velocidad crítica Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Energía mínima Emin=1.5Yc	Tipo de Régimen
0.25	0.00436	0.0108								
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.109	0.33	0.1146	0.32	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
14	Aguas	14_13	0.111	0.33	0.1164	0.31	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
13	arriba	13_12	0.109	0.33	0.1146	0.32	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
12		12_11	0.111	0.33	0.1164	0.31	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
11		11_10	0.110	0.33	0.1155	0.32	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
10		10_9	0.109	0.45	0.1194	0.44	0.063	0.78	0.0941	Subcrítico
09	Estructura	9_8	0.101	0.71	0.1270	0.72	0.081	0.89	0.1215	Subcrítico
08	alcantarilla	8_7	0.075	0.96	0.1222	1.12	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
07	con aleros	7_6	0.066	1.09	0.1269	1.36	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
06	12.5°	6_5	0.043	1.14	0.1097	1.76	0.063	0.78	0.0941	Supercrítico
05		5_4	0.029	1.24	0.1079	2.33	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
04		4_3	0.034	1.06	0.0914	1.84	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
03	Aguas	3_2	0.025	1.44	0.1312	2.91	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
02	abajo	2_1	0.024	1.50	0.1392	3.10	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
01		1_0	0.035	1.03	0.0892	1.76	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

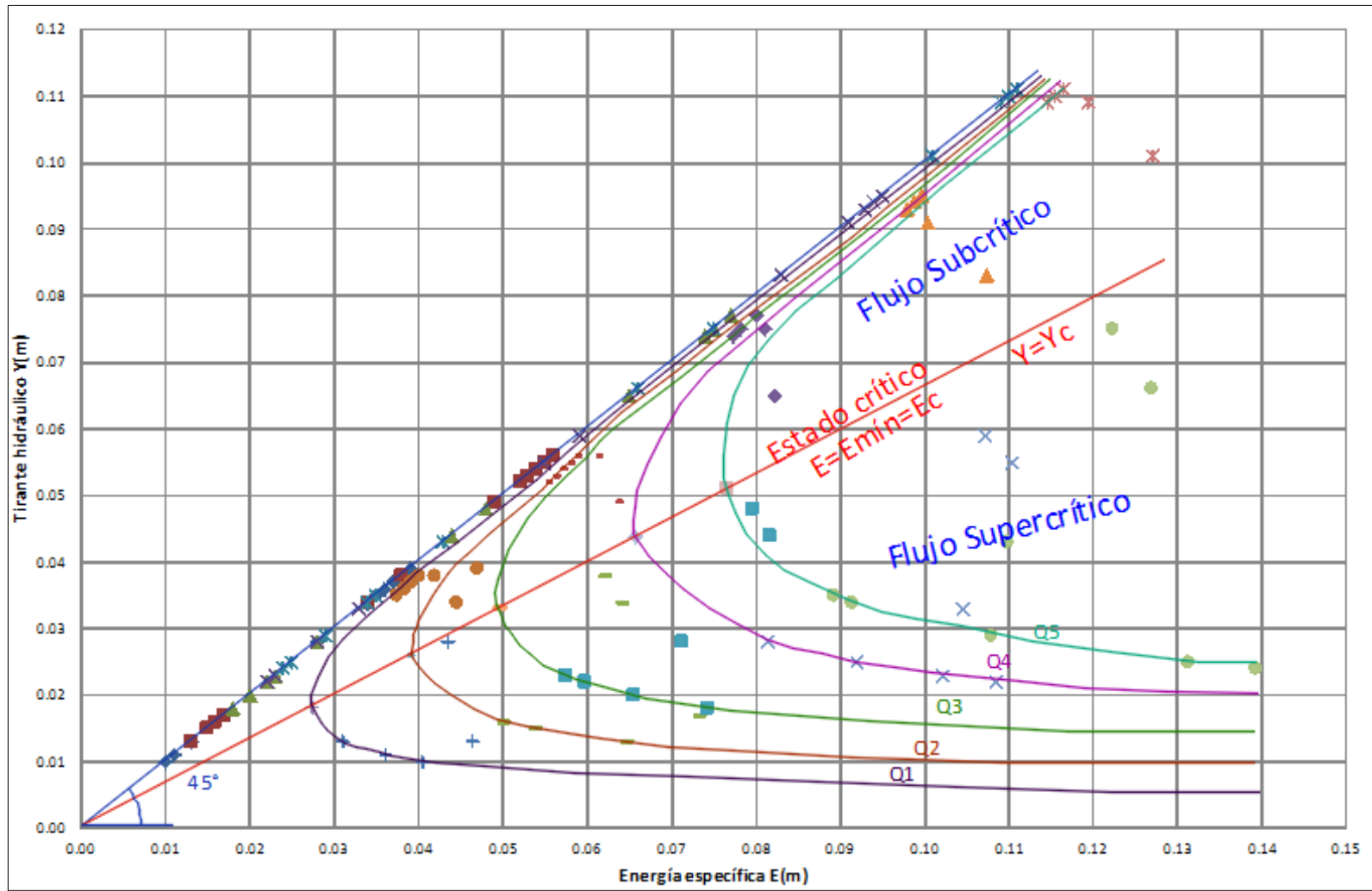


Figura N° 50: Curva Energía Específica de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.25°
Fuente: Elaboración propia

5.1.5.2. Experimento de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.5°

En las tablas N°75 – 79, se muestran los resultados del experimento de alcantarilla con aleros de 12.5° para la pendiente de S=0.5°, para los cinco caudales que en cada una de las tablas se indican, así también se cuenta con la realización del gráfico de curva de energía, la cual se muestra en la figura N°51.

Tabla N° 75: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.5° Q1

Pendiente del canal S(°)		Caudal Q1(m ³ /s)	Profundidad hidráulica	Velocidad V=Q/A _h	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Velocidad crítica Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Energía mínima Emin=1.5Yc	Tipo de Régimen
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.025	0.31	0.0299	0.62	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
14	Aguas	14_13	0.029	0.27	0.0326	0.50	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
13	arriba	13_12	0.030	0.26	0.0334	0.47	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
12		12_11	0.033	0.23	0.0358	0.41	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
11		11_10	0.033	0.23	0.0358	0.41	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
10		10_9	0.034	0.31	0.0389	0.54	0.022	0.47	0.0337	Subcrítico
09	Estructura	9_8	0.033	0.47	0.0442	0.82	0.029	0.53	0.0435	Subcrítico
08	alcantarilla	8_7	0.022	0.70	0.0471	1.51	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
07	con aleros	7_6	0.021	0.74	0.0486	1.62	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
06	12.5°	6_5	0.011	0.96	0.0577	2.91	0.022	0.47	0.0337	Supercrítico
05		5_4	0.009	0.86	0.0465	2.89	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
04		4_3	0.011	0.70	0.0361	2.14	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
03	Aguas	3_2	0.010	0.77	0.0404	2.47	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
02	abajo	2_1	0.010	0.77	0.0404	2.47	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
01		1_0	0.011	0.70	0.0361	2.14	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 76: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.5° Q2

Pendiente del canal S(°)		Caudal Q2(m ³ /s)	Profundidad hidráulica	Velocidad V=Q/A _h	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Velocidad crítica Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Energía mínima Emin=1.5Yc	Tipo de Régimen
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.046	0.28	0.0501	0.42	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
14	Aguas	14_13	0.049	0.27	0.0526	0.39	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
13	arriba	13_12	0.051	0.26	0.0544	0.36	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
12		12_11	0.053	0.25	0.0561	0.34	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
11		11_10	0.054	0.24	0.0570	0.33	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
10		10_9	0.053	0.34	0.0588	0.47	0.032	0.56	0.0479	Subcrítico
09	Estructura	9_8	0.046	0.57	0.0625	0.85	0.041	0.64	0.0618	Subcrítico
08	alcantarilla	8_7	0.034	0.77	0.0643	1.33	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
07	con aleros	7_6	0.033	0.79	0.0651	1.40	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
06	12.5°	6_5	0.016	1.12	0.0796	2.82	0.032	0.56	0.0479	Supercrítico
05		5_4	0.014	0.94	0.0587	2.53	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
04		4_3	0.011	1.19	0.0833	3.63	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
03	Aguas	3_2	0.011	1.19	0.0833	3.63	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
02	abajo	2_1	0.013	1.01	0.0648	2.82	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
01		1_0	0.014	0.94	0.0587	2.53	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 77: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.5° Q3

Pendiente del canal S(°)	Caudal S(m/m)	Caudal Q3(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad: V=Q/A _h	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Velocidad crítica Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Energía mínima Emin=1.5Yc	Tipo de
0.5	0.00873	0.0057								
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.065	0.29	0.0693	0.36	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
14	Aguas	14_13	0.070	0.27	0.0737	0.33	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
13	arriba	13_12	0.071	0.27	0.0746	0.32	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
12		12_11	0.074	0.26	0.0773	0.30	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
11		11_10	0.075	0.25	0.0782	0.29	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
10		10_9	0.073	0.35	0.0794	0.42	0.041	0.63	0.0612	Subcrítico
09	Estructura	9_8	0.070	0.54	0.0849	0.65	0.053	0.72	0.0790	Subcrítico
08	alcantarilla	8_7	0.048	0.79	0.0797	1.15	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
07	con aleros	7_6	0.044	0.86	0.0817	1.31	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
06	12.5°	6_5	0.021	1.23	0.0979	2.71	0.041	0.63	0.0612	Supercrítico
05		5_4	0.020	0.95	0.0656	2.14	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
04		4_3	0.023	0.82	0.0575	1.73	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
03	Aguas	3_2	0.022	0.86	0.0597	1.85	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
02	abajo	2_1	0.014	1.35	0.1071	3.65	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
01		1_0	0.021	0.90	0.0624	1.98	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 78: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.5° Q4

Pendiente del canal S(°)	Caudal S(m/m)	Caudal Q4(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad: V=Q/A _h	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Velocidad crítica Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Energía mínima Emin=1.5Yc	Tipo de
0.5	0.00873	0.0086								
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.088	0.33	0.0934	0.35	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
14	Aguas	14_13	0.092	0.31	0.0969	0.33	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
13	arriba	13_12	0.094	0.30	0.0987	0.32	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
12		12_11	0.095	0.30	0.0996	0.31	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
11		11_10	0.095	0.30	0.0996	0.31	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
10		10_9	0.096	0.41	0.1045	0.42	0.054	0.73	0.0807	Subcrítico
09	Estructura	9_8	0.084	0.68	0.1077	0.75	0.069	0.83	0.1042	Subcrítico
08	alcantarilla	8_7	0.064	0.90	0.1049	1.13	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
07	con aleros	7_6	0.058	0.99	0.1078	1.31	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
06	12.5°	6_5	0.029	1.35	0.1216	2.53	0.054	0.73	0.0807	Supercrítico
05		5_4	0.024	1.19	0.0967	2.46	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
04		4_3	0.031	0.92	0.0746	1.68	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
03	Aguas	3_2	0.021	1.37	0.1160	3.01	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
02	abajo	2_1	0.019	1.51	0.1350	3.49	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
01		1_0	0.027	1.06	0.0844	2.06	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 79: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.5° Q5

Pendiente del canal S(°)	Caudal S(m/m)	Caudal Q5(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad: V=Q/A _h	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Velocidad crítica Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Energía mínima Emin=1.5Yc	Tipo de
0.5	0.00873	0.0108								
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.105	0.34	0.1110	0.34	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
14	Aguas	14_13	0.110	0.33	0.1155	0.32	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
13	arriba	13_12	0.109	0.33	0.1146	0.32	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
12		12_11	0.113	0.32	0.1182	0.30	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
11		11_10	0.113	0.32	0.1182	0.30	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
10		10_9	0.109	0.45	0.1194	0.44	0.063	0.78	0.0941	Subcrítico
09	Estructura	9_8	0.098	0.74	0.1256	0.75	0.081	0.89	0.1215	Subcrítico
08	alcantarilla	8_7	0.073	0.99	0.1228	1.17	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
07	con aleros	7_6	0.060	1.20	0.1337	1.57	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
06	12.5°	6_5	0.036	1.37	0.1312	2.30	0.063	0.78	0.0941	Supercrítico
05		5_4	0.028	1.29	0.1127	2.46	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
04		4_3	0.035	1.03	0.0892	1.76	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
03	Aguas	3_2	0.026	1.39	0.1242	2.75	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
02	abajo	2_1	0.024	1.50	0.1392	3.10	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
01		1_0	0.036	1.00	0.0872	1.69	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

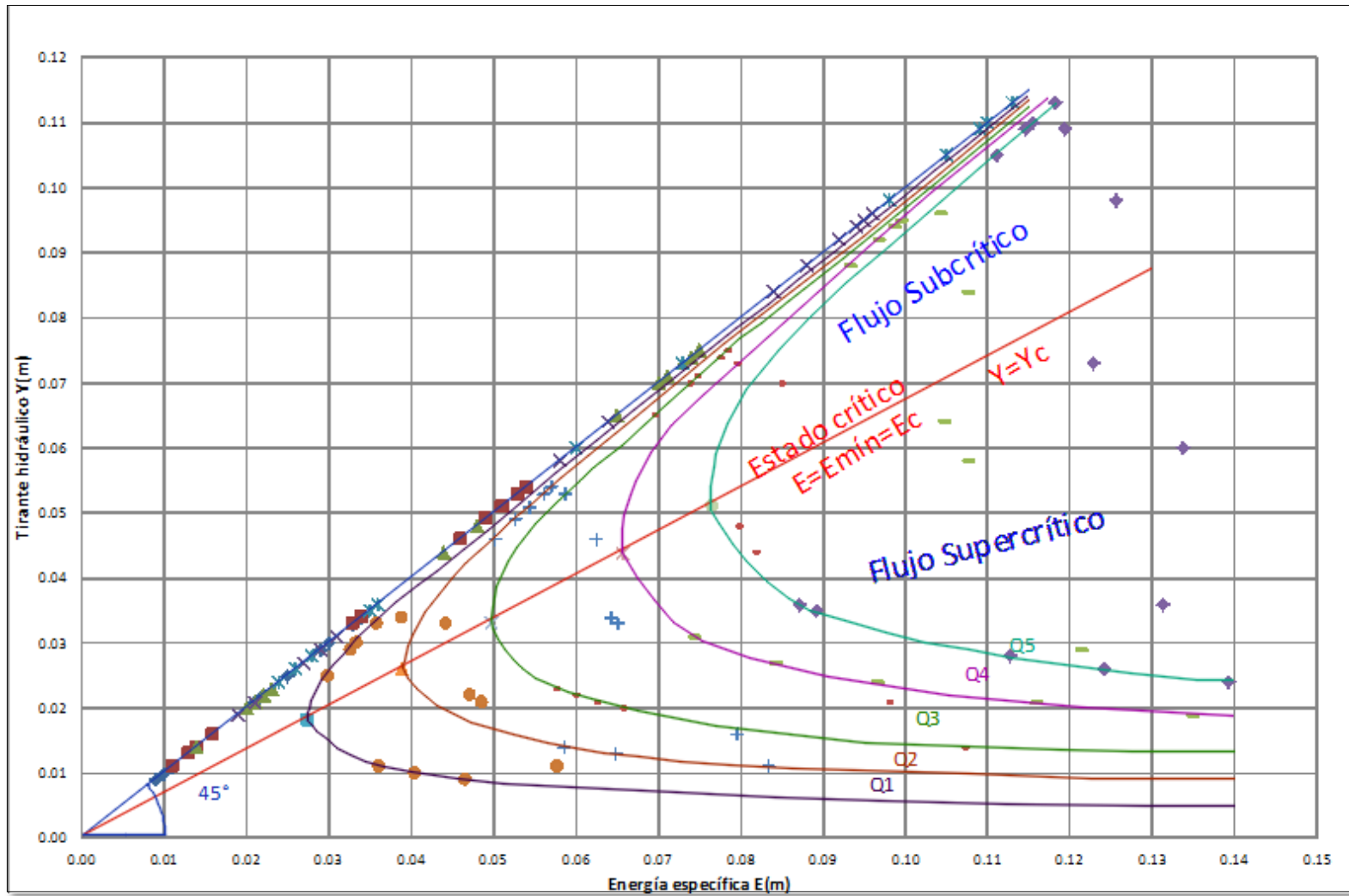


Figura N° 51: Curva Energía Específica de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.5°
Fuente: Elaboración propia

5.1.5.3. Experimento de alcantarilla con aleros 12.5° S=1°

Las tablas N°80 – 84 muestran los resultados de realizar los experimentos en el laboratorio de Hidráulica, las que permiten realizar un gráfico de curva de energía, la que se puede apreciar en la figura N°52.

Tabla N° 80: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=1° Q1

Pendiente del canal S(°)	Caudal Q1(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad V(m/s)	Energía E(m)	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Velocidad crítica Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Energía mínima Emin=1.5Yc	Tipo de Régimen	
1	0.01746	0.0023	V=Q/A _h	E= Y+V ² /2g	Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Yc=YFr ^{2/3}	Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Emin=1.5Yc	Tipo de Régimen	
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.012	0.64	0.0331	1.88	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
14	Aguas	14_13	0.023	0.34	0.0287	0.71	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
13	arriba	13_12	0.030	0.26	0.0334	0.47	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
12		12_11	0.035	0.22	0.0375	0.38	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
11		11_10	0.039	0.20	0.0410	0.32	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
10		10_9	0.040	0.26	0.0435	0.42	0.022	0.47	0.0337	Subcrítico
09	Estructura	9_8	0.042	0.37	0.0489	0.57	0.029	0.53	0.0435	Subcrítico
08	alcantarilla	8_7	0.026	0.59	0.0440	1.18	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
07	con aleros	7_6	0.025	0.62	0.0445	1.25	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
06	12.5°	6_5	0.014	0.75	0.0429	2.03	0.022	0.47	0.0337	Supercrítico
05		5_4	0.013	0.59	0.0310	1.66	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
04		4_3	0.012	0.64	0.0331	1.88	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
03	Aguas	3_2	0.010	0.77	0.0404	2.47	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
02	abajo	2_1	0.009	0.86	0.0465	2.89	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
01		1_0	0.011	0.70	0.0361	2.14	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 81: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=1° Q2

Pendiente del canal S(°)	Caudal Q2(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad V(m/s)	Energía E(m)	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Velocidad crítica Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Energía mínima Emin=1.5Yc	Tipo de Régimen	
1	0.01746	0.0039	V=Q/A _h	E= Y+V ² /2g	Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Yc=YFr ^{2/3}	Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Emin=1.5Yc	Tipo de Régimen	
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.014	0.94	0.0587	2.53	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
14	Aguas	14_13	0.038	0.34	0.0441	0.56	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
13	arriba	13_12	0.044	0.30	0.0485	0.45	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
12		12_11	0.048	0.27	0.0518	0.40	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
11		11_10	0.051	0.26	0.0544	0.36	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
10		10_9	0.054	0.33	0.0596	0.45	0.032	0.56	0.0479	Subcrítico
09	Estructura	9_8	0.049	0.53	0.0636	0.77	0.041	0.64	0.0618	Subcrítico
08	alcantarilla	8_7	0.036	0.73	0.0630	1.23	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
07	con aleros	7_6	0.031	0.85	0.0674	1.53	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
06	12.5°	6_5	0.016	1.12	0.0796	2.82	0.032	0.56	0.0479	Supercrítico
05		5_4	0.015	0.87	0.0539	2.28	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
04		4_3	0.016	0.82	0.0502	2.07	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
03	Aguas	3_2	0.012	1.09	0.0728	3.18	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
02	abajo	2_1	0.011	1.19	0.0833	3.63	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
01		1_0	0.016	0.82	0.0502	2.07	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 82: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=1° Q3

Pendiente del canal S(°)	Caudal S(m/m)	Caudal Q3(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad ^h	Energía	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo de
1	0.01746	0.0057		$V=Q/A_h$	$E= Y+V^2/2g$	$Fr=V/(g*Y)^{1/2}$	$Yc=YFr^{2/3}$	$Vc=(g*Yc)^{1/2}$	$E_{mín}=1.5Yc$	
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.046	0.41	0.0546	0.61	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
14	Aguas	14_13	0.058	0.33	0.0634	0.43	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
13	arriba	13_12	0.063	0.30	0.0676	0.38	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
12		12_11	0.068	0.28	0.0719	0.34	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
11		11_10	0.070	0.27	0.0737	0.33	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
10		10_9	0.071	0.36	0.0777	0.44	0.041	0.63	0.0612	Subcrítico
09	Estructura alcantarilla	9_8	0.066	0.57	0.0828	0.71	0.053	0.72	0.0790	Subcrítico
08	con aleros	8_7	0.046	0.82	0.0805	1.22	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
07	12.5°	7_6	0.044	0.86	0.0817	1.31	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
06		6_5	0.021	1.23	0.0979	2.71	0.041	0.63	0.0612	Supercrítico
05		5_4	0.018	1.05	0.0743	2.50	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
04		4_3	0.023	0.82	0.0575	1.73	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
03	Aguas	3_2	0.017	1.11	0.0801	2.73	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
02	abajo	2_1	0.014	1.35	0.1071	3.65	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
01		1_0	0.022	0.86	0.0597	1.85	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 83: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=1° Q4

Pendiente del canal S(°)	Caudal S(m/m)	Caudal Q4(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad ^h	Energía	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo de
1	0.01746	0.0086		$V=Q/A_h$	$E= Y+V^2/2g$	$Fr=V/(g*Y)^{1/2}$	$Yc=YFr^{2/3}$	$Vc=(g*Yc)^{1/2}$	$E_{mín}=1.5Yc$	
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.065	0.44	0.0749	0.55	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
14	Aguas	14_13	0.074	0.39	0.0816	0.45	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
13	arriba	13_12	0.080	0.36	0.0865	0.40	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
12		12_11	0.085	0.34	0.0908	0.37	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
11		11_10	0.086	0.33	0.0917	0.36	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
10		10_9	0.084	0.47	0.0950	0.51	0.054	0.73	0.0807	Subcrítico
09	Estructura alcantarilla	9_8	0.078	0.74	0.1055	0.84	0.069	0.83	0.1042	Subcrítico
08	con aleros	8_7	0.057	1.01	0.1086	1.35	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
07	12.5°	7_6	0.045	1.27	0.1277	1.92	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
06		6_5	0.031	1.26	0.1120	2.29	0.054	0.73	0.0807	Supercrítico
05		5_4	0.022	1.30	0.1085	2.80	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
04		4_3	0.029	0.99	0.0788	1.85	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
03	Aguas	3_2	0.021	1.37	0.1160	3.01	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
02	abajo	2_1	0.016	1.79	0.1796	4.52	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
01		1_0	0.030	0.96	0.0765	1.76	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 84: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 12.5° S=1° Q5

Pendiente del canal S(°)	Caudal S(m/m)	Caudal Q5(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad ^h	Energía	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo de
1	0.01746	0.0108		$V=Q/A_h$	$E= Y+V^2/2g$	$Fr=V/(g*Y)^{1/2}$	$Yc=YFr^{2/3}$	$Vc=(g*Yc)^{1/2}$	$E_{mín}=1.5Yc$	
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.089	0.41	0.0974	0.43	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
14	Aguas	14_13	0.098	0.37	0.1049	0.38	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
13	arriba	13_12	0.101	0.36	0.1075	0.36	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
12		12_11	0.106	0.34	0.1119	0.33	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
11		11_10	0.109	0.33	0.1146	0.32	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
10		10_9	0.106	0.46	0.1170	0.46	0.063	0.78	0.0941	Subcrítico
09	Estructura alcantarilla	9_8	0.102	0.71	0.1275	0.71	0.081	0.89	0.1215	Subcrítico
08	con aleros	8_7	0.074	0.98	0.1225	1.14	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
07	12.5°	7_6	0.061	1.18	0.1323	1.53	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
06		6_5	0.041	1.20	0.1144	1.89	0.063	0.78	0.0941	Supercrítico
05		5_4	0.034	1.06	0.0914	1.84	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
04		4_3	0.035	1.03	0.0892	1.76	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
03	Aguas	3_2	0.026	1.39	0.1242	2.75	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
02	abajo	2_1	0.023	1.57	0.1485	3.30	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
01		1_0	0.037	0.98	0.0855	1.62	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

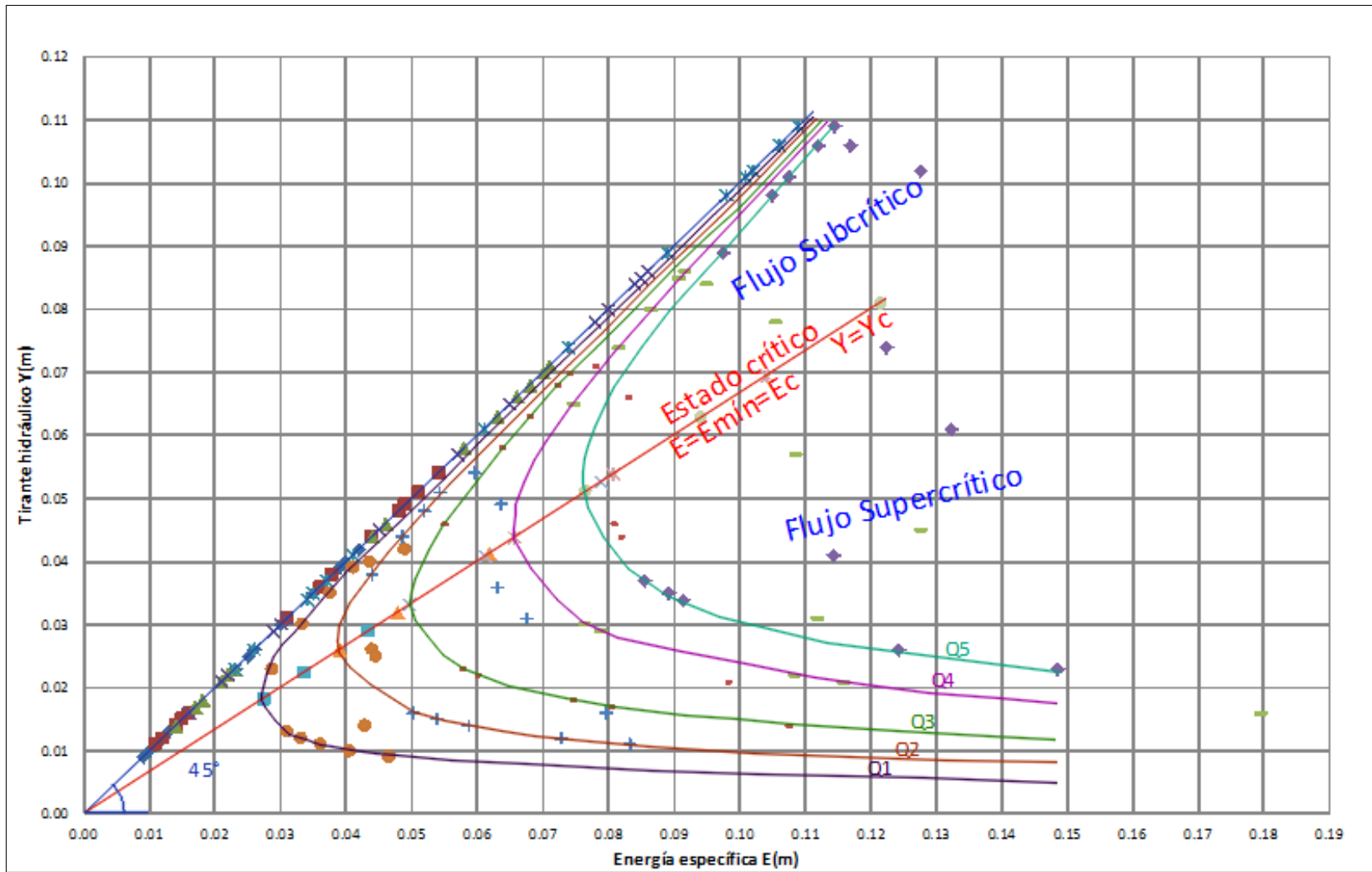


Figura N° 52: Curva de Energía Específica de alcantarilla con aleros 12.5° S=1°
 Fuente: Elaboración propia

5.1.6. Alcantarilla tipo BOX con aleros de 30°

5.1.6.1. Experimento de alcantarilla con aleros 30° S=0.25°

Los resultados de los experimentos de la alcantarilla con aleros de 30°, para la pendiente S=0.25°, ejecutado para cinco caudales distintos las que se indican en cada una de las tablas N°85 - 89 y que partir de ellos se plasmó la curva de energía que también se muestra en la figura N°53.

Tabla N° 85: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=0.25° Q1

Pendiente del canal		Caudal	Profundidad hidráulica	Velocidad	Energía	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo de
S(°)	S(m/m)	Q1(m3/s)								
0.25	0.00436	0.0023	Yi(m)	$V=Q/A_h$ V(m/s)	$E= Y+V^2/2g$ E(m)	$Fr=V/(g*Y)^{1/2}$ Fr	$Yc=YFr^{2/3}$ Yci(m)	$Vc=(g*Yc)^{1/2}$ Vc(m/s)	$E_{mín}=1.5Yc$ E(m)	Régimen
Sección	Ubicación	Tramo								
15		15_14	0.035	0.22	0.0375	0.38	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
14	Aguas arriba	14_13	0.036	0.21	0.0383	0.36	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
13		13_12	0.034	0.23	0.0366	0.39	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
12		12_11	0.038	0.20	0.0401	0.33	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
11		11_10	0.036	0.21	0.0383	0.36	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
10		10_9	0.037	0.21	0.0392	0.35	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
09	Estructura alcantarilla con aleros	9_8	0.037	0.42	0.0459	0.69	0.029	0.53	0.0435	Subcrítico
08		8_7	0.024	0.64	0.0451	1.33	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
07		7_6	0.024	0.64	0.0451	1.33	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
06		6_5	0.011	0.70	0.0361	2.14	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
05		5_4	0.013	0.59	0.0310	1.66	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.011	0.70	0.0361	2.14	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
03		3_2	0.010	0.77	0.0404	2.47	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
02		2_1	0.014	0.55	0.0295	1.49	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
01		1_0	0.012	0.64	0.0331	1.88	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 86: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=0.25° Q2

Pendiente del canal		Caudal	Profundidad hidráulica	Velocidad	Energía	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo de
S(°)	S(m/m)	Q2(m3/s)								
0.25	0.00436	0.0039	Yi(m)	$V=Q/A_h$ V(m/s)	$E= Y+V^2/2g$ E(m)	$Fr=V/(g*Y)^{1/2}$ Fr	$Yc=YFr^{2/3}$ Yci(m)	$Vc=(g*Yc)^{1/2}$ Vc(m/s)	$E_{mín}=1.5Yc$ E(m)	Régimen
Sección	Ubicación	Tramo								
15		15_14	0.047	0.28	0.0510	0.41	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
14	Aguas arriba	14_13	0.049	0.27	0.0526	0.39	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
13		13_12	0.049	0.27	0.0526	0.39	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
12		12_11	0.051	0.26	0.0544	0.36	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
11		11_10	0.051	0.26	0.0544	0.36	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
10		10_9	0.052	0.25	0.0552	0.35	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
09	Estructura alcantarilla con aleros	9_8	0.051	0.51	0.0645	0.73	0.041	0.64	0.0618	Subcrítico
08		8_7	0.037	0.71	0.0626	1.18	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
07		7_6	0.027	0.97	0.0750	1.89	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
06		6_5	0.012	1.09	0.0728	3.18	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
05		5_4	0.019	0.69	0.0432	1.60	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.014	0.94	0.0587	2.53	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
03		3_2	0.010	1.31	0.0975	4.18	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
02		2_1	0.016	0.82	0.0502	2.07	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
01		1_0	0.017	0.77	0.0473	1.89	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 87: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=0.25° Q3

Pendiente del canal S(°)	Caudal S(m/m)	Caudal Q3(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad	Energía	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo de
0.25	0.00436	0.0057		$V=Q/A_h$	$E= Y+V^2/2g$	$Fr=V/(g*Y)^{1/2}$	$Yc=YFr^{2/3}$	$Vc=(g*Yc)^{1/2}$	$E_{mín}=1.5Yc$	
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.070	0.27	0.0737	0.33	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
14	Aguas arriba	14_13	0.071	0.27	0.0746	0.32	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
13		13_12	0.070	0.27	0.0737	0.33	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
12		12_11	0.071	0.27	0.0746	0.32	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
11		11_10	0.072	0.26	0.0755	0.31	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
10		10_9	0.074	0.26	0.0773	0.30	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
09	Estructura alcantarilla con aleros 30°	9_8	0.068	0.56	0.0838	0.68	0.053	0.72	0.0790	Subcrítico
08		8_7	0.041	0.92	0.0844	1.46	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
07		7_6	0.039	0.97	0.0870	1.57	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
06		6_5	0.018	1.05	0.0743	2.50	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
05		5_4	0.030	0.63	0.0503	1.16	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.019	1.00	0.0695	2.31	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
03		3_2	0.019	1.00	0.0695	2.31	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
02		2_1	0.019	1.00	0.0695	2.31	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
01		1_0	0.022	0.86	0.0597	1.85	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 88: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=0.25° Q4

Pendiente del canal S(°)	Caudal S(m/m)	Caudal Q4(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad	Energía	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo de
0.25	0.00436	0.0086		$V=Q/A_h$	$E= Y+V^2/2g$	$Fr=V/(g*Y)^{1/2}$	$Yc=YFr^{2/3}$	$Vc=(g*Yc)^{1/2}$	$E_{mín}=1.5Yc$	
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.090	0.32	0.0952	0.34	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
14	Aguas arriba	14_13	0.089	0.32	0.0943	0.34	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
13		13_12	0.090	0.32	0.0952	0.34	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
12		12_11	0.091	0.32	0.0961	0.33	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
11		11_10	0.090	0.32	0.0952	0.34	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
10		10_9	0.093	0.31	0.0978	0.32	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
09	Estructura alcantarilla con aleros 30°	9_8	0.083	0.69	0.1073	0.77	0.069	0.83	0.1042	Subcrítico
08		8_7	0.054	1.06	0.1114	1.46	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
07		7_6	0.051	1.12	0.1154	1.59	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
06		6_5	0.032	0.90	0.0729	1.60	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
05		5_4	0.035	0.82	0.0692	1.40	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.025	1.15	0.0920	2.32	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
03		3_2	0.019	1.51	0.1350	3.49	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
02		2_1	0.035	0.82	0.0692	1.40	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
01		1_0	0.025	1.15	0.0920	2.32	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 89: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=0.25° Q5

Pendiente del canal S(°)	Caudal S(m/m)	Caudal Q5(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad	Energía	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo de
0.25	0.00436	0.0108		$V=Q/A_h$	$E= Y+V^2/2g$	$Fr=V/(g*Y)^{1/2}$	$Yc=YFr^{2/3}$	$Vc=(g*Yc)^{1/2}$	$E_{mín}=1.5Yc$	
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.110	0.33	0.1155	0.32	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
14	Aguas arriba	14_13	0.111	0.33	0.1164	0.31	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
13		13_12	0.112	0.32	0.1173	0.31	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
12		12_11	0.113	0.32	0.1182	0.30	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
11		11_10	0.114	0.32	0.1191	0.30	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
10		10_9	0.114	0.32	0.1191	0.30	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
09	Estructura alcantarilla con aleros 30°	9_8	0.104	0.69	0.1285	0.69	0.081	0.89	0.1215	Subcrítico
08		8_7	0.059	1.22	0.1353	1.61	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
07		7_6	0.043	1.68	0.1866	2.58	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
06		6_5	0.046	0.78	0.0774	1.17	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
05		5_4	0.035	1.03	0.0892	1.76	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.024	1.50	0.1392	3.10	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
03		3_2	0.043	0.84	0.0789	1.29	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
02		2_1	0.043	0.84	0.0789	1.29	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
01		1_0	0.028	1.29	0.1127	2.46	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

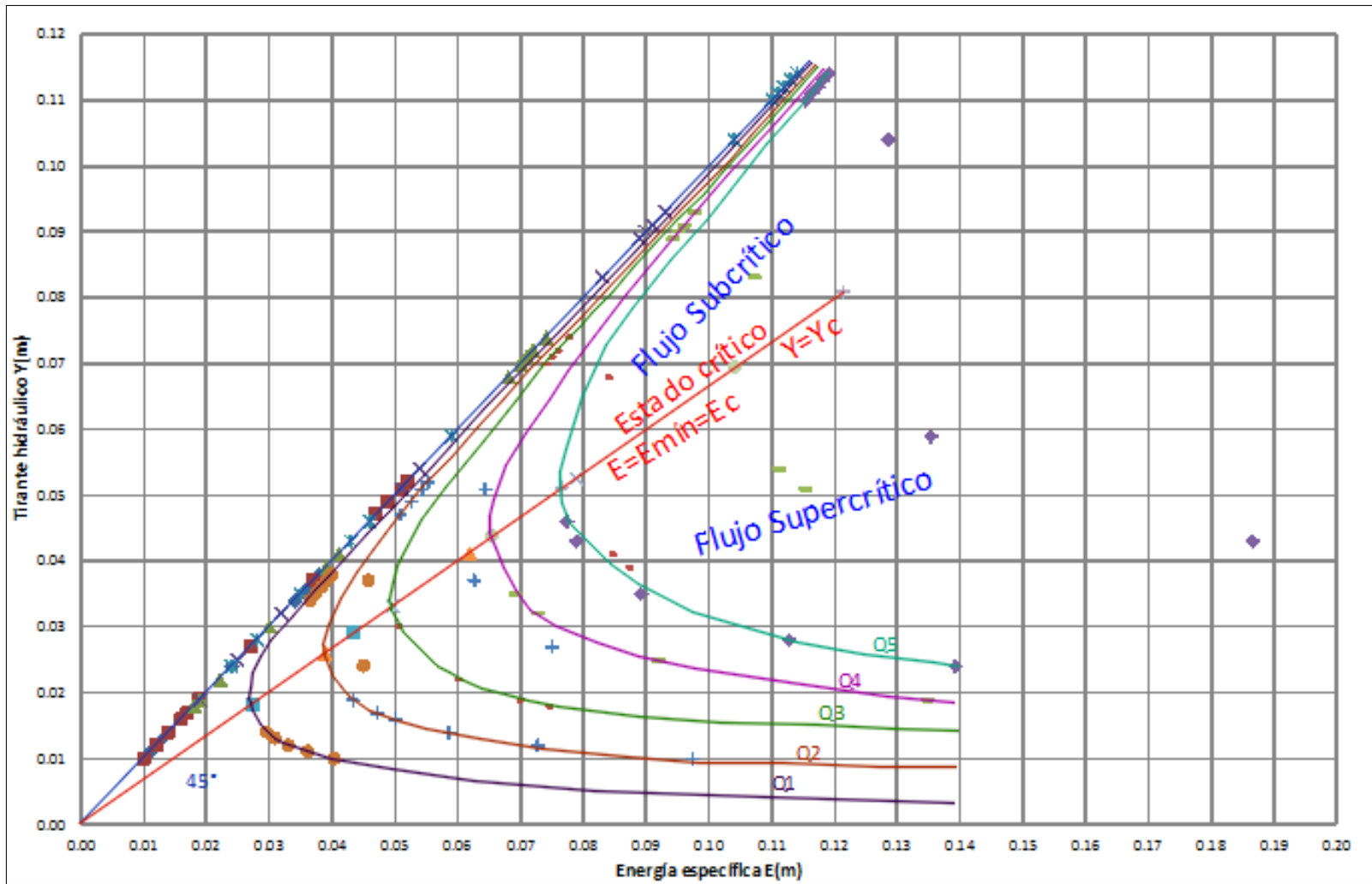


Figura N° 53: Curva Energía Específica de alcantarilla con aleros 30° S=0.25°
 Fuente: Elaboración propia

5.1.6.2. Experimento de alcantarilla con aleros 30° S=0.5°

Para el presente experimento desarrollado en laboratorio, los resultados se presentan en las tablas N°90 – 94 y a partir de las presentes tablas se obtuvo un gráfico de curva de energía, la que se indica en la figura N°54.

Tabla N° 90: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=0.5° Q1

Pendiente del canal S(°)	Caudal Q1(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad V=Q/A _h	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Velocidad crítica Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Energía mínima Emin=1.5Yc	Tipo de Régimen	
0.5	0.00873	0.0023	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)		
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)							
15		15_14	0.024	0.32	0.0293	0.66	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
14	Aguas arriba	14_13	0.029	0.27	0.0326	0.50	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
13		13_12	0.028	0.28	0.0319	0.53	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
12		12_11	0.034	0.23	0.0366	0.39	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
11		11_10	0.034	0.23	0.0366	0.39	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
10	Estructura alcantarilla con aleros 30°	10_9	0.035	0.22	0.0375	0.38	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
09		9_8	0.032	0.48	0.0439	0.86	0.029	0.53	0.0435	Subcrítico
08		8_7	0.022	0.70	0.0471	1.51	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
07		7_6	0.017	0.91	0.0591	2.23	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
06		6_5	0.010	0.77	0.0404	2.47	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
05		5_4	0.011	0.70	0.0361	2.14	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.090	0.09	0.0904	0.09	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
03		3_2	0.080	0.10	0.0805	0.11	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
02		2_1	0.010	0.77	0.0404	2.47	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
01		1_0	0.011	0.70	0.0361	2.14	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 91: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=0.5° Q2

Pendiente del canal S(°)	Caudal Q2(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad V=Q/A _h	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Velocidad crítica Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Energía mínima Emin=1.5Yc	Tipo de Régimen	
0.5	0.00873	0.0039	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)		
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)							
15		15_14	0.044	0.30	0.0485	0.45	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
14	Aguas arriba	14_13	0.046	0.28	0.0501	0.42	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
13		13_12	0.049	0.27	0.0526	0.39	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
12		12_11	0.052	0.25	0.0552	0.35	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
11		11_10	0.052	0.25	0.0552	0.35	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
10	Estructura alcantarilla con aleros 30°	10_9	0.054	0.24	0.0570	0.33	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
09		9_8	0.047	0.56	0.0628	0.82	0.041	0.64	0.0618	Subcrítico
08		8_7	0.029	0.90	0.0706	1.69	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
07		7_6	0.027	0.97	0.0750	1.89	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
06		6_5	0.012	1.09	0.0728	3.18	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
05		5_4	0.021	0.62	0.0408	1.37	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.014	0.94	0.0587	2.53	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
03		3_2	0.010	1.31	0.0975	4.18	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
02		2_1	0.013	1.01	0.0648	2.82	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
01		1_0	0.013	1.01	0.0648	2.82	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 92: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=0.5° Q3

Pendiente del canal S(°)	Caudal Q3(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad V=Q/A _h	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Velocidad crítica Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Energía mínima Emín=1.5Yc	Tipo de	
0.5	0.00873	0.0057								
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.065	0.29	0.0693	0.36	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
14	Aguas arriba	14_13	0.069	0.27	0.0728	0.33	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
13		13_12	0.071	0.27	0.0746	0.32	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
12		12_11	0.074	0.26	0.0773	0.30	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
11		11_10	0.074	0.26	0.0773	0.30	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
10	Estructura alcantarilla con aleros 30°	10_9	0.076	0.25	0.0792	0.29	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
09		9_8	0.070	0.54	0.0849	0.65	0.053	0.72	0.0790	Subcrítico
08		8_7	0.045	0.84	0.0810	1.27	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
07		7_6	0.043	0.88	0.0825	1.35	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
06		6_5	0.021	0.90	0.0624	1.98	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
05		5_4	0.030	0.63	0.0503	1.16	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.021	0.90	0.0624	1.98	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
03		3_2	0.021	0.90	0.0624	1.98	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
02		2_1	0.029	0.65	0.0507	1.22	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
01		1_0	0.020	0.95	0.0656	2.14	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 93: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=0.5° Q4

Pendiente del canal S(°)	Caudal Q4(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad V=Q/A _h	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Velocidad crítica Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Energía mínima Emín=1.5Yc	Tipo de	
0.5	0.00873	0.0086								
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.090	0.32	0.0952	0.34	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
14	Aguas arriba	14_13	0.094	0.30	0.0987	0.32	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
13		13_12	0.096	0.30	0.1005	0.31	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
12		12_11	0.098	0.29	0.1024	0.30	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
11		11_10	0.095	0.30	0.0996	0.31	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
10	Estructura alcantarilla con aleros 30°	10_9	0.099	0.29	0.1033	0.29	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
09		9_8	0.085	0.67	0.1082	0.74	0.069	0.83	0.1042	Subcrítico
08		8_7	0.064	0.90	0.1049	1.13	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
07		7_6	0.052	1.10	0.1140	1.54	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
06		6_5	0.026	1.10	0.0880	2.18	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
05		5_4	0.038	0.75	0.0670	1.24	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.030	0.96	0.0765	1.76	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
03		3_2	0.019	1.51	0.1350	3.49	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
02		2_1	0.030	0.96	0.0765	1.76	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
01		1_0	0.029	0.99	0.0788	1.85	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 94: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=0.5° Q5

Pendiente del canal S(°)	Caudal Q5(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad V=Q/A _h	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Velocidad crítica Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Energía mínima Emín=1.5Yc	Tipo de	
0.5	0.00873	0.0108								
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.106	0.34	0.1119	0.33	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
14	Aguas arriba	14_13	0.111	0.33	0.1164	0.31	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
13		13_12	0.109	0.33	0.1146	0.32	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
12		12_11	0.115	0.31	0.1200	0.30	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
11		11_10	0.110	0.33	0.1155	0.32	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
10	Estructura alcantarilla con aleros 30°	10_9	0.114	0.32	0.1191	0.30	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
09		9_8	0.104	0.69	0.1285	0.69	0.081	0.89	0.1215	Subcrítico
08		8_7	0.073	0.99	0.1228	1.17	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
07		7_6	0.055	1.31	0.1428	1.79	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
06		6_5	0.041	0.88	0.0805	1.39	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
05		5_4	0.045	0.80	0.0778	1.21	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.030	1.20	0.1037	2.22	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
03		3_2	0.023	1.57	0.1485	3.30	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
02		2_1	0.041	0.88	0.0805	1.39	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
01		1_0	0.024	1.50	0.1392	3.10	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

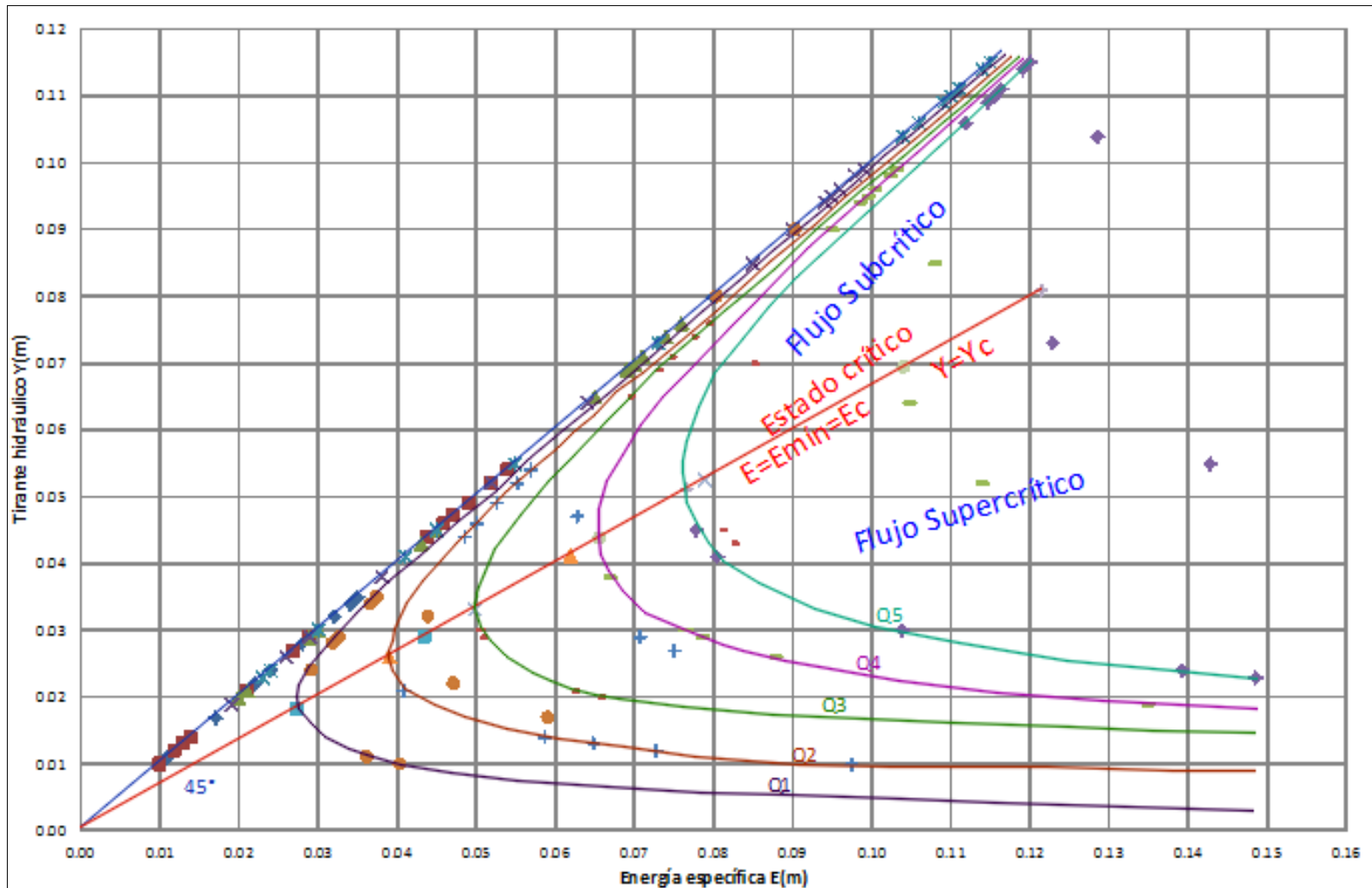


Figura N° 54: Curva Energía Específica del alcantarilla con aleros 30° S=0.5°
Fuente: Elaboración propia

5.1.6.3. Experimento de alcantarilla con aleros 30° S=1°

Las tablas N°95 – 99, muestran los resultados del experimento realizado con la alcantarilla con aleros 30° aplicando la pendiente de S=1° para cinco caudales diferentes, las que se muestran en el gráfico de la curva de energía, indicado en la figura N°55.

Tabla N° 95: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=1° Q1

Pendiente del canal S(°)	Caudal Q1(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad V=Q/A _h	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Velocidad crítica Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Energía mínima Emin=1.5Yc	Tipo de	
1	0.01746	0.0023								
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.090	0.09	0.0904	0.09	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
14	Aguas arriba	14_13	0.080	0.10	0.0805	0.11	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
13		13_12	0.016	0.48	0.0279	1.22	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
12		12_11	0.020	0.39	0.0276	0.87	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
11		11_10	0.022	0.35	0.0283	0.76	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
10		10_9	0.026	0.30	0.0305	0.59	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
09	Estructura alcantarilla con aleros 30°	9_8	0.024	0.64	0.0451	1.33	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
08		8_7	0.015	1.03	0.0691	2.68	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
07		7_6	0.014	1.10	0.0761	2.98	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
06		6_5	0.050	0.15	0.0512	0.22	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
05		5_4	0.090	0.09	0.0904	0.09	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.090	0.09	0.0904	0.09	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
03		3_2	0.060	0.13	0.0608	0.17	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
02		2_1	0.080	0.10	0.0805	0.11	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
01		1_0	0.090	0.09	0.0904	0.09	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 96: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=1° Q2

Pendiente del canal S(°)	Caudal Q2(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad V=Q/A _h	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Velocidad crítica Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Energía mínima Emin=1.5Yc	Tipo de	
1	0.01746	0.0039								
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15		15_14	0.012	1.09	0.0728	3.18	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
14	Aguas arriba	14_13	0.031	0.42	0.0401	0.77	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
13		13_12	0.035	0.37	0.0421	0.64	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
12		12_11	0.043	0.30	0.0477	0.47	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
11		11_10	0.045	0.29	0.0493	0.44	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
10		10_9	0.051	0.26	0.0544	0.36	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
09	Estructura alcantarilla con aleros 30°	9_8	0.040	0.66	0.0619	1.05	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
08		8_7	0.032	0.82	0.0662	1.46	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
07		7_6	0.024	1.09	0.0848	2.25	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
06		6_5	0.013	1.01	0.0648	2.82	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
05		5_4	0.019	0.69	0.0432	1.60	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.012	1.09	0.0728	3.18	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
03		3_2	0.010	1.31	0.0975	4.18	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
02		2_1	0.014	0.94	0.0587	2.53	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
01		1_0	0.014	0.94	0.0587	2.53	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 97: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=1° Q3

Pendiente del canal S(°)	Caudal Q3(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad V=Q/A _h	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Velocidad crítica Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Energía mínima Emín=1.5Yc	Tipo de Régimen	
1	0.01746	0.0057	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen	
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)							
16		16_15	0.020	0.95	0.0656	2.14	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
15		15_14	0.048	0.39	0.0559	0.57	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
14	Aguas arriba	14_13	0.054	0.35	0.0603	0.48	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
13		13_12	0.062	0.31	0.0667	0.39	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
12		12_11	0.075	0.25	0.0782	0.29	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
11		11_10	0.072	0.26	0.0755	0.31	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
10	Estructura	10_9	0.076	0.25	0.0792	0.29	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
09	Alcantarilla	9_8	0.064	0.59	0.0818	0.75	0.053	0.72	0.0790	Subcrítico
08	a	8_7	0.044	0.86	0.0817	1.31	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
07	con aleros	7_6	0.035	1.08	0.0946	1.85	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
06	30°	6_5	0.019	1.00	0.0695	2.31	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
05		5_4	0.028	0.68	0.0513	1.29	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.021	0.90	0.0624	1.98	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
03		3_2	0.015	1.26	0.0961	3.29	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
02		2_1	0.025	0.76	0.0542	1.53	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
01		1_0	0.018	1.05	0.0743	2.50	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 98: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=1° Q4

Pendiente del canal S(°)	Caudal Q4(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad V=Q/A _h	Energía E= Y+V ² /2g	Número de Froude Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Tirante crítico Yc=YFr ^{2/3}	Velocidad crítica Vc=(g*Yc) ^{1/2}	Energía mínima Emín=1.5Yc	Tipo de Régimen	
1	0.01746	0.0086	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen	
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)							
17		17_16	0.021	1.37	0.1160	3.01	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
16		16_15	0.060	0.48	0.0716	0.62	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
15	Aguas arriba	15_14	0.071	0.40	0.0793	0.48	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
14		14_13	0.076	0.38	0.0833	0.44	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
13		13_12	0.081	0.35	0.0874	0.40	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
12		12_11	0.085	0.34	0.0908	0.37	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
11		11_10	0.090	0.32	0.0952	0.34	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
10	Estructura	10_9	0.095	0.30	0.0996	0.31	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
09	Alcantarilla	9_8	0.075	0.76	0.1048	0.89	0.069	0.83	0.1042	Subcrítico
08	a	8_7	0.060	0.96	0.1065	1.25	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
07	con aleros	7_6	0.037	1.55	0.1594	2.57	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
06	30°	6_5	0.031	0.92	0.0746	1.68	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
05		5_4	0.040	0.72	0.0662	1.14	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.027	1.06	0.0844	2.06	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
03		3_2	0.019	1.51	0.1350	3.49	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
02		2_1	0.025	1.15	0.0920	2.32	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
01		1_0	0.020	1.43	0.1247	3.24	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 99: Resultado experimental de alcantarilla con aleros 30° S=1° Q5

Pendiente del canal S(°)	Caudal Q5(m3/s)	Profundidad hidráulica	Velocidad $V=Q/A_h$	Energía $E= Y+V^2/2g$	Número de Froude $Fr=V/(g*Y)^{1/2}$	Tirante crítico $Yc=YFr^{2/3}$	Velocidad crítica $Vc=(g*Yc)^{1/2}$	Energía mínima $E_{mín}=1.5Yc$	Tipo de	
1	0.01746	0.0108								
Sección	Ubicación	Tramo	Yi(m)	V(m/s)	E(m)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
18		18_17	0.025	1.44	0.1312	2.91	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
17		17_16	0.061	0.59	0.0788	0.76	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
16		16_15	0.083	0.43	0.0926	0.48	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
15	Aguas	15_14	0.089	0.41	0.0974	0.43	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
14	arriba	14_13	0.095	0.38	0.1024	0.39	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
13		13_12	0.104	0.35	0.1101	0.34	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
12		12_11	0.106	0.34	0.1119	0.33	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
11		11_10	0.109	0.33	0.1146	0.32	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
10	Estructura	10_9	0.114	0.32	0.1191	0.30	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
09	Alcantarill	9_8	0.100	0.72	0.1265	0.73	0.081	0.89	0.1215	Subcrítico
08	a	8_7	0.075	0.96	0.1222	1.12	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
07	con aleros	7_6	0.050	1.44	0.1562	2.06	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
06	30°	6_5	0.041	0.88	0.0805	1.39	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
05		5_4	0.054	0.67	0.0768	0.92	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
04	Aguas	4_3	0.031	1.16	0.1001	2.11	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
03	abajo	3_2	0.021	1.72	0.1715	3.79	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
02		2_1	0.025	1.44	0.1312	2.91	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
01		1_0	0.023	1.57	0.1485	3.30	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico

Fuente: Elaboración propia

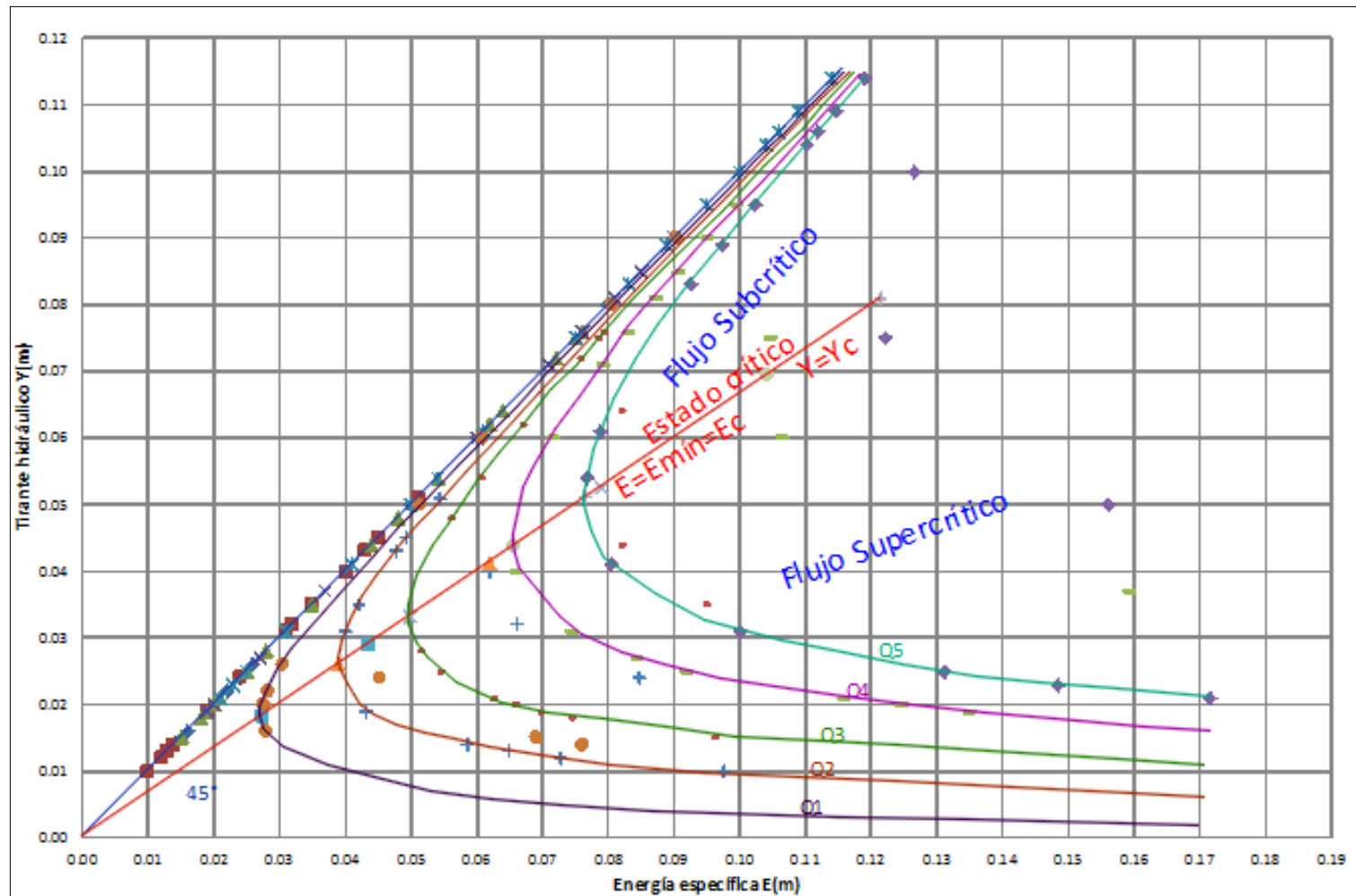


Figura N° 55: Curva Energía Específica de alcantarilla con aleros 30° S=1°
 Fuente: Elaboración propia

5.2. Simulación numérica con el código HEC-RAS

5.2.1. Datos

Para llevar a cabo la modelación numérica mediante el uso del programa o código HEC-RAS 5.0.3, se requiere de datos importantes para su proceso, las cuales se detallan a continuación:

- Datos de geometría del canal, mediante secciones registradas en las mediciones del experimento físico.
- Coeficientes de rugosidad de Manning (n), considerado de acuerdo a la tabla N°1, para la base del canal el cual es de material metal $n=0.012$ y para las paredes de material fibra de vidrio $n=0.010$.
- Pendientes de $S=0.25^\circ$, 0.5° y 1° con valores representados de 0.00436, 0.00873, 0.01746 m/m respectivamente.
- Caudales que se muestran en la tabla N°48, medición de caudales mediante aforo, las cuales serán digitadas para cada pendiente.

5.2.2. Alcantarilla tipo BOX sin aleros

5.2.2.1. Modelación numérica de alcantarilla sin aleros para $S=0.25^\circ$

La geometría y las secciones que se muestra en la figura N°56 es el mismo para las tres pendientes que se trabajaron en la modelación de la alcantarilla sin aleros.

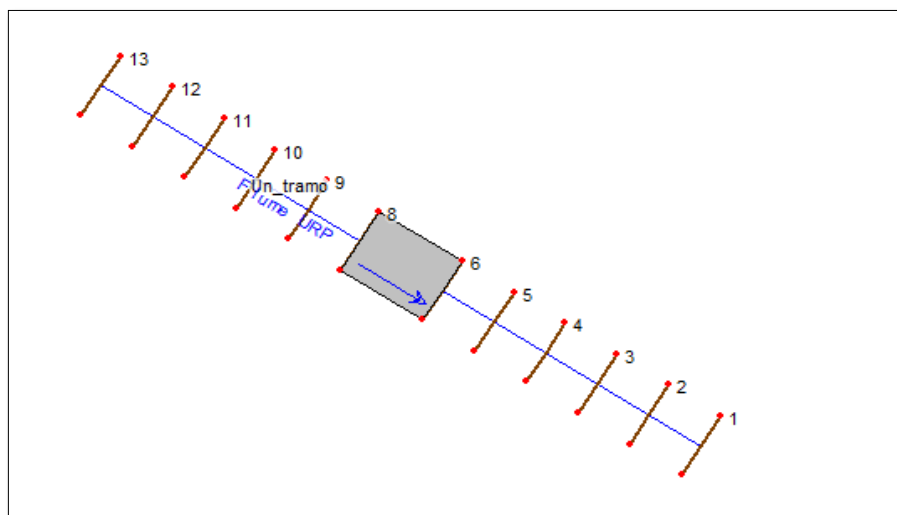


Figura N° 56: Vista en planta secciones y geometría alcantarilla sin aleros $S=0.25^\circ$
Fuente: Elaboración propia

En la figura N°57 en la sección 13- aguas arriba, ubicada aguas arriba de la alcantarilla se aprecia la profundidad normal, crítica y la energía para las diferentes cargas Q1-Q5.

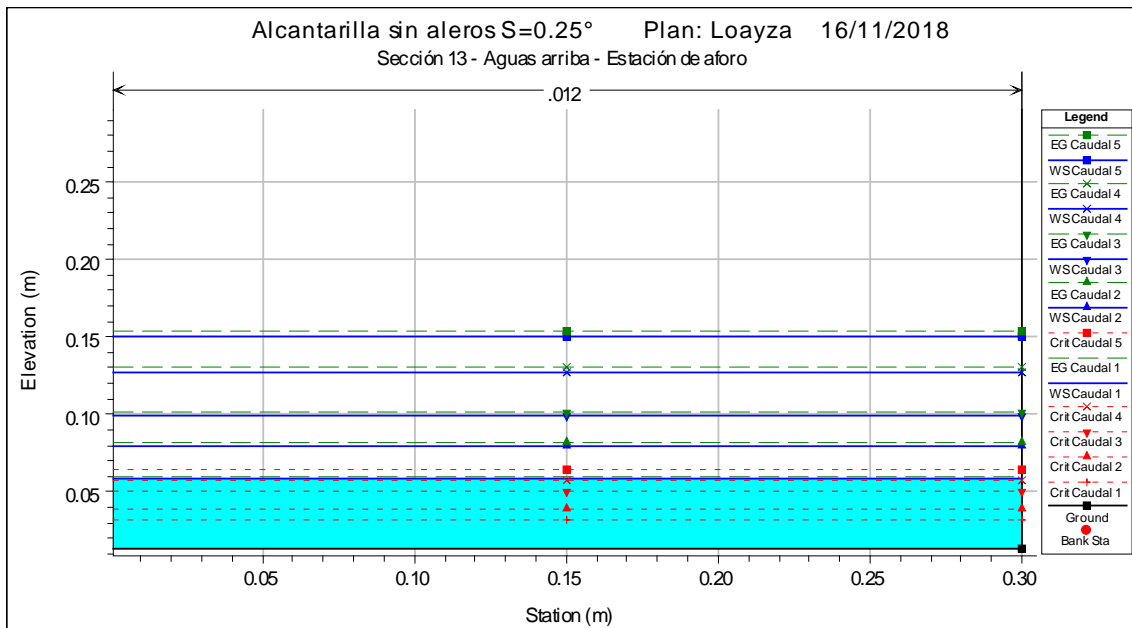


Figura N° 57: Sección aguas arriba de la alcantarilla sin aleros $S=0.25^\circ$
Fuente: Elaboración propia

La figura N°58 muestra el ingreso del flujo a la alcantarilla, observándose que con caudal $Q5=0.0108\text{m}^3/\text{s}$ sobrepasa el ingreso, siendo la profundidad y energía $Y=0.134\text{m}$ y $E=0.142\text{m}$.

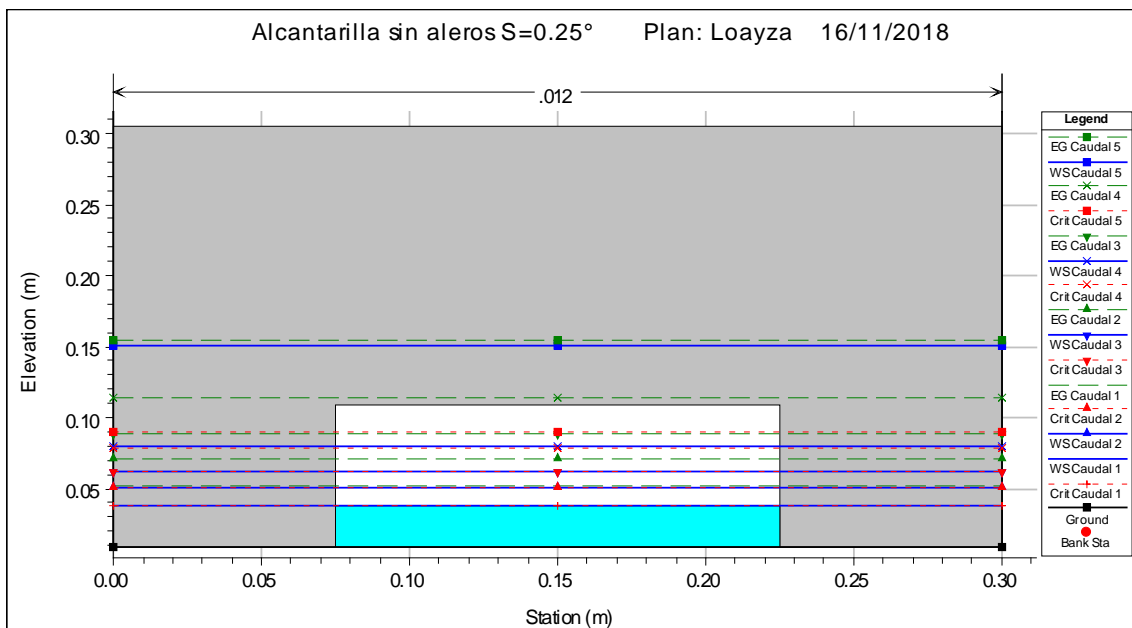


Figura N° 58: Vista frontal de la alcantarilla sin aleros $S=0.25^\circ$
Fuente: Elaboración propia

En la figura N°59 sección aguas abajo, se observa para un Q5 la disminución de gasto a un $Y=0.05\text{m}$ y $E=0.77\text{m}$, valores que se pueden verificar en la tabla N°100.

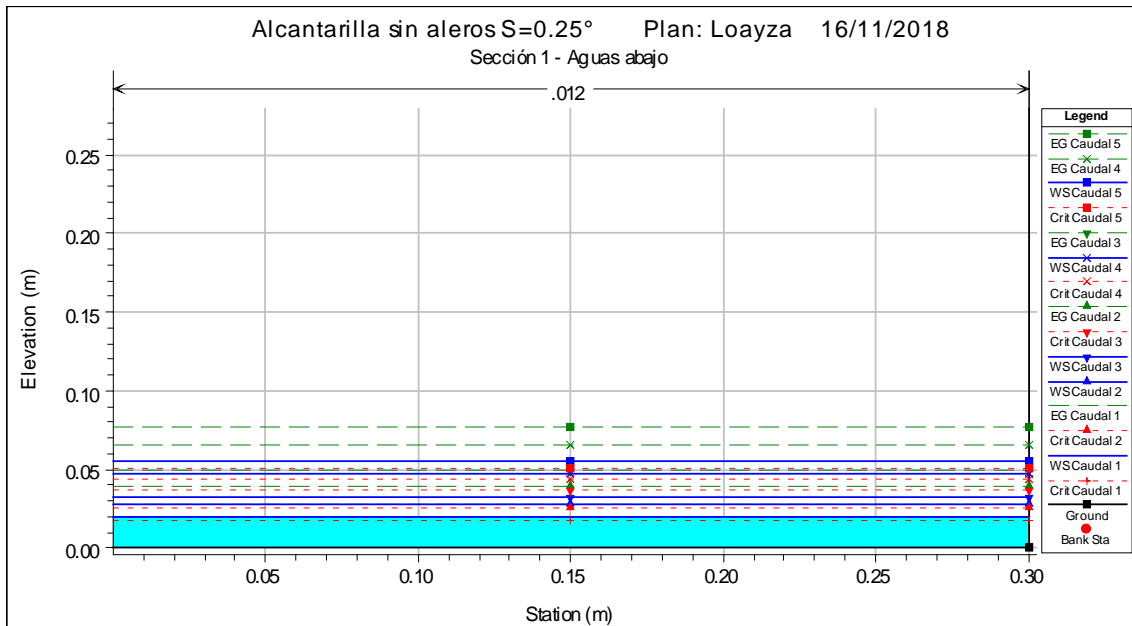


Figura N° 59: Sección aguas debajo de la alcantarilla sin aleros $S=0.25^\circ$
Fuente: Elaboración propia

La figura N°60, muestra el perfil longitudinal, en la que se observa para un caudal Q4 y Q5 la profundidad hidráulica y la energía, sobrepasan el ingreso de la alcantarilla, siendo ésta no deseable, ya que la alcantarilla debería trabajar a superficie libre.

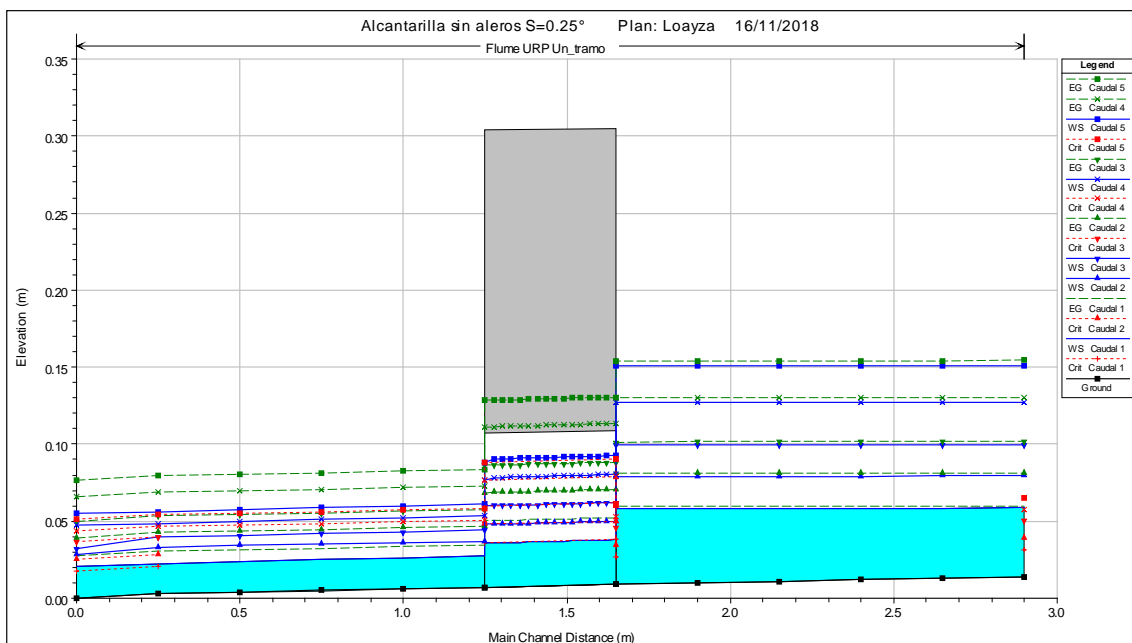


Figura N° 60: Perfil longitudinal de alcantarilla sin aleros $S=0.25^\circ$
Fuente: Elaboración propia

En la figura N°61 podemos observar una vista en tres dimensiones tanto zona aguas arriba, alcantarilla y aguas abajo, con la aplicación de los cinco caudales Q1-Q5.

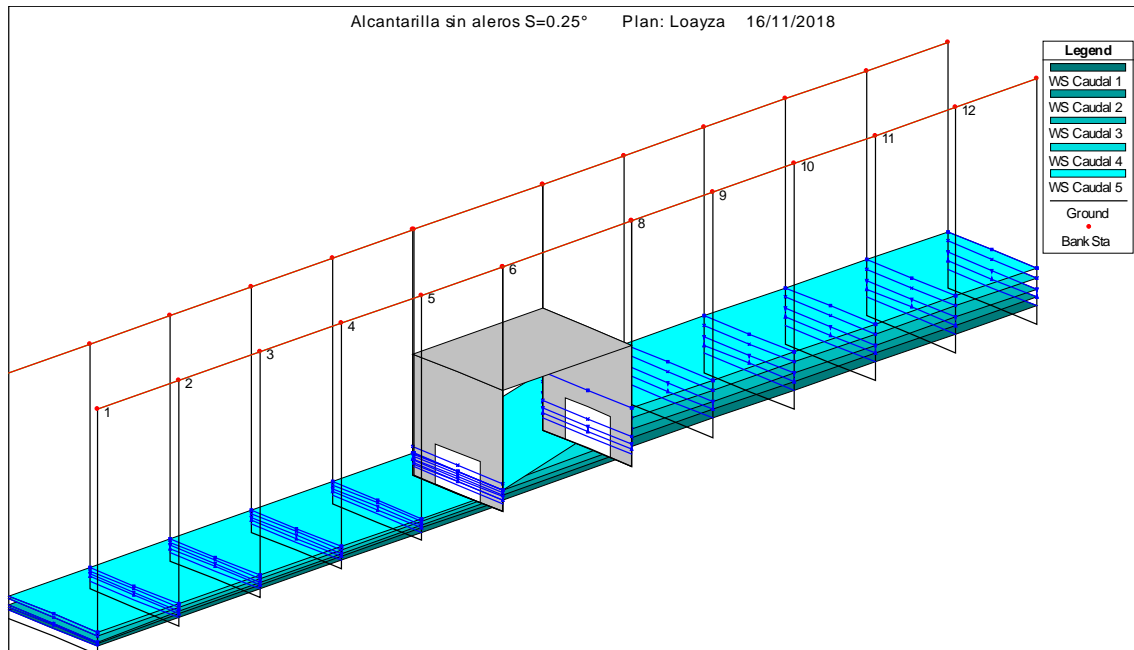


Figura N° 61: Vista en 3D de alcantarilla si aleros S=0.25°
Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°100 se encuentran los resultados del modelamiento numérico de una alcantarilla sin aleros aplicado para una pendiente de $S=0.25^\circ=0.00436\text{m/m}$ y con cinco diferentes caudales Q1-Q5, desde un caudal mínimo $Q1=0.0023\text{m}^3/\text{s}$ y un máximo $Q5=0.0108\text{m}^3/\text{s}$.

Tabla N° 100: Resultado numérico de alcantarilla sin aleros S=0.25° Q1-Q5

River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
13	Caudal 1	0.0023	0.014	0.059	0.031	0.060	0.00037	0.17	0.013	0.3	0.26
13	Caudal 2	0.0039	0.014	0.079	0.039	0.081	0.00035	0.20	0.02	0.3	0.25
13	Caudal 3	0.0057	0.014	0.099	0.05	0.102	0.00034	0.22	0.026	0.3	0.24
13	Caudal 4	0.0086	0.014	0.127	0.057	0.130	0.00035	0.25	0.034	0.3	0.24
13	Caudal 5	0.0108	0.014	0.151	0.065	0.154	0.00033	0.26	0.041	0.3	0.23
12	Caudal 1	0.0023	0.013	0.059		0.060	0.00036	0.17	0.014	0.3	0.25
12	Caudal 2	0.0039	0.013	0.079		0.081	0.00034	0.20	0.02	0.3	0.24
12	Caudal 3	0.0057	0.013	0.099		0.102	0.00034	0.22	0.026	0.3	0.24
12	Caudal 4	0.0086	0.013	0.127		0.130	0.00035	0.25	0.034	0.3	0.24
12	Caudal 5	0.0108	0.013	0.151		0.154	0.00033	0.26	0.041	0.3	0.23
11	Caudal 1	0.0023	0.012	0.058		0.060	0.00033	0.16	0.014	0.3	0.24
11	Caudal 2	0.0039	0.012	0.079		0.081	0.00032	0.19	0.02	0.3	0.24
11	Caudal 3	0.0057	0.012	0.099		0.102	0.00032	0.22	0.026	0.3	0.23
11	Caudal 4	0.0086	0.012	0.127		0.130	0.00034	0.25	0.035	0.3	0.23
11	Caudal 5	0.0108	0.012	0.151		0.154	0.00032	0.26	0.042	0.3	0.22
10	Caudal 1	0.0023	0.011	0.058		0.060	0.00032	0.16	0.014	0.3	0.24
10	Caudal 2	0.0039	0.011	0.079		0.081	0.00031	0.19	0.020	0.3	0.23
10	Caudal 3	0.0057	0.011	0.099		0.102	0.00031	0.22	0.026	0.3	0.23
10	Caudal 4	0.0086	0.011	0.127		0.130	0.00033	0.25	0.035	0.3	0.23
10	Caudal 5	0.0108	0.011	0.151		0.154	0.00032	0.26	0.042	0.3	0.22
9	Caudal 1	0.0023	0.01	0.058		0.060	0.0003	0.16	0.014	0.3	0.23
9	Caudal 2	0.0039	0.01	0.079		0.081	0.0003	0.19	0.021	0.3	0.23
9	Caudal 3	0.0057	0.01	0.099		0.102	0.00031	0.21	0.027	0.3	0.23
9	Caudal 4	0.0086	0.01	0.127		0.130	0.00033	0.25	0.035	0.3	0.23
9	Caudal 5	0.0108	0.01	0.151		0.154	0.00031	0.26	0.042	0.3	0.22
8	Caudal 1	0.0023	0.009	0.058	0.027	0.060	0.00028	0.16	0.015	0.3	0.22
8	Caudal 2	0.0039	0.009	0.079	0.034	0.081	0.00029	0.19	0.021	0.3	0.22
8	Caudal 3	0.0057	0.009	0.099	0.046	0.101	0.0003	0.21	0.027	0.3	0.22
8	Caudal 4	0.0086	0.009	0.127	0.053	0.130	0.00032	0.24	0.035	0.3	0.23
8	Caudal 5	0.0108	0.009	0.151	0.06	0.154	0.00031	0.25	0.042	0.3	0.22
7	Culvert										
6	Caudal 1	0.0023	0.007	0.028		0.035	0.00422	0.37	0.006	0.3	0.83
6	Caudal 2	0.0039	0.007	0.037		0.047	0.00373	0.43	0.009	0.3	0.80
6	Caudal 3	0.0057	0.007	0.044		0.057	0.0041	0.51	0.011	0.3	0.85
6	Caudal 4	0.0086	0.007	0.054	0.051	0.073	0.00462	0.61	0.014	0.3	0.91
6	Caudal 5	0.0108	0.007	0.061	0.058	0.084	0.00461	0.66	0.016	0.3	0.90
5	Caudal 1	0.0023	0.006	0.026		0.034	0.00443	0.38	0.006	0.3	0.85
5	Caudal 2	0.0039	0.006	0.036		0.046	0.00374	0.43	0.009	0.3	0.80
5	Caudal 3	0.0057	0.006	0.043		0.057	0.00417	0.52	0.011	0.3	0.86
5	Caudal 4	0.0086	0.006	0.052	0.05	0.072	0.00478	0.62	0.014	0.3	0.92
5	Caudal 5	0.0108	0.006	0.06	0.057	0.083	0.00474	0.67	0.016	0.3	0.92
4	Caudal 1	0.0023	0.005	0.025		0.032	0.00434	0.38	0.006	0.3	0.84
4	Caudal 2	0.0039	0.005	0.035		0.045	0.00362	0.43	0.009	0.3	0.79
4	Caudal 3	0.0057	0.005	0.042		0.055	0.00411	0.51	0.011	0.3	0.85
4	Caudal 4	0.0086	0.005	0.051	0.049	0.071	0.00477	0.62	0.014	0.3	0.92
4	Caudal 5	0.0108	0.005	0.059	0.056	0.082	0.00473	0.67	0.016	0.3	0.92
3	Caudal 1	0.0023	0.004	0.024		0.031	0.00469	0.39	0.006	0.3	0.87
3	Caudal 2	0.0039	0.004	0.034		0.044	0.00362	0.43	0.009	0.3	0.79
3	Caudal 3	0.0057	0.004	0.041		0.054	0.00419	0.52	0.011	0.3	0.86
3	Caudal 4	0.0086	0.004	0.05	0.048	0.070	0.00498	0.63	0.014	0.3	0.94
3	Caudal 5	0.0108	0.004	0.057	0.055	0.081	0.00489	0.67	0.016	0.3	0.93
2	Caudal 1	0.0023	0.003	0.022	0.021	0.030	0.00516	0.40	0.006	0.3	0.91
2	Caudal 2	0.0039	0.003	0.033	0.028	0.043	0.00364	0.43	0.009	0.3	0.79
2	Caudal 3	0.0057	0.003	0.04	0.04	0.053	0.00429	0.52	0.011	0.3	0.87
2	Caudal 4	0.0086	0.003	0.048	0.047	0.069	0.0052	0.64	0.013	0.3	0.96
2	Caudal 5	0.0108	0.003	0.056	0.054	0.080	0.00506	0.68	0.016	0.3	0.95
1	Caudal 1	0.0023	0	0.02	0.018	0.028	0.00436	0.38	0.006	0.3	0.84
1	Caudal 2	0.0039	0	0.028	0.025	0.039	0.00436	0.46	0.009	0.3	0.87
1	Caudal 3	0.0057	0	0.032	0.037	0.050	0.00628	0.59	0.01	0.3	1.05
1	Caudal 4	0.0086	0	0.048	0.044	0.066	0.00436	0.60	0.014	0.3	0.88
1	Caudal 5	0.0108	0	0.055	0.051	0.077	0.00436	0.65	0.017	0.3	0.88

Fuente: Elaboración propia

5.2.2.2. Modelación numérica de alcantarilla sin aleros para $S=0.5^\circ$

En las figuras N°62 – 65 se muestran las secciones aguas arriba y abajo de la alcantarilla, así como el perfil longitudinal, donde se observa para los diferentes caudales, la profundidad normal, crítica y la energía, teniendo en la entrada de la alcantarilla para un Q_5 , $Y=0.138\text{m}$ y $E=0.142\text{ m}$, la que se deduce de la tabla N°101, resultando similar con respecto a la pendiente de $S=0.25^\circ$.

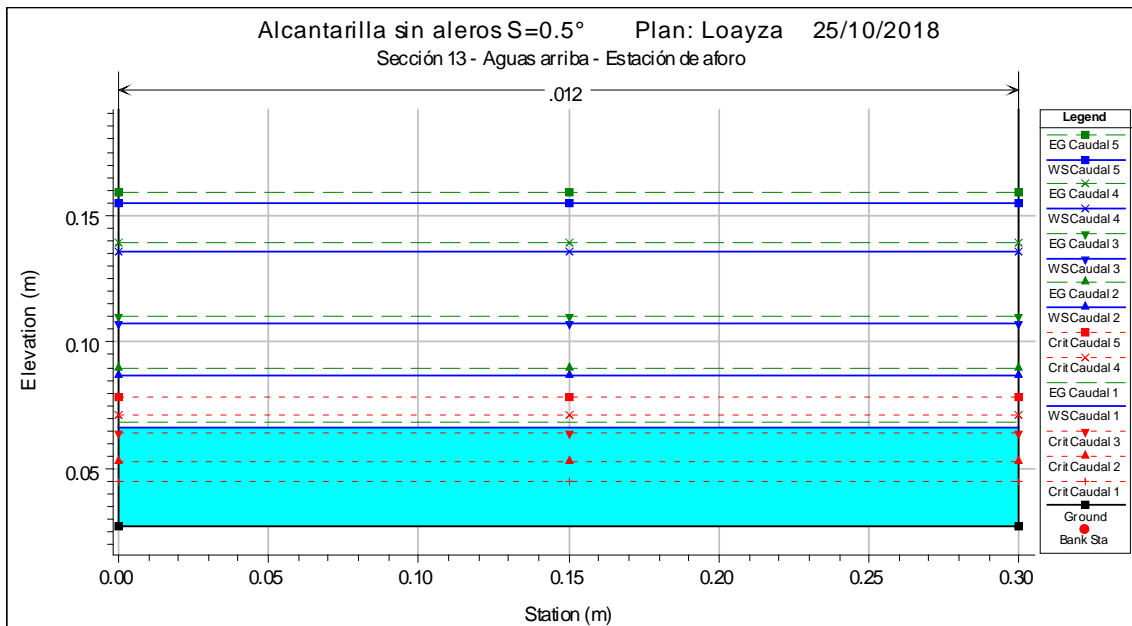


Figura N° 62: Sección aguas arriba de la alcantarilla sin aleros $S=0.5^\circ$
Fuente: Elaboración propia

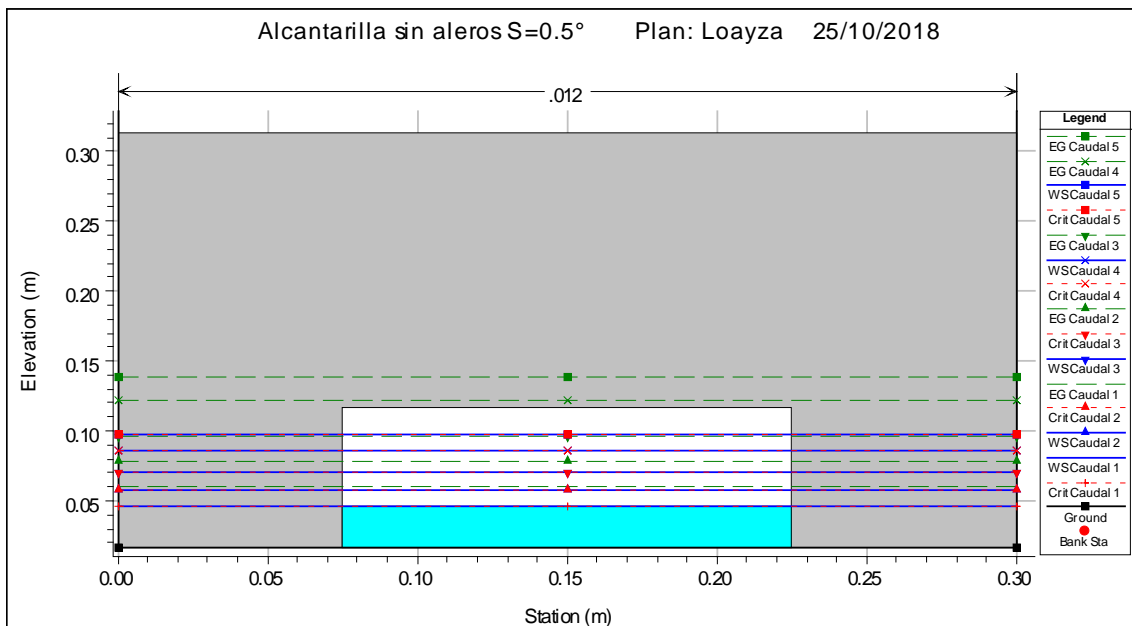


Figura N° 63: Vista frontal alcantarilla sin aleros 0.5°
Fuente: Elaboración propia

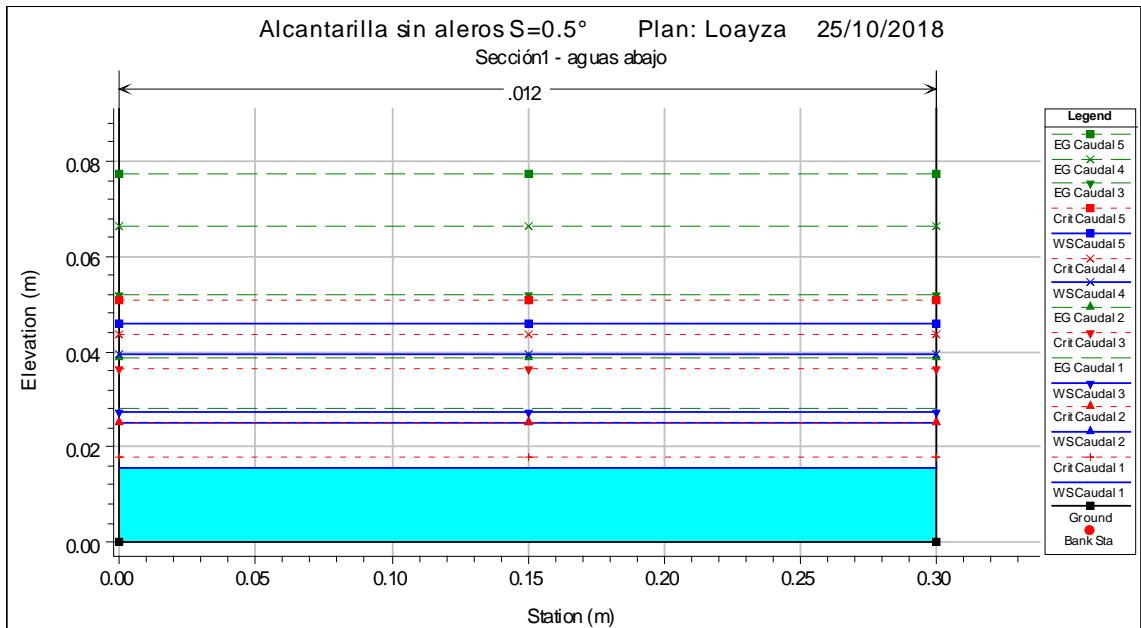


Figura N° 64: Sección aguas abajo de la alcantarilla sin aleros $S=0.5^\circ$
Fuente: Elaboración propia

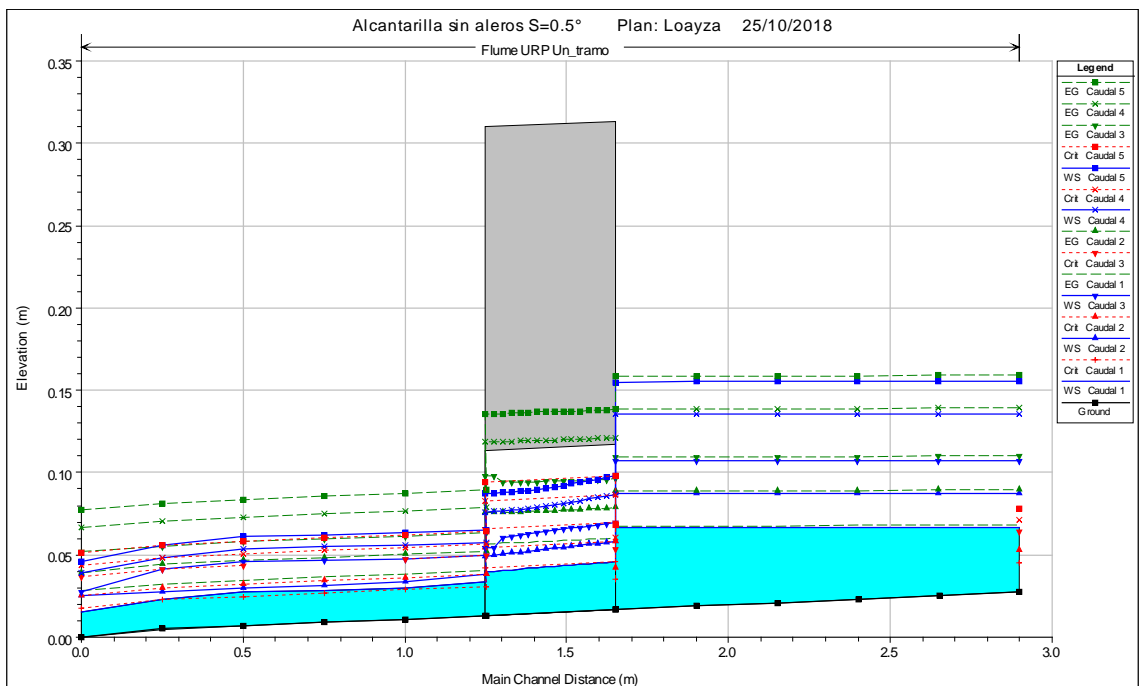


Figura N° 65: Vista de perfil de la alcantarilla sin aleros $S=0.5^\circ$
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 101: Resultado numérico de alcantarilla sin aleros S=0.5° Q1-Q5

RiverSta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
13	Caudal 1	0.0023	0.027	0.066	0.045	0.068	0.00058	0.20	0.012	0.3	0.32
13	Caudal 2	0.0039	0.027	0.087	0.053	0.089	0.00046	0.22	0.018	0.3	0.29
13	Caudal 3	0.0057	0.027	0.107	0.064	0.110	0.00042	0.24	0.024	0.3	0.27
13	Caudal 4	0.0086	0.027	0.136	0.071	0.139	0.0004	0.26	0.032	0.3	0.26
13	Caudal 5	0.0108	0.027	0.155	0.078	0.159	0.0004	0.28	0.038	0.3	0.25
12	Caudal 1	0.0023	0.025	0.066		0.068	0.00048	0.19	0.012	0.3	0.29
12	Caudal 2	0.0039	0.025	0.087		0.089	0.00041	0.21	0.019	0.3	0.27
12	Caudal 3	0.0057	0.025	0.107		0.110	0.00039	0.23	0.025	0.3	0.26
12	Caudal 4	0.0086	0.025	0.136		0.139	0.00038	0.26	0.033	0.3	0.25
12	Caudal 5	0.0108	0.025	0.155		0.159	0.00038	0.28	0.039	0.3	0.24
11	Caudal 1	0.0023	0.023	0.066		0.068	0.00041	0.18	0.013	0.3	0.27
11	Caudal 2	0.0039	0.023	0.087		0.089	0.00037	0.20	0.019	0.3	0.26
11	Caudal 3	0.0057	0.023	0.107		0.110	0.00036	0.23	0.025	0.3	0.25
11	Caudal 4	0.0086	0.023	0.136		0.139	0.00036	0.25	0.034	0.3	0.24
11	Caudal 5	0.0108	0.023	0.155		0.159	0.00037	0.27	0.040	0.3	0.24
10	Caudal 1	0.0023	0.021	0.066		0.068	0.00036	0.17	0.014	0.3	0.25
10	Caudal 2	0.0039	0.021	0.087		0.089	0.00034	0.20	0.020	0.3	0.24
10	Caudal 3	0.0057	0.021	0.107		0.110	0.00034	0.22	0.026	0.3	0.24
10	Caudal 4	0.0086	0.021	0.136		0.139	0.00035	0.25	0.034	0.3	0.24
10	Caudal 5	0.0108	0.021	0.155		0.159	0.00035	0.27	0.040	0.3	0.23
9	Caudal 1	0.0023	0.019	0.066		0.068	0.00032	0.16	0.014	0.3	0.24
9	Caudal 2	0.0039	0.019	0.087		0.089	0.00031	0.19	0.020	0.3	0.23
9	Caudal 3	0.0057	0.019	0.107		0.110	0.00031	0.22	0.026	0.3	0.23
9	Caudal 4	0.0086	0.019	0.136		0.139	0.00033	0.25	0.035	0.3	0.23
9	Caudal 5	0.0108	0.019	0.155		0.159	0.00034	0.26	0.041	0.3	0.23
8	Caudal 1	0.0023	0.017	0.066	0.035	0.068	0.00028	0.16	0.015	0.3	0.22
8	Caudal 2	0.0039	0.017	0.087	0.042	0.089	0.00029	0.19	0.021	0.3	0.22
8	Caudal 3	0.0057	0.017	0.107	0.054	0.109	0.0003	0.21	0.027	0.3	0.22
8	Caudal 4	0.0086	0.017	0.136	0.061	0.139	0.00031	0.24	0.036	0.3	0.22
8	Caudal 5	0.0108	0.017	0.155	0.068	0.159	0.00033	0.26	0.041	0.3	0.22
7.9	Culvert										
6	Caudal 1	0.0023	0.013	0.034	0.031	0.041	0.00409	0.37	0.006	0.3	0.82
6	Caudal 2	0.0039	0.013	0.038	0.038	0.052	0.00643	0.52	0.008	0.3	1.04
6	Caudal 3	0.0057	0.013	0.05	0.050	0.063	0.00429	0.52	0.011	0.3	0.87
6	Caudal 4	0.0086	0.013	0.057	0.057	0.079	0.00544	0.65	0.013	0.3	0.98
6	Caudal 5	0.0108	0.013	0.065	0.064	0.090	0.00541	0.70	0.015	0.3	0.98
5	Caudal 1	0.0023	0.011	0.03	0.029	0.038	0.00562	0.41	0.006	0.3	0.95
5	Caudal 2	0.0039	0.011	0.034	0.036	0.050	0.00895	0.57	0.007	0.3	1.22
5	Caudal 3	0.0057	0.011	0.048	0.048	0.061	0.00422	0.52	0.011	0.3	0.86
5	Caudal 4	0.0086	0.011	0.056	0.055	0.077	0.00513	0.64	0.014	0.3	0.95
5	Caudal 5	0.0108	0.011	0.063	0.062	0.087	0.00515	0.69	0.016	0.3	0.96
4	Caudal 1	0.0023	0.009	0.028	0.027	0.036	0.00513	0.40	0.006	0.3	0.91
4	Caudal 2	0.0039	0.009	0.032	0.034	0.049	0.00895	0.57	0.007	0.3	1.22
4	Caudal 3	0.0057	0.009	0.047		0.060	0.00393	0.51	0.011	0.3	0.83
4	Caudal 4	0.0086	0.009	0.055	0.053	0.075	0.00494	0.63	0.014	0.3	0.94
4	Caudal 5	0.0108	0.009	0.062	0.060	0.086	0.00499	0.68	0.016	0.3	0.94
3	Caudal 1	0.0023	0.007	0.028	0.025	0.035	0.00409	0.37	0.006	0.3	0.82
3	Caudal 2	0.0039	0.007	0.03	0.032	0.046	0.00895	0.57	0.007	0.3	1.22
3	Caudal 3	0.0057	0.007	0.046	0.044	0.058	0.00345	0.48	0.012	0.3	0.78
3	Caudal 4	0.0086	0.007	0.054	0.051	0.073	0.00463	0.61	0.014	0.3	0.91
3	Caudal 5	0.0108	0.007	0.061	0.058	0.084	0.00473	0.67	0.016	0.3	0.92
2	Caudal 1	0.0023	0.005	0.023	0.023	0.032	0.0067	0.43	0.005	0.3	1.03
2	Caudal 2	0.0039	0.005	0.028	0.030	0.044	0.00895	0.57	0.007	0.3	1.22
2	Caudal 3	0.0057	0.005	0.041	0.041	0.055	0.00429	0.52	0.011	0.3	0.87
2	Caudal 4	0.0086	0.005	0.049	0.049	0.071	0.00565	0.66	0.013	0.3	1.0
2	Caudal 5	0.0108	0.005	0.056	0.056	0.081	0.00561	0.71	0.015	0.3	1.0
1	Caudal 1	0.0023	0	0.015	0.018	0.028	0.01041	0.49	0.005	0.3	1.27
1	Caudal 2	0.0039	0	0.025	0.025	0.039	0.00643	0.52	0.008	0.3	1.04
1	Caudal 3	0.0057	0	0.027	0.037	0.052	0.01072	0.70	0.008	0.3	1.35
1	Caudal 4	0.0086	0	0.039	0.044	0.066	0.00779	0.73	0.012	0.3	1.17
1	Caudal 5	0.0108	0	0.046	0.051	0.077	0.0077	0.78	0.014	0.3	1.17

Fuente: Elaboración propia

5.2.2.3. Modelación numérica de alcantarilla sin aleros para $S=1^\circ$

En las figuras N°66 – 69 presentadas, se observa que para la pendiente de $S=1^\circ$ para los distintos caudales hacia aguas arriba aumenta el nivel de profundidad así mismo en la alcantarilla, sin embargo a la salida aguas abajo disminuye y la velocidad aumenta.

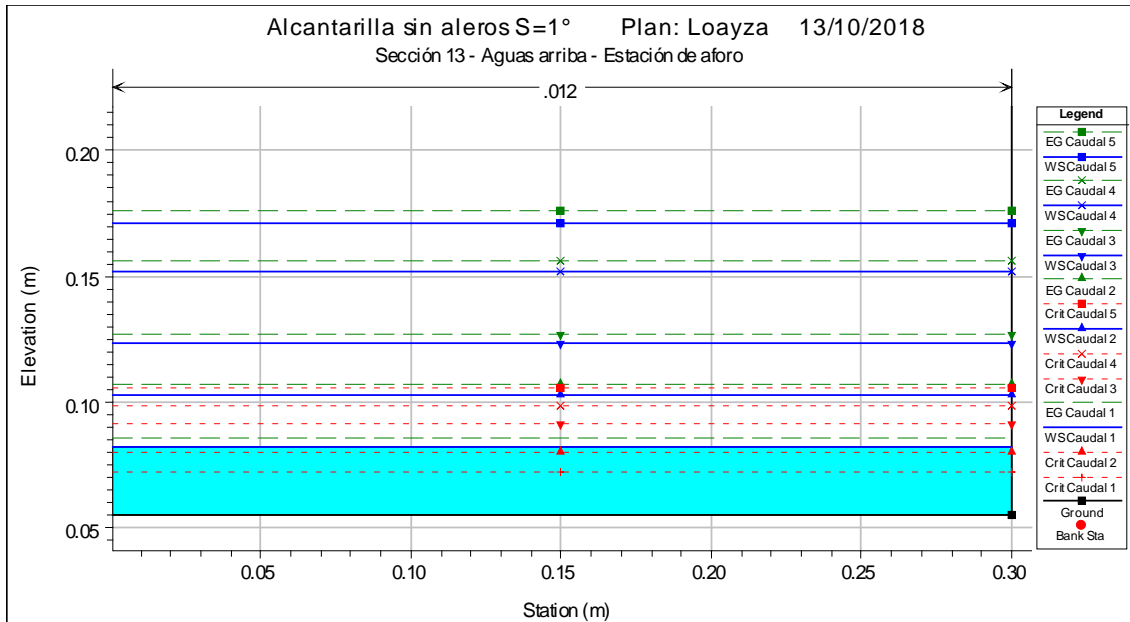


Figura N° 66: Sección aguas arriba de la alcantarilla $S=1^\circ$
Fuente: Elaboración propia

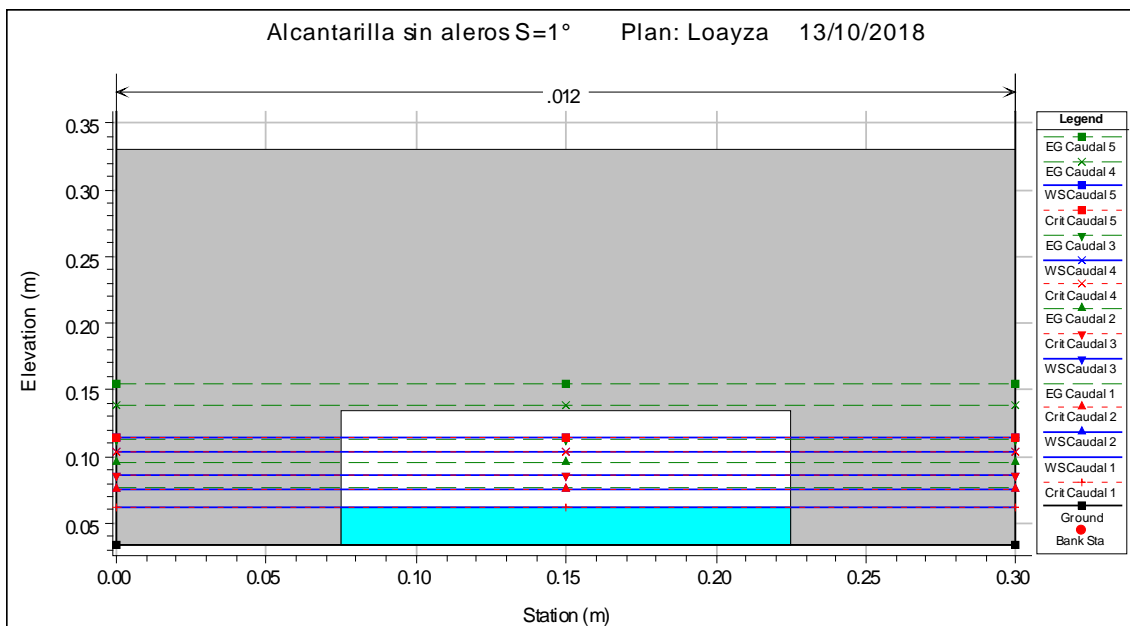


Figura N° 67: Vista frontal de la alcantarilla sin aleros $S=1^\circ$
Fuente: Elaboración propia

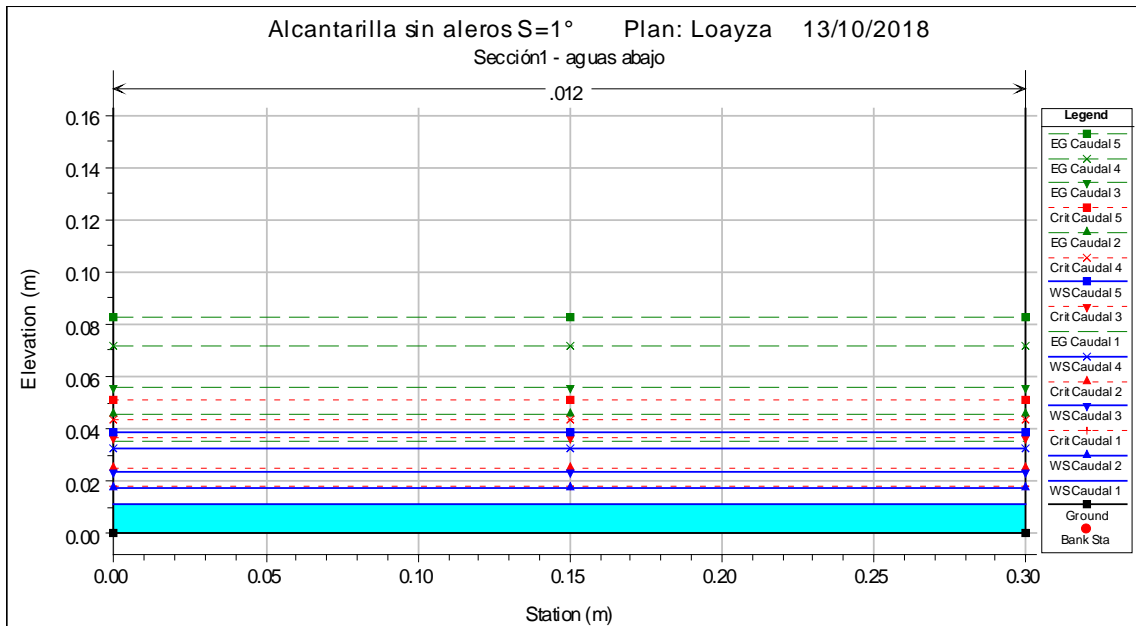


Figura N° 68: Sección aguas abajo de la alcantarilla sin aleros $S=1^\circ$
 Fuente: Elaboración propia

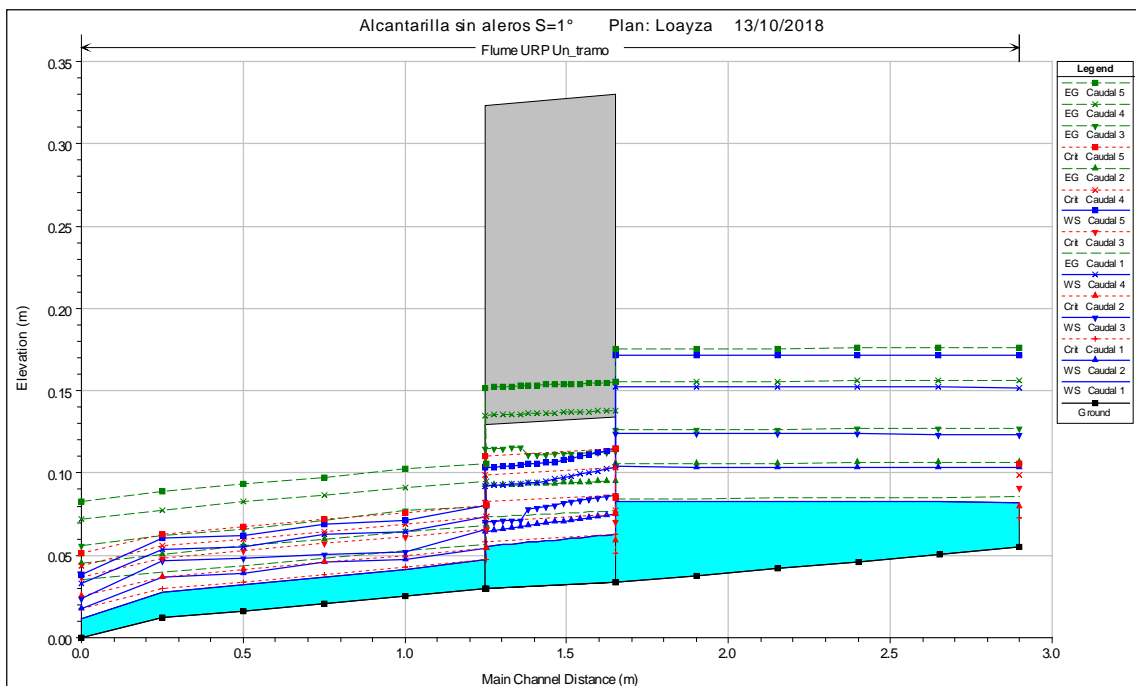


Figura N° 69: Vista de perfil de la alcantarilla sin aleros $S=1^\circ$
 Fuente: Elaboración propia

En la entrada a la alcantarilla para un caudal máximo $Q_5=0.0108\text{m}^3/\text{s}$ de acuerdo a la tabla N°102 se tiene un $Y=0.138\text{m}$ y $E=0.141\text{m}$, manteniéndose la profundidad hidráulica y la energía similar con respecto al resultado de aplicarse una pendiente de $S=0.5^\circ$.

Tabla N° 102: Resultado numérico de alcantarilla sin aleros S=1° Q1-Q5

River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
13	Caudal 1	0.0023	0.055	0.082	0.073	0.086	0.00175	0.28	0.008	0.3	0.55
13	Caudal 2	0.0039	0.055	0.103	0.08	0.107	0.00086	0.27	0.014	0.3	0.39
13	Caudal 3	0.0057	0.055	0.123	0.091	0.127	0.00065	0.28	0.021	0.3	0.34
13	Caudal 4	0.0086	0.055	0.152	0.099	0.156	0.00055	0.30	0.029	0.3	0.3
13	Caudal 5	0.0108	0.055	0.171	0.106	0.176	0.00052	0.31	0.035	0.3	0.29
12	Caudal 1	0.0023	0.051	0.082		0.085	0.00107	0.24	0.01	0.3	0.43
12	Caudal 2	0.0039	0.051	0.103		0.106	0.00066	0.25	0.016	0.3	0.34
12	Caudal 3	0.0057	0.051	0.124		0.127	0.00054	0.26	0.022	0.3	0.31
12	Caudal 4	0.0086	0.051	0.152		0.156	0.00048	0.28	0.03	0.3	0.28
12	Caudal 5	0.0108	0.051	0.172		0.176	0.00047	0.30	0.036	0.3	0.27
11	Caudal 1	0.0023	0.046	0.083		0.085	0.00071	0.21	0.011	0.3	0.35
11	Caudal 2	0.0039	0.046	0.104		0.106	0.00052	0.23	0.017	0.3	0.3
11	Caudal 3	0.0057	0.046	0.124		0.127	0.00046	0.25	0.023	0.3	0.28
11	Caudal 4	0.0086	0.046	0.152		0.156	0.00043	0.27	0.032	0.3	0.27
11	Caudal 5	0.0108	0.046	0.172		0.176	0.00043	0.29	0.038	0.3	0.26
10	Caudal 1	0.0023	0.042	0.083		0.085	0.00049	0.19	0.012	0.3	0.29
10	Caudal 2	0.0039	0.042	0.104		0.106	0.00041	0.21	0.019	0.3	0.27
10	Caudal 3	0.0057	0.042	0.124		0.127	0.00039	0.23	0.025	0.3	0.26
10	Caudal 4	0.0086	0.042	0.152		0.156	0.00038	0.26	0.033	0.3	0.25
10	Caudal 5	0.0108	0.042	0.172		0.176	0.00039	0.28	0.039	0.3	0.25
9	Caudal 1	0.0023	0.037	0.083		0.084	0.00036	0.17	0.014	0.3	0.25
9	Caudal 2	0.0039	0.037	0.104		0.106	0.00034	0.20	0.02	0.3	0.24
9	Caudal 3	0.0057	0.037	0.124		0.126	0.00033	0.22	0.026	0.3	0.24
9	Caudal 4	0.0086	0.037	0.152		0.156	0.00034	0.25	0.034	0.3	0.24
9	Caudal 5	0.0108	0.037	0.172		0.175	0.00035	0.27	0.04	0.3	0.23
8	Caudal 1	0.0023	0.034	0.083	0.052	0.084	0.00028	0.16	0.015	0.3	0.22
8	Caudal 2	0.0039	0.034	0.104	0.059	0.106	0.00029	0.19	0.021	0.3	0.22
8	Caudal 3	0.0057	0.034	0.124	0.07	0.126	0.0003	0.21	0.027	0.3	0.22
8	Caudal 4	0.0086	0.034	0.152	0.078	0.155	0.00031	0.24	0.036	0.3	0.22
8	Caudal 5	0.0108	0.034	0.172	0.085	0.175	0.00033	0.26	0.041	0.3	0.22
7.9	Culvert										
6	Caudal 1	0.0023	0.03	0.047	0.047	0.057	0.0067	0.43	0.005	0.3	1.03
6	Caudal 2	0.0039	0.03	0.055	0.055	0.068	0.00643	0.52	0.008	0.3	1.04
6	Caudal 3	0.0057	0.03	0.066	0.066	0.080	0.00429	0.52	0.011	0.3	0.87
6	Caudal 4	0.0086	0.03	0.073	0.073	0.095	0.00566	0.66	0.013	0.3	1.00
6	Caudal 5	0.0108	0.03	0.081	0.081	0.106	0.00561	0.71	0.015	0.3	1.00
5	Caudal 1	0.0023	0.025	0.041	0.043	0.053	0.00939	0.48	0.005	0.3	1.21
5	Caudal 2	0.0039	0.025	0.048	0.05	0.064	0.00895	0.57	0.007	0.3	1.22
5	Caudal 3	0.0057	0.025	0.052	0.062	0.077	0.01064	0.70	0.008	0.3	1.35
5	Caudal 4	0.0086	0.025	0.064	0.069	0.091	0.00779	0.73	0.012	0.3	1.17
5	Caudal 5	0.0108	0.025	0.071	0.076	0.102	0.0077	0.78	0.014	0.3	1.17
4	Caudal 1	0.0023	0.021	0.037	0.039	0.048	0.00938	0.48	0.005	0.3	1.21
4	Caudal 2	0.0039	0.021	0.046	0.046	0.060	0.00653	0.52	0.008	0.3	1.05
4	Caudal 3	0.0057	0.021	0.051	0.057	0.071	0.00796	0.63	0.009	0.3	1.17
4	Caudal 4	0.0086	0.021	0.063	0.064	0.086	0.0064	0.68	0.013	0.3	1.06
4	Caudal 5	0.0108	0.021	0.069	0.072	0.097	0.0065	0.74	0.015	0.3	1.08
3	Caudal 1	0.0023	0.016	0.032	0.034	0.044	0.00939	0.48	0.005	0.3	1.21
3	Caudal 2	0.0039	0.016	0.039	0.041	0.056	0.00895	0.57	0.007	0.3	1.22
3	Caudal 3	0.0057	0.016	0.048	0.053	0.066	0.00633	0.59	0.01	0.3	1.05
3	Caudal 4	0.0086	0.016	0.056	0.06	0.083	0.00779	0.73	0.012	0.3	1.17
3	Caudal 5	0.0108	0.016	0.062	0.067	0.093	0.0077	0.78	0.014	0.3	1.17
2	Caudal 1	0.0023	0.012	0.028	0.03	0.040	0.00939	0.48	0.005	0.3	1.21
2	Caudal 2	0.0039	0.012	0.037	0.037	0.051	0.00654	0.52	0.007	0.3	1.05
2	Caudal 3	0.0057	0.012	0.047	0.048	0.062	0.00503	0.55	0.01	0.3	0.94
2	Caudal 4	0.0086	0.012	0.054	0.056	0.078	0.00646	0.69	0.013	0.3	1.07
2	Caudal 5	0.0108	0.012	0.06	0.063	0.089	0.00656	0.74	0.015	0.3	1.08
1	Caudal 1	0.0023	0	0.011	0.018	0.035	0.0302	0.69	0.003	0.3	2.08
1	Caudal 2	0.0039	0	0.018	0.025	0.045	0.01963	0.74	0.005	0.3	1.77
1	Caudal 3	0.0057	0	0.024	0.037	0.056	0.01609	0.79	0.007	0.3	1.64
1	Caudal 4	0.0086	0	0.033	0.044	0.072	0.01384	0.88	0.01	0.3	1.55
1	Caudal 5	0.0108	0	0.039	0.051	0.083	0.01308	0.93	0.012	0.3	1.52

Fuente: Elaboración propia

5.2.3. Alcantarilla tipo BOX con aleros de 12.5°

5.2.3.1. Modelación numérica de alcantarilla con aleros 12.5° para S=0.25°

Las secciones y la geometría que se muestra en la figura N°70 se aplicaron para las tres pendientes S=0.25°, 0.5° y 1°, como se podrá observar la geometría de los aleros han sido formadas mediante secciones a mínimas distancias, debido a que el código de simulación no contiene bloques de aleros para su inserción.

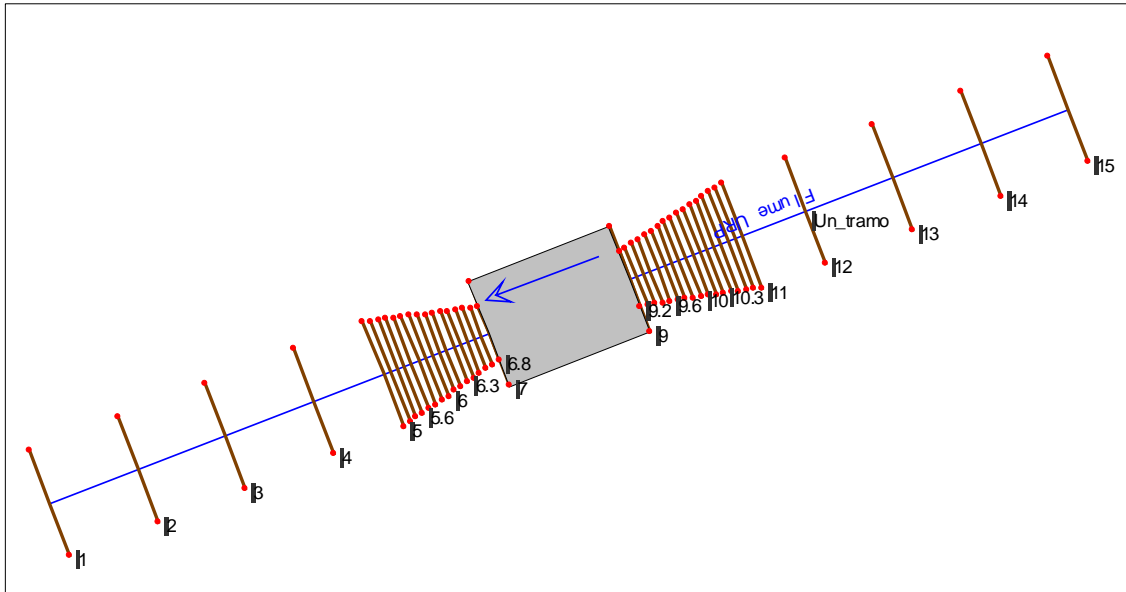


Figura N° 70: Secciones y geometría de alcantarilla con aleros vista en planta
Fuente: Elaboración propia

En la figura N°71 se muestra la sección 15 aguas arriba de la alcantarilla, sección ubicada a una distancia de 0.93m a partir de la arista de los aleros, en la que se observa la profundidad hidráulica(línea azul), profundidad crítica(línea roja punteada) y la energía(línea verde entrecortada), definiéndose de acuerdo a la tabla N°103 para el caudal considerado mínimo $Q_1=0.0023\text{m}^3/\text{s}$ el $Y=0.046\text{m}$ y la $E=0.048\text{m}$ y para un caudal considerado máximo $Q_5=0.0108\text{m}^3/\text{s}$ el $Y=0.153\text{m}$ y la $E=0.156\text{m}$, resultados que con respecto a la alcantarilla sin aleros existe una variación para Q_1 entre 1 y 2mm y para Q_5 una variación de 2 a 3mm.

Asimismo en la figura N°72 vista frontal de la alcantarilla para Q_1 el $Y=0.047\text{m}$ y la $E=0.052\text{m}$ y para Q_5 , $Y=0.148\text{m}$, la $E=0.159\text{m}$, con respecto a la alcantarilla sin aleros los valores para el caudal Q_1 se mantienen, en cambio para un caudal Q_5 presenta un aumento de tirante de 1cm y en la energía 1.7cm.

Y en la sección aguas abajo presentada en la figura N°73, sección ubicada a una distancia también de 0.95m, se aprecia la disminución de la profundidad de agua siendo para Q1 un $Y=0.020$ y la $E=0.028$ y para Q5 un $Y=0.044$ y la $E=0.078$ m, los resultados con respecto a la alcantarilla sin aleros no tienen variación importante.

En la figura N°74 vista del perfil longitudinal del tramo estudiado se muestra un mejor panorama del comportamiento del fluido para las cargas consideradas en los experimentos Q1, Q2, Q3, Q4 y Q5, así también la figura N°75 muestra una vista del modelo en 3D de la geometría de las secciones y la alcantarilla con aleros en el canal.

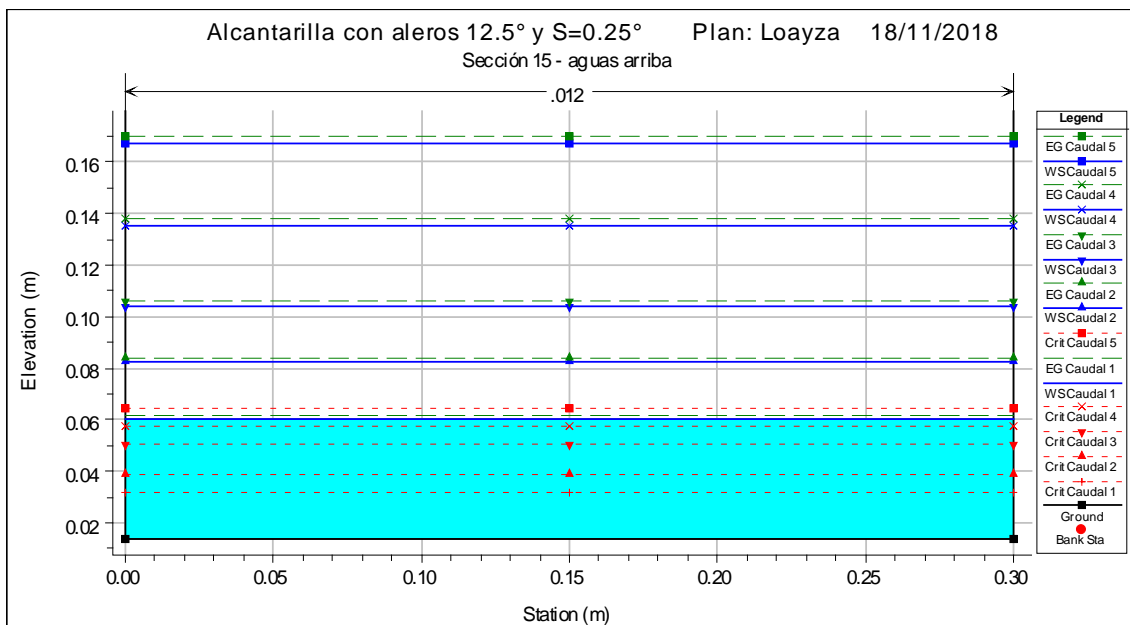


Figura N° 71: Sección aguas arriba de la alcantarilla con aleros 12.5° S=0.25°
Fuente: Elaboración propia

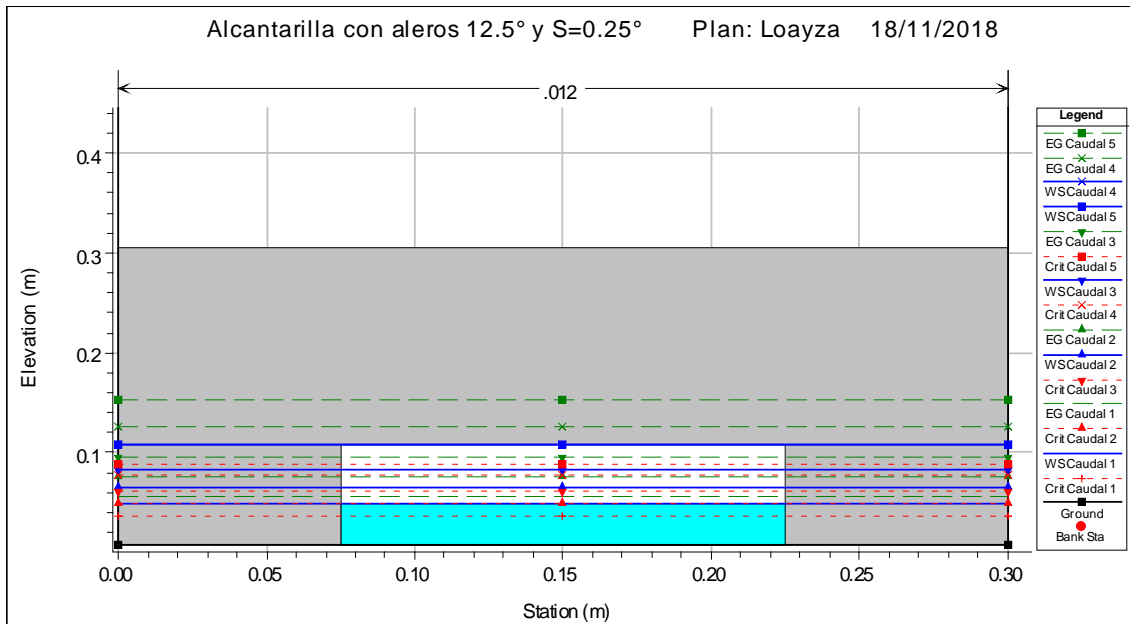


Figura N° 72: Vista frontal de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.25°
Fuente: Elaboración propia

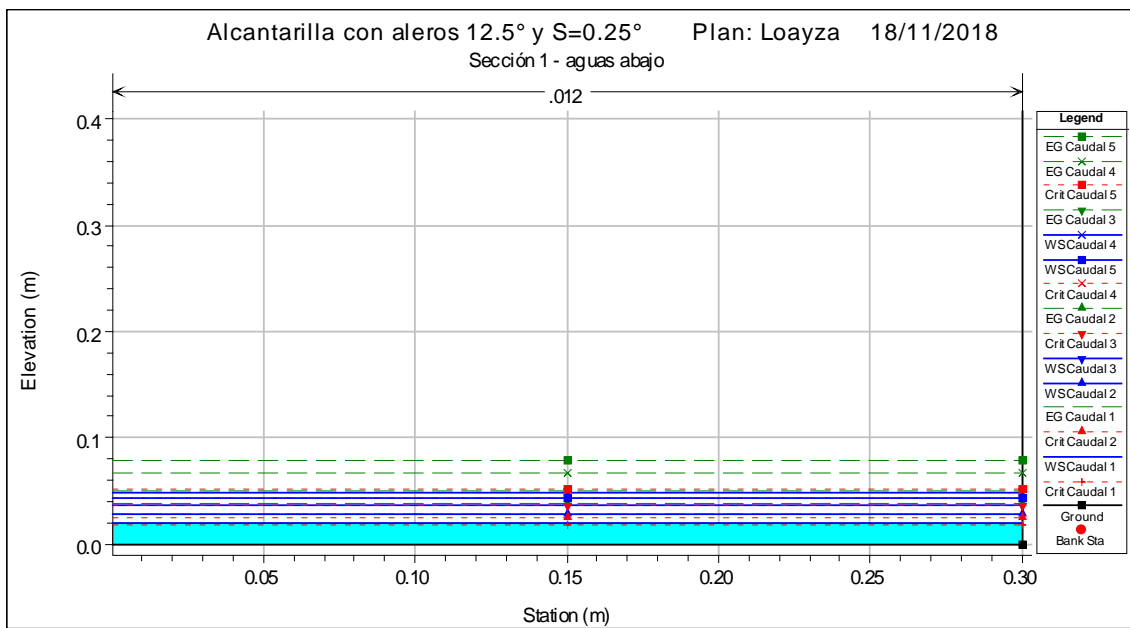


Figura N° 73: Sección aguas abajo de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.25°
Fuente: Elaboración propia

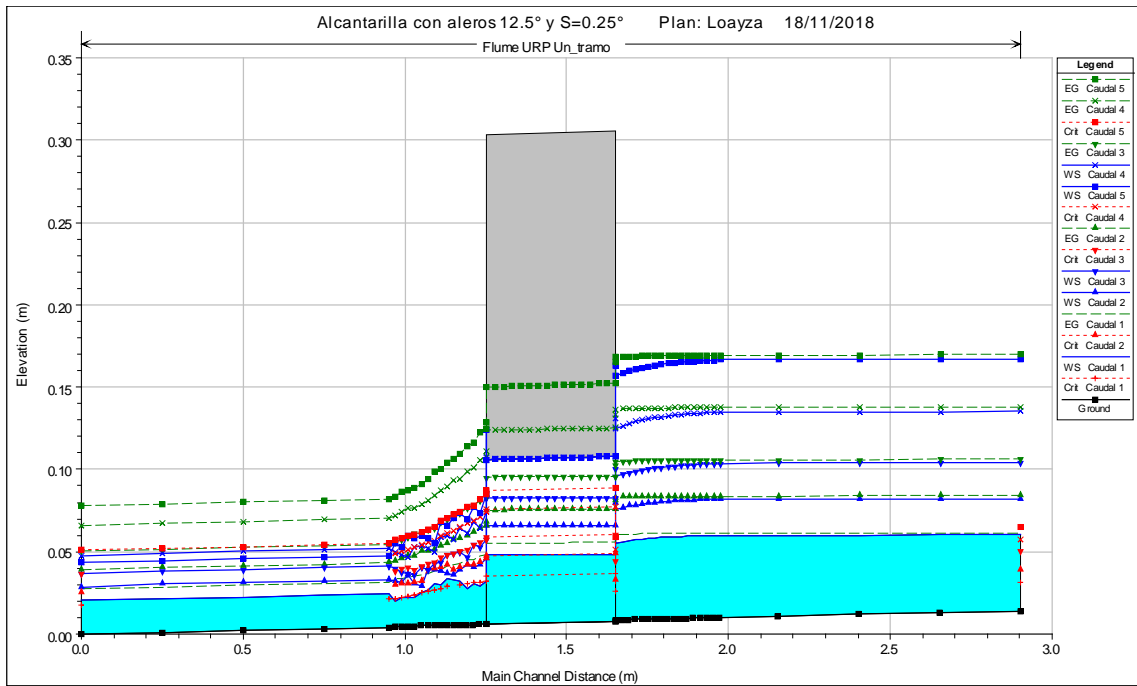


Figura N° 74: Vista de perfil de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.25°
 Fuente: Elaboración propia

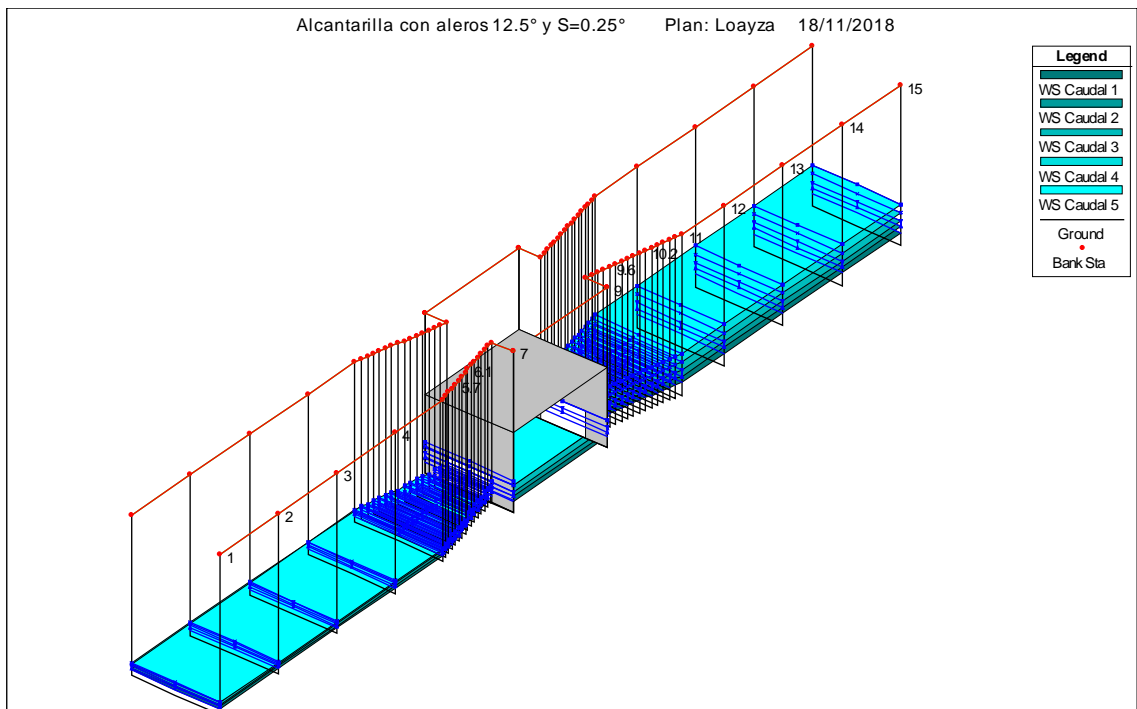


Figura N° 75: Vista en 3D alcantarilla con aleros 12.5° S=0.25°
 Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 103: Resultado numérico de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.25° Q1-Q5

River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
15	Caudal 1	0.0023	0.014	0.060	0.031	0.062	0.00034	0.16	0.014	0.3	0.24
15	Caudal 2	0.0039	0.014	0.082	0.039	0.084	0.0003	0.19	0.021	0.3	0.23
15	Caudal 3	0.0057	0.014	0.104	0.050	0.106	0.0003	0.21	0.027	0.3	0.22
15	Caudal 4	0.0086	0.014	0.135	0.057	0.138	0.00029	0.24	0.036	0.3	0.22
15	Caudal 5	0.0108	0.014	0.167	0.065	0.170	0.00025	0.24	0.046	0.3	0.19
14	Caudal 1	0.0023	0.013	0.060		0.061	0.00032	0.16	0.014	0.3	0.24
14	Caudal 2	0.0039	0.013	0.082		0.084	0.0003	0.19	0.021	0.3	0.23
14	Caudal 3	0.0057	0.013	0.104		0.106	0.00029	0.21	0.027	0.3	0.22
14	Caudal 4	0.0086	0.013	0.135		0.138	0.00029	0.23	0.037	0.3	0.21
14	Caudal 5	0.0108	0.013	0.167		0.170	0.00025	0.23	0.046	0.3	0.19
13	Caudal 1	0.0023	0.012	0.060		0.061	0.0003	0.16	0.014	0.3	0.23
13	Caudal 2	0.0039	0.012	0.082		0.084	0.00028	0.18	0.021	0.3	0.22
13	Caudal 3	0.0057	0.012	0.104		0.106	0.00028	0.21	0.028	0.3	0.22
13	Caudal 4	0.0086	0.012	0.135		0.138	0.00028	0.23	0.037	0.3	0.21
13	Caudal 5	0.0108	0.012	0.167		0.170	0.00024	0.23	0.046	0.3	0.19
12	Caudal 1	0.0023	0.011	0.060		0.061	0.00029	0.16	0.015	0.3	0.23
12	Caudal 2	0.0039	0.011	0.082		0.084	0.00027	0.18	0.021	0.3	0.22
12	Caudal 3	0.0057	0.011	0.104		0.106	0.00027	0.20	0.028	0.3	0.21
12	Caudal 4	0.0086	0.011	0.135		0.138	0.00028	0.23	0.037	0.3	0.21
12	Caudal 5	0.0108	0.011	0.167		0.170	0.00024	0.23	0.047	0.3	0.19
11	Caudal 1	0.0023	0.010	0.060		0.061	0.00027	0.15	0.015	0.3	0.22
11	Caudal 2	0.0039	0.010	0.082		0.084	0.00026	0.18	0.022	0.3	0.21
11	Caudal 3	0.0057	0.010	0.104		0.106	0.00027	0.20	0.028	0.3	0.21
11	Caudal 4	0.0086	0.010	0.135		0.138	0.00027	0.23	0.037	0.3	0.21
11	Caudal 5	0.0108	0.010	0.167		0.169	0.00023	0.23	0.047	0.3	0.19
10	Caudal 1	0.0023	0.009	0.059		0.061	0.00055	0.21	0.011	0.23	0.30
10	Caudal 2	0.0039	0.009	0.081		0.084	0.00056	0.24	0.016	0.23	0.29
10	Caudal 3	0.0057	0.009	0.102		0.106	0.00058	0.27	0.021	0.23	0.29
10	Caudal 4	0.0086	0.009	0.133		0.137	0.00061	0.31	0.028	0.23	0.28
10	Caudal 5	0.0108	0.009	0.164		0.169	0.00053	0.31	0.035	0.23	0.25
9.2	Caudal 1	0.0023	0.009	0.056		0.061	0.00162	0.32	0.007	0.15	0.47
9.2	Caudal 2	0.0039	0.009	0.076		0.083	0.00172	0.38	0.010	0.15	0.46
9.2	Caudal 3	0.0057	0.009	0.096		0.105	0.00184	0.42	0.013	0.15	0.46
9.2	Caudal 4	0.0086	0.009	0.125		0.137	0.002	0.48	0.018	0.15	0.45
9.2	Caudal 5	0.0108	0.009	0.157		0.168	0.00171	0.47	0.023	0.15	0.39
8	Culvert										
6.8	Caudal 1	0.0023	0.006	0.032	0.032	0.049	0.0087	0.57	0.004	0.15	1.11
6.8	Caudal 2	0.0039	0.006	0.046	0.046	0.066	0.0073	0.63	0.006	0.15	1.01
6.8	Caudal 3	0.0057	0.006	0.058	0.058	0.084	0.00751	0.71	0.008	0.15	1.00
6.8	Caudal 4	0.0086	0.006	0.074	0.074	0.108	0.0081	0.82	0.010	0.15	1.00
6.8	Caudal 5	0.0108	0.006	0.085	0.085	0.125	0.00846	0.88	0.012	0.15	1.00
6	Caudal 1	0.0023	0.005	0.031	0.026	0.038	0.00367	0.38	0.006	0.23	0.77
6	Caudal 2	0.0039	0.005	0.039	0.040	0.051	0.00433	0.49	0.008	0.23	0.84
6	Caudal 3	0.0057	0.005	0.043	0.044	0.064	0.00686	0.64	0.009	0.23	1.06
6	Caudal 4	0.0086	0.005	0.050	0.057	0.084	0.00963	0.83	0.010	0.23	1.25
6	Caudal 5	0.0108	0.005	0.055	0.065	0.099	0.01083	0.93	0.012	0.23	1.33
5	Caudal 1	0.0023	0.004	0.025	0.022	0.032	0.00422	0.37	0.006	0.3	0.83
5	Caudal 2	0.0039	0.004	0.033		0.043	0.00398	0.44	0.009	0.3	0.83
5	Caudal 3	0.0057	0.004	0.041		0.054	0.00403	0.51	0.011	0.3	0.84
5	Caudal 4	0.0086	0.004	0.052	0.048	0.070	0.00416	0.59	0.015	0.3	0.86
5	Caudal 5	0.0108	0.004	0.048	0.055	0.082	0.00884	0.82	0.013	0.3	1.25
4	Caudal 1	0.0023	0.003	0.024		0.031	0.00416	0.37	0.006	0.3	0.83
4	Caudal 2	0.0039	0.003	0.032		0.042	0.00392	0.44	0.009	0.3	0.82
4	Caudal 3	0.0057	0.003	0.040		0.054	0.004	0.51	0.011	0.3	0.84
4	Caudal 4	0.0086	0.003	0.052		0.069	0.00414	0.59	0.015	0.3	0.86
4	Caudal 5	0.0108	0.003	0.047	0.054	0.081	0.00884	0.82	0.013	0.3	1.25

River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
3	Caudal 1	0.0023	0.002	0.022		0.030	0.00435	0.38	0.006	0.3	0.84
3	Caudal 2	0.0039	0.002	0.031		0.041	0.00398	0.44	0.009	0.3	0.83
3	Caudal 3	0.0057	0.002	0.039		0.053	0.00405	0.51	0.011	0.3	0.84
3	Caudal 4	0.0086	0.002	0.050	0.046	0.068	0.0042	0.59	0.014	0.3	0.86
3	Caudal 5	0.0108	0.002	0.046	0.053	0.080	0.00884	0.82	0.013	0.3	1.25
2	Caudal 1	0.0023	0.001	0.021		0.029	0.00424	0.37	0.006	0.3	0.83
2	Caudal 2	0.0039	0.001	0.030		0.040	0.00387	0.44	0.009	0.3	0.82
2	Caudal 3	0.0057	0.001	0.038		0.052	0.00398	0.51	0.011	0.3	0.84
2	Caudal 4	0.0086	0.001	0.049		0.067	0.00415	0.59	0.015	0.3	0.86
2	Caudal 5	0.0108	0.001	0.045	0.052	0.079	0.00884	0.82	0.013	0.3	1.25
1	Caudal 1	0.0023	0.000	0.020	0.018	0.028	0.00436	0.38	0.006	0.3	0.84
1	Caudal 2	0.0039	0.000	0.028	0.025	0.039	0.00436	0.46	0.009	0.3	0.87
1	Caudal 3	0.0057	0.000	0.037	0.037	0.050	0.00429	0.52	0.011	0.3	0.87
1	Caudal 4	0.0086	0.000	0.048	0.044	0.066	0.00436	0.60	0.014	0.3	0.88
1	Caudal 5	0.0108	0.000	0.044	0.051	0.078	0.00884	0.82	0.013	0.3	1.25

Fuente: Elaboración propia

5.2.3.2. Modelación numérica de alcantarilla con aleros 12.5° para S=0.5°

Al trabajar con esta pendiente para los caudales mencionados antes, en la figura N°76 se muestra la sección aguas arriba de la alcantarilla en la que se observa de acuerdo a los resultados numéricos presentados en la tabla N°104 para Q1, un Y=0.042m con E=0.044m y para Q5 se tiene un Y=0.149 con una E=0.152, resultados que con respecto a la pendiente S=0.25° disminuyen en 0.4cm=4mm.

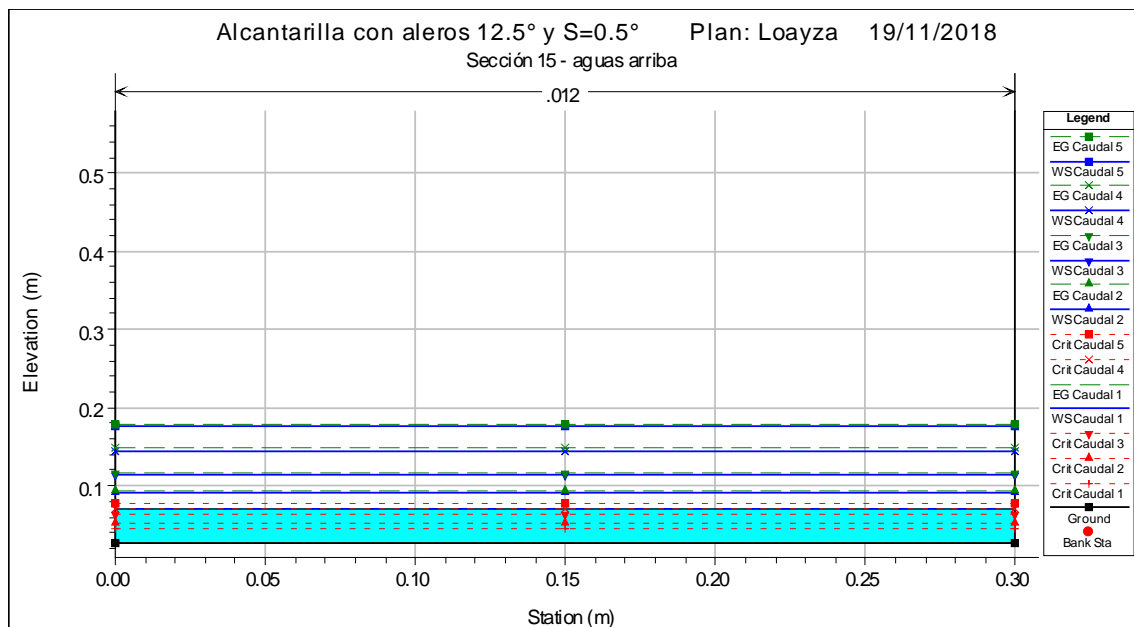


Figura N° 76: Sección aguas arriba de la alcantarilla con aleros 12.5° S=0.5°

Fuente: Elaboración propia

En el ingreso a la alcantarilla figura N°77, para Q1 se tiene un $Y=0.048\text{m}$, $E=0.053\text{m}$ y para Q5 se cuenta con $Y=0.150\text{m}$ y una $E=0.161\text{m}$, lo que indica que a diferencia de aplicar una pendiente de $S=0.25^\circ$ la de $S=0.5^\circ$ ocurre un aumento mínimo de 2mm .

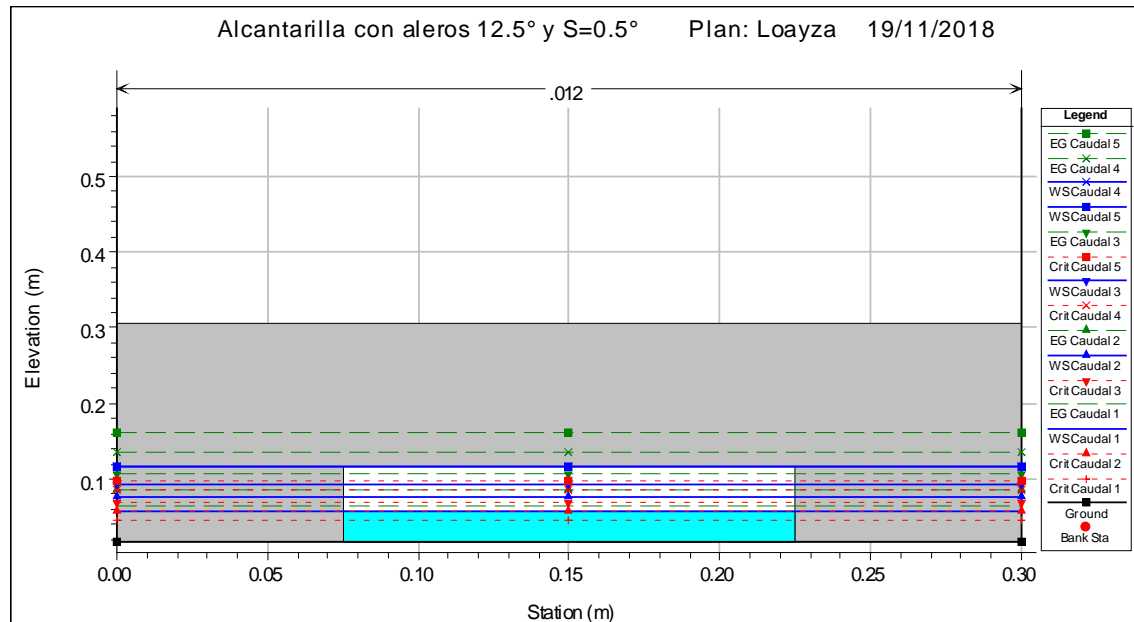


Figura N° 77: Vista frontal de la alcantarilla con aleros 12.5° $S=0.5^\circ$
Fuente: Elaboración propia

En la sección aguas abajo figura N°78 para Q1 el $Y=0.015\text{m}$, $E=0.028\text{m}$ y para Q5 el $Y=0.044\text{m}$ con una $E=0.078\text{m}$, con respecto a la pendiente de $S=0.25^\circ$ la profundidad para Q1 disminuye en 5mm y con Q2 se mantiene, en cambio la energía se mantiene en ambos caudales.

Y en la figura N°79 en la que muestra el perfil longitudinal del tramo evaluado, se observan los niveles de las profundidades normales y críticas, así como la energía, en el ingreso sobrepasando el techo a partir del caudal Q4, a la salida de la alcantarilla en el tramo de los aleros, el flujo muestra turbulencia, movimiento rápido.

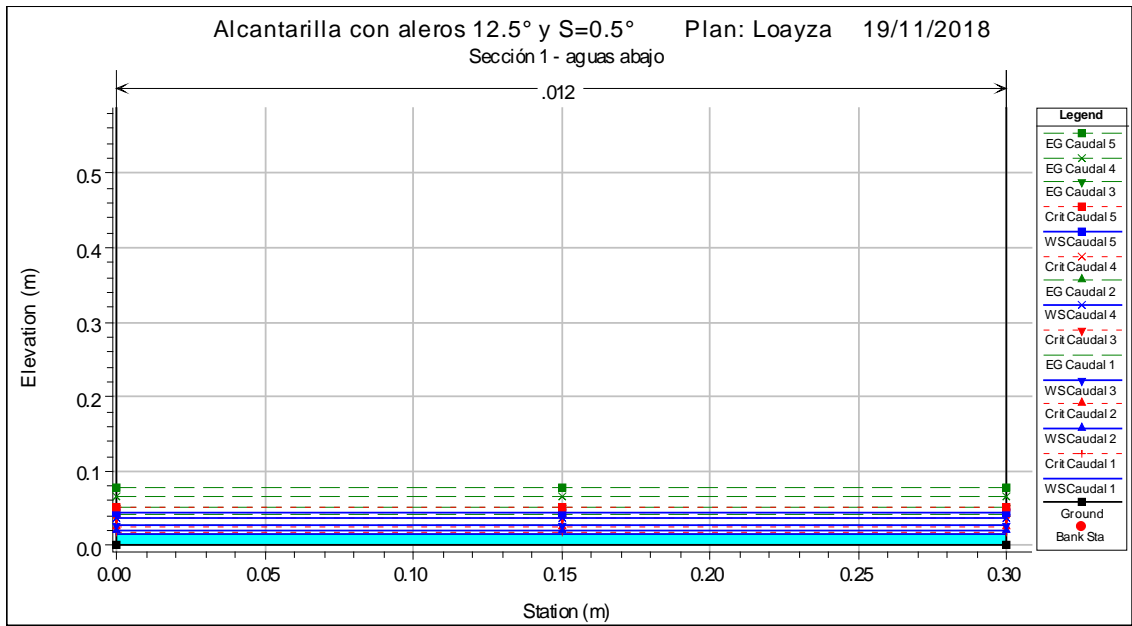


Figura N° 78: Sección aguas abajo de la alcantarilla con aleros 12.5° S=0.5°
Fuente: Elaboración propia

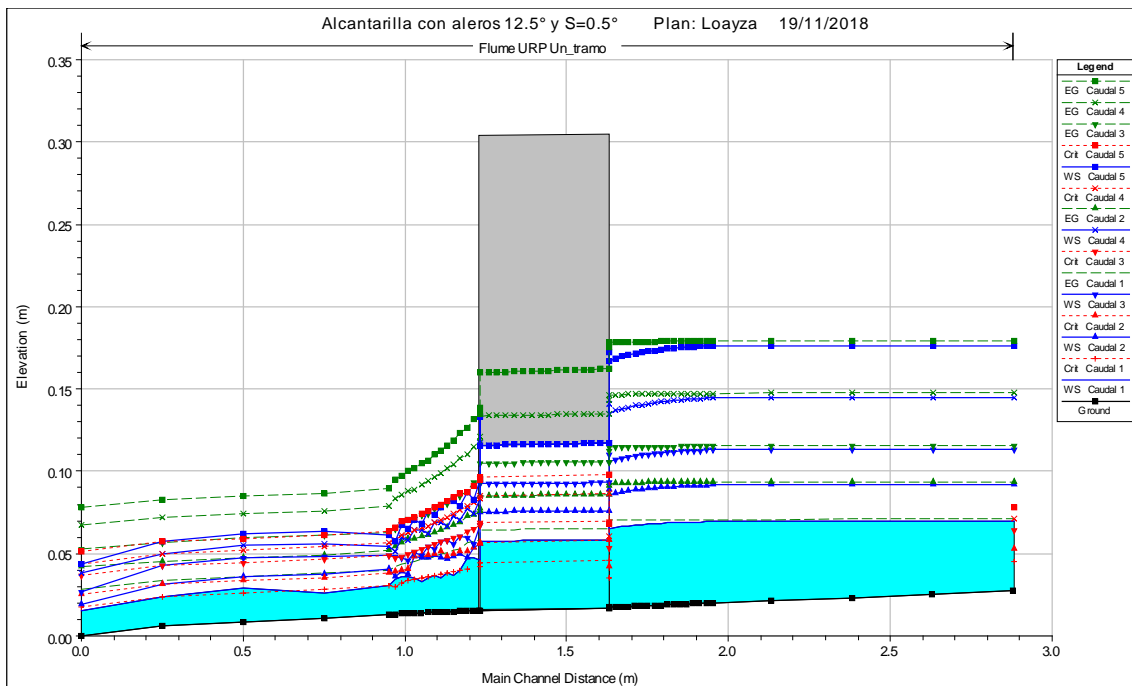


Figura N° 79: Vista de perfil de la alcantarilla con aleros 12.5° S=0.5°
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 104: Resultado numérico de alcantarilla con aleros 12.5° S=0.5° Q1-Q5

River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude #	Chl
15	Caudal 1	0.0023	0.027	0.069	0.045	0.071	0.00046	0.18	0.013	0.3	0.28	
15	Caudal 2	0.0039	0.027	0.092	0.053	0.094	0.00037	0.20	0.019	0.3	0.26	
15	Caudal 3	0.0057	0.027	0.113	0.064	0.116	0.00034	0.22	0.026	0.3	0.24	
15	Caudal 4	0.0086	0.027	0.145	0.071	0.148	0.00032	0.24	0.035	0.3	0.23	
15	Caudal 5	0.0108	0.027	0.176	0.078	0.179	0.00027	0.24	0.045	0.3	0.2	
14	Caudal 1	0.0023	0.025	0.069		0.071	0.00039	0.17	0.013	0.3	0.26	
14	Caudal 2	0.0039	0.025	0.092		0.094	0.00034	0.20	0.02	0.3	0.24	
14	Caudal 3	0.0057	0.025	0.113		0.116	0.00032	0.22	0.026	0.3	0.23	
14	Caudal 4	0.0086	0.025	0.145		0.148	0.00031	0.24	0.036	0.3	0.22	
14	Caudal 5	0.0108	0.025	0.176		0.179	0.00026	0.24	0.045	0.3	0.2	
13	Caudal 1	0.0023	0.023	0.069		0.071	0.00034	0.17	0.014	0.3	0.25	
13	Caudal 2	0.0039	0.023	0.092		0.094	0.00031	0.19	0.021	0.3	0.23	
13	Caudal 3	0.0057	0.023	0.113		0.116	0.0003	0.21	0.027	0.3	0.22	
13	Caudal 4	0.0086	0.023	0.145		0.148	0.00029	0.24	0.036	0.3	0.22	
13	Caudal 5	0.0108	0.023	0.176		0.179	0.00025	0.23	0.046	0.3	0.19	
12	Caudal 1	0.0023	0.022	0.069		0.071	0.00031	0.16	0.014	0.3	0.23	
12	Caudal 2	0.0039	0.022	0.092		0.093	0.00029	0.19	0.021	0.3	0.22	
12	Caudal 3	0.0057	0.022	0.113		0.115	0.00028	0.21	0.027	0.3	0.22	
12	Caudal 4	0.0086	0.022	0.145		0.147	0.00028	0.23	0.037	0.3	0.21	
12	Caudal 5	0.0108	0.022	0.176		0.179	0.00024	0.23	0.046	0.3	0.19	
11	Caudal 1	0.0023	0.02	0.069		0.071	0.00028	0.16	0.015	0.3	0.22	
11	Caudal 2	0.0039	0.02	0.092		0.093	0.00027	0.18	0.021	0.3	0.22	
11	Caudal 3	0.0057	0.02	0.113		0.115	0.00027	0.20	0.028	0.3	0.21	
11	Caudal 4	0.0086	0.02	0.145		0.147	0.00027	0.23	0.037	0.3	0.21	
11	Caudal 5	0.0108	0.02	0.176		0.179	0.00024	0.23	0.047	0.3	0.19	
10	Caudal 1	0.0023	0.019	0.068		0.071	0.00054	0.21	0.011	0.23	0.29	
10	Caudal 2	0.0039	0.019	0.090		0.093	0.00055	0.24	0.016	0.23	0.29	
10	Caudal 3	0.0057	0.019	0.111		0.115	0.00057	0.27	0.021	0.23	0.29	
10	Caudal 4	0.0086	0.019	0.142		0.147	0.00060	0.31	0.028	0.23	0.28	
10	Caudal 5	0.0108	0.019	0.174		0.179	0.00052	0.31	0.035	0.23	0.25	
9.2	Caudal 1	0.0023	0.017	0.065		0.07	0.00155	0.31	0.007	0.15	0.46	
9.2	Caudal 2	0.0039	0.017	0.086		0.093	0.00166	0.37	0.011	0.15	0.45	
9.2	Caudal 3	0.0057	0.017	0.106		0.115	0.00179	0.42	0.014	0.15	0.45	
9.2	Caudal 4	0.0086	0.017	0.135		0.146	0.00195	0.48	0.018	0.15	0.44	
9.2	Caudal 5	0.0108	0.017	0.167		0.178	0.00168	0.47	0.023	0.15	0.39	
8.99	Culvert											
6.8	Caudal 1	0.0023	0.016	0.046	0.042	0.058	0.00584	0.49	0.005	0.15	0.91	
6.8	Caudal 2	0.0039	0.016	0.056	0.056	0.076	0.0073	0.63	0.006	0.15	1.01	
6.8	Caudal 3	0.0057	0.016	0.067	0.067	0.093	0.00751	0.71	0.008	0.15	1	
6.8	Caudal 4	0.0086	0.016	0.084	0.084	0.118	0.0081	0.82	0.010	0.15	1	
6.8	Caudal 5	0.0108	0.016	0.095	0.095	0.135	0.00845	0.88	0.012	0.15	1	
6	Caudal 1	0.0023	0.014	0.035	0.036	0.047	0.00702	0.48	0.005	0.23	1.05	
6	Caudal 2	0.0039	0.014	0.047	0.049	0.061	0.00510	0.52	0.008	0.23	0.91	
6	Caudal 3	0.0057	0.014	0.054	0.054	0.074	0.00627	0.63	0.009	0.23	1.01	
6	Caudal 4	0.0086	0.014	0.062	0.067	0.094	0.00835	0.79	0.011	0.23	1.16	
6	Caudal 5	0.0108	0.014	0.076	0.076	0.107	0.00638	0.78	0.014	0.23	1	
5	Caudal 1	0.0023	0.013	0.031	0.031	0.04	0.0067	0.43	0.005	0.3	1.03	
5	Caudal 2	0.0039	0.013	0.04	0.038	0.052	0.00487	0.47	0.008	0.3	0.91	
5	Caudal 3	0.0057	0.013	0.049	0.049	0.063	0.00429	0.52	0.011	0.3	0.87	
5	Caudal 4	0.0086	0.013	0.055	0.057	0.079	0.00653	0.69	0.013	0.3	1.08	
5	Caudal 5	0.0108	0.013	0.061	0.064	0.089	0.00661	0.75	0.014	0.3	1.08	

River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
4	Caudal 1	0.0023	0.010	0.026	0.028	0.038	0.00939	0.48	0.005	0.3	1.21
4	Caudal 2	0.0039	0.010	0.037	0.036	0.049	0.00506	0.48	0.008	0.3	0.93
4	Caudal 3	0.0057	0.010	0.048	0.047	0.061	0.00393	0.51	0.011	0.3	0.83
4	Caudal 4	0.0086	0.010	0.056	0.054	0.076	0.00493	0.63	0.014	0.3	0.94
4	Caudal 5	0.0108	0.010	0.063	0.061	0.087	0.00499	0.68	0.016	0.3	0.94
3	Caudal 1	0.0023	0.008	0.029	0.026	0.036	0.00409	0.37	0.006	0.3	0.82
3	Caudal 2	0.0039	0.008	0.036	0.033	0.047	0.00452	0.46	0.008	0.3	0.88
3	Caudal 3	0.0057	0.008	0.047	0.045	0.059	0.00345	0.48	0.012	0.3	0.78
3	Caudal 4	0.0086	0.008	0.055	0.052	0.074	0.00463	0.61	0.014	0.3	0.91
3	Caudal 5	0.0108	0.008	0.062	0.059	0.085	0.00473	0.67	0.016	0.3	0.92
2	Caudal 1	0.0023	0.006	0.024	0.024	0.033	0.00671	0.43	0.005	0.3	1.03
2	Caudal 2	0.0039	0.006	0.031	0.031	0.045	0.00643	0.52	0.008	0.3	1.04
2	Caudal 3	0.0057	0.006	0.043	0.043	0.056	0.00429	0.52	0.011	0.3	0.87
2	Caudal 4	0.0086	0.006	0.05	0.05	0.072	0.00565	0.66	0.013	0.3	1.00
2	Caudal 5	0.0108	0.006	0.057	0.057	0.083	0.00561	0.71	0.015	0.3	1.00
1	Caudal 1	0.0023	0	0.015	0.018	0.028	0.01068	0.50	0.005	0.3	1.28
1	Caudal 2	0.0039	0	0.019	0.025	0.042	0.0145	0.67	0.006	0.3	1.53
1	Caudal 3	0.0057	0	0.027	0.037	0.053	0.01164	0.72	0.008	0.3	1.41
1	Caudal 4	0.0086	0	0.038	0.044	0.067	0.00865	0.75	0.011	0.3	1.23
1	Caudal 5	0.0108	0	0.044	0.051	0.078	0.00884	0.82	0.013	0.3	1.25

Fuente: Elaboración propia

5.2.3.3. Modelación numérica de alcantarilla con aleros 12.5° para S=1°

La figura N°80 que muestra la sección aguas arriba de la alcantarilla con aleros 12.5°, indica de acuerdo a los resultados en la tabla N°105, para Q1 la profundidad hidráulica Y=0.030m con una E=0.033m, para Q5 se tiene Y=0.137m con E=0.140m y con respecto a la modelación con pendiente S=0.5° para Q1, la profundidad hidráulica y la energía disminuyen en 1.1cm=0.011m, de la misma forma para Q5 y con respecto a la pendiente S=0.25° disminuyen aún más en un valor de 1.6cm de diferencia tanto en la profundidad y la energía.

Seguidamente en la figura N°81 ingreso de flujo a la alcantarilla se tiene para Q1 un Y=0.046m con E=0.051, para Q5 un profundidad de Y=0.147m con E=0.159m, siendo los resultados con respecto a la pendiente de S=0.5° disminuye entre 2 a 3mm, una diferencia mínima, de la misma manera con respecto a la pendiente de S=0.25°.

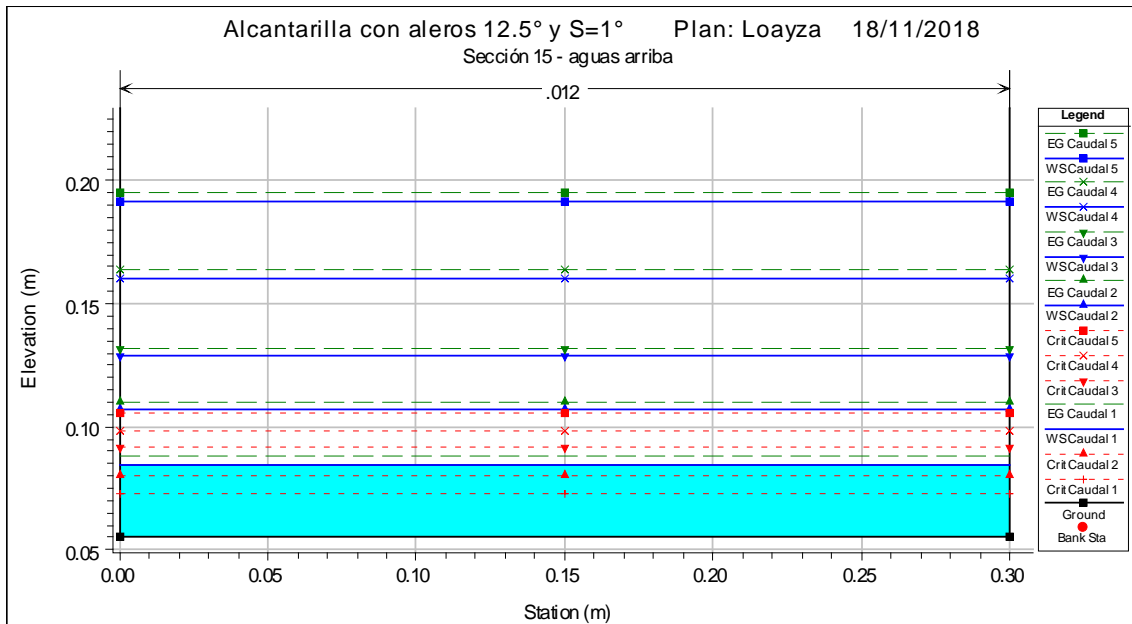


Figura N° 80: Sección aguas arriba de la alcantarilla con aleros 12.5° S=1°
Fuente: Elaboración propia

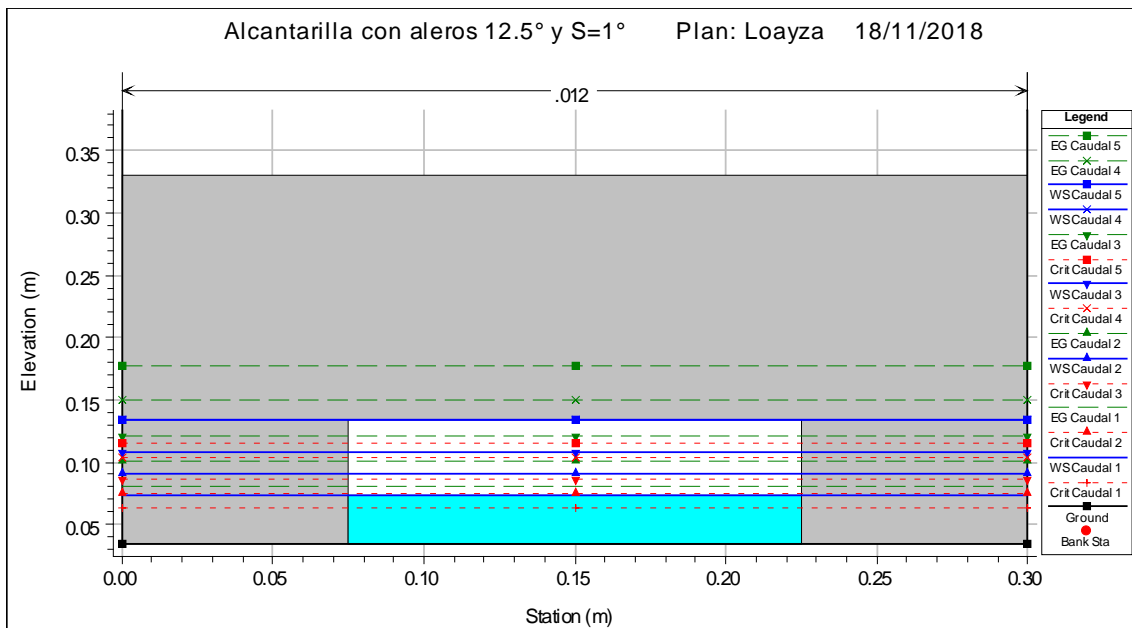


Figura N° 81: vista frontal de la alcantarilla con aleros 12.5° S=1°
Fuente: Elaboración propia

En la figura N°82 aguas abajo, para Q1 se tiene $Y=0.011\text{m}$ con una $E=0.035\text{m}$ y para Q5 el $Y=0.038\text{m}$ con una $E=0.083\text{m}$, siendo los resultados los tirantes menores a la pendiente $S=0.5^\circ$, en cambio en el caso de la energía, en esta pendiente resulta ser mayor con una diferencia de 6 a 7mm, el mismo caso sucede con los resultados de la

pendiente $S=0.25^\circ$ para la energía, sin embargo en profundidades para $S=1^\circ$ disminuyen respecto a la $S=0.5^\circ$ de entre 6 a 9mm.

En el perfil longitudinal de la figura N°83, se observa en especial en la salida de la alcantarilla, en los aleros el movimiento turbulento del flujo.

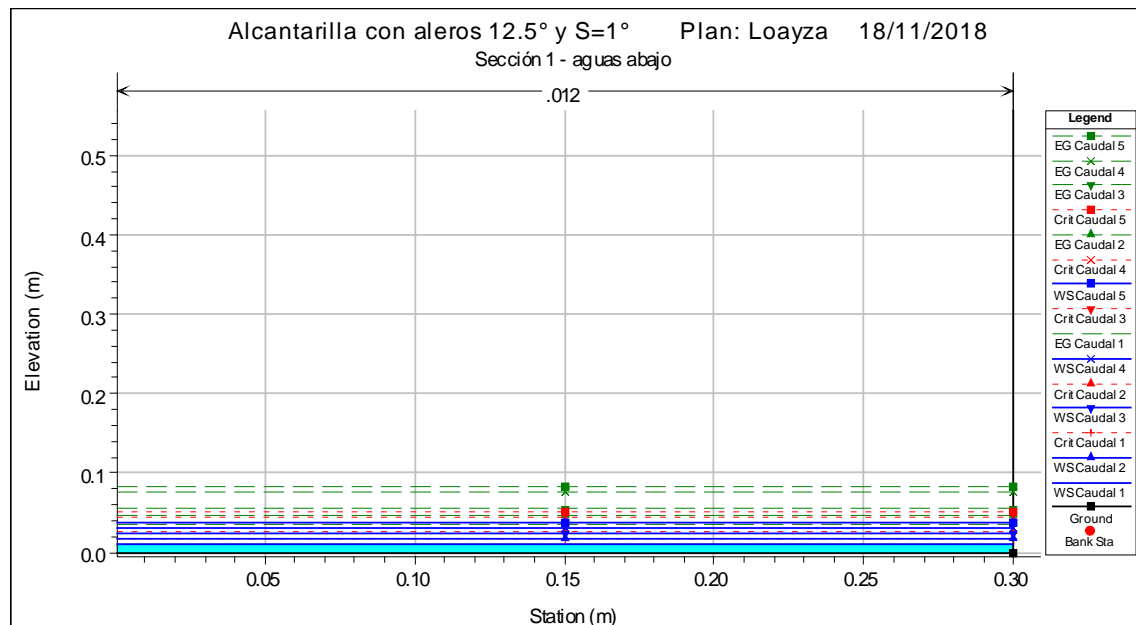


Figura N° 82: Sección aguas abajo de la alcantarilla con aleros 12.5° $S=1^\circ$
 Fuente: Elaboración propia

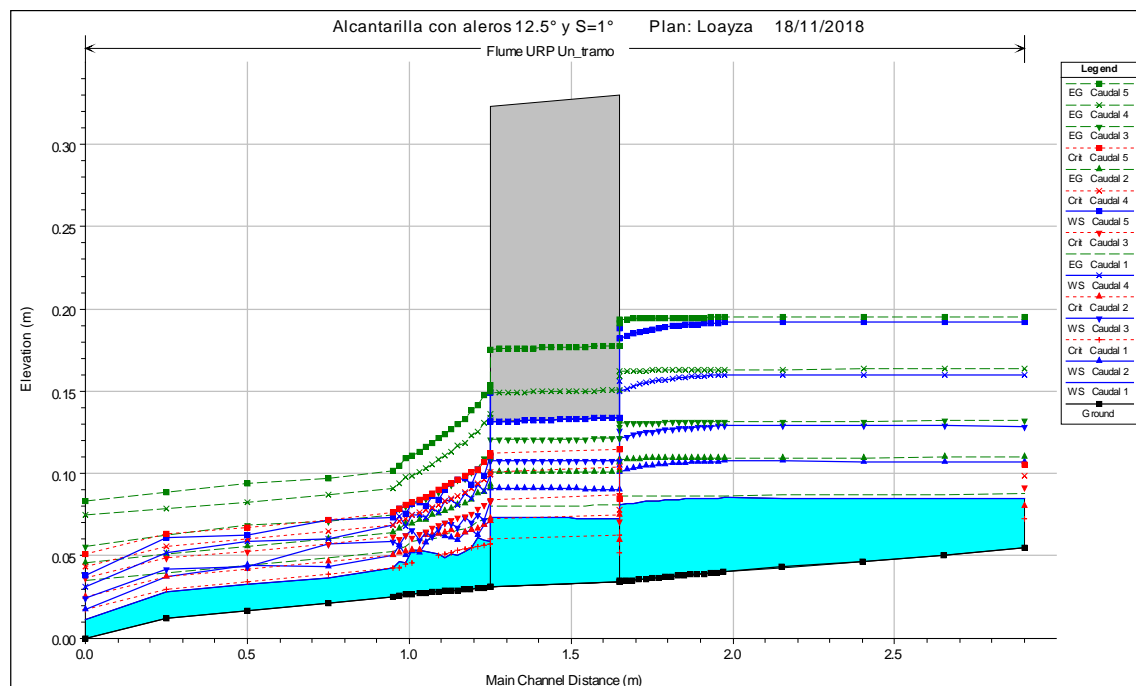


Figura N° 83: Vista de perfil de la alcantarilla con aleros 12.5° $S=1^\circ$
 Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 105: Resultado numérico de alcantarilla con aleros 12.5° S=1° Q1-Q5

River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
15	Caudal 1	0.0023	0.055	0.085	0.073	0.088	0.00132	0.26	0.009	0.3	0.48
15	Caudal 2	0.0039	0.055	0.107	0.080	0.110	0.00068	0.25	0.016	0.3	0.35
15	Caudal 3	0.0057	0.055	0.129	0.091	0.132	0.00052	0.26	0.022	0.3	0.30
15	Caudal 4	0.0086	0.055	0.160	0.099	0.164	0.00044	0.27	0.032	0.3	0.27
15	Caudal 5	0.0108	0.055	0.192	0.106	0.195	0.00034	0.26	0.041	0.3	0.23
14	Caudal 1	0.0023	0.051	0.085		0.087	0.00085	0.22	0.010	0.3	0.38
14	Caudal 2	0.0039	0.051	0.107		0.110	0.00053	0.23	0.017	0.3	0.31
14	Caudal 3	0.0057	0.051	0.129		0.132	0.00044	0.24	0.023	0.3	0.28
14	Caudal 4	0.0086	0.051	0.160		0.164	0.00039	0.26	0.033	0.3	0.25
14	Caudal 5	0.0108	0.051	0.192		0.195	0.00031	0.25	0.042	0.3	0.22
13	Caudal 1	0.0023	0.046	0.085		0.087	0.00058	0.20	0.012	0.3	0.32
13	Caudal 2	0.0039	0.046	0.107		0.110	0.00043	0.21	0.018	0.3	0.28
13	Caudal 3	0.0057	0.046	0.129		0.132	0.00038	0.23	0.025	0.3	0.26
13	Caudal 4	0.0086	0.046	0.160		0.163	0.00035	0.25	0.034	0.3	0.24
13	Caudal 5	0.0108	0.046	0.192		0.195	0.00028	0.25	0.044	0.3	0.21
12	Caudal 1	0.0023	0.043	0.085		0.087	0.00045	0.18	0.013	0.3	0.28
12	Caudal 2	0.0039	0.043	0.107		0.110	0.00036	0.20	0.019	0.3	0.25
12	Caudal 3	0.0057	0.043	0.129		0.132	0.00034	0.22	0.026	0.3	0.24
12	Caudal 4	0.0086	0.043	0.160		0.163	0.00032	0.24	0.035	0.3	0.23
12	Caudal 5	0.0108	0.043	0.192		0.195	0.00027	0.24	0.045	0.3	0.20
11	Caudal 1	0.0023	0.04	0.085		0.087	0.00037	0.17	0.014	0.3	0.26
11	Caudal 2	0.0039	0.04	0.108		0.109	0.00032	0.19	0.020	0.3	0.24
11	Caudal 3	0.0057	0.04	0.129		0.131	0.00031	0.21	0.027	0.3	0.23
11	Caudal 4	0.0086	0.04	0.160		0.163	0.0003	0.24	0.036	0.3	0.22
11	Caudal 5	0.0108	0.04	0.192		0.195	0.00025	0.24	0.045	0.3	0.19
10	Caudal 1	0.0023	0.037	0.084		0.087	0.00065	0.22	0.011	0.23	0.32
10	Caudal 2	0.0039	0.037	0.106		0.109	0.00062	0.25	0.015	0.23	0.31
10	Caudal 3	0.0057	0.037	0.127		0.131	0.00062	0.28	0.020	0.23	0.30
10	Caudal 4	0.0086	0.037	0.158		0.163	0.00064	0.32	0.027	0.23	0.29
10	Caudal 5	0.0108	0.037	0.189		0.195	0.00055	0.32	0.034	0.23	0.26
9.2	Caudal 1	0.0023	0.035	0.081		0.086	0.00172	0.32	0.007	0.15	0.48
9.2	Caudal 2	0.0039	0.035	0.101		0.109	0.00178	0.38	0.010	0.15	0.47
9.2	Caudal 3	0.0057	0.035	0.121		0.131	0.00188	0.43	0.013	0.15	0.46
9.2	Caudal 4	0.0086	0.035	0.150		0.162	0.00204	0.48	0.018	0.15	0.46
9.2	Caudal 5	0.0108	0.035	0.182		0.194	0.00174	0.48	0.023	0.15	0.40
8.99	Culvert										
6.8	Caudal 1	0.0023	0.031	0.059	0.057	0.074	0.00763	0.54	0.004	0.15	1.04
6.8	Caudal 2	0.0039	0.031	0.071	0.071	0.092	0.0073	0.63	0.006	0.15	1.01
6.8	Caudal 3	0.0057	0.031	0.083	0.083	0.109	0.00751	0.71	0.008	0.15	1.00
6.8	Caudal 4	0.0086	0.031	0.099	0.099	0.134	0.0081	0.82	0.010	0.15	1.00
6.8	Caudal 5	0.0108	0.031	0.111	0.111	0.150	0.00845	0.88	0.012	0.15	1.00
6	Caudal 1	0.0023	0.028	0.051	0.05	0.061	0.00577	0.45	0.005	0.23	0.95
6	Caudal 2	0.0039	0.028	0.063	0.063	0.076	0.00448	0.50	0.008	0.23	0.85
6	Caudal 3	0.0057	0.028	0.066	0.068	0.089	0.00729	0.66	0.009	0.23	1.09
6	Caudal 4	0.0086	0.028	0.076	0.081	0.109	0.00835	0.79	0.011	0.23	1.16
6	Caudal 5	0.0108	0.028	0.084	0.09	0.122	0.00865	0.86	0.013	0.23	1.17
5	Caudal 1	0.0023	0.025	0.043	0.043	0.053	0.00671	0.43	0.005	0.3	1.03
5	Caudal 2	0.0039	0.025	0.050	0.05	0.064	0.00643	0.52	0.008	0.3	1.04
5	Caudal 3	0.0057	0.025	0.059	0.062	0.075	0.0056	0.57	0.010	0.3	0.99
5	Caudal 4	0.0086	0.025	0.069	0.069	0.091	0.00565	0.66	0.013	0.3	1.00
5	Caudal 5	0.0108	0.025	0.073	0.076	0.102	0.00682	0.75	0.014	0.3	1.10

River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
4	Caudal 1	0.0023	0.021	0.037	0.039	0.049	0.01041	0.49	0.005	0.3	1.27
4	Caudal 2	0.0039	0.021	0.044	0.046	0.060	0.00896	0.57	0.007	0.3	1.22
4	Caudal 3	0.0057	0.021	0.057	0.058	0.071	0.00436	0.52	0.011	0.3	0.87
4	Caudal 4	0.0086	0.021	0.060	0.065	0.087	0.00779	0.73	0.012	0.3	1.17
4	Caudal 5	0.0108	0.021	0.072	0.072	0.097	0.00561	0.71	0.015	0.3	1.00
3	Caudal 1	0.0023	0.016	0.032	0.034	0.044	0.00939	0.48	0.005	0.3	1.21
3	Caudal 2	0.0039	0.016	0.045	0.042	0.055	0.00452	0.46	0.008	0.3	0.88
3	Caudal 3	0.0057	0.016	0.044	0.053	0.068	0.01064	0.70	0.008	0.3	1.35
3	Caudal 4	0.0086	0.016	0.059	0.06	0.082	0.00626	0.68	0.013	0.3	1.05
3	Caudal 5	0.0108	0.016	0.062	0.067	0.094	0.0077	0.78	0.014	0.3	1.17
2	Caudal 1	0.0023	0.012	0.028	0.03	0.040	0.00938	0.48	0.005	0.3	1.21
2	Caudal 2	0.0039	0.012	0.037	0.037	0.051	0.00643	0.52	0.008	0.3	1.04
2	Caudal 3	0.0057	0.012	0.042	0.049	0.063	0.00797	0.64	0.009	0.3	1.17
2	Caudal 4	0.0086	0.012	0.052	0.056	0.079	0.00779	0.73	0.012	0.3	1.17
2	Caudal 5	0.0108	0.012	0.061	0.063	0.089	0.0065	0.74	0.015	0.3	1.08
1	Caudal 1	0.0023	0	0.011	0.018	0.035	0.0302	0.69	0.003	0.3	2.08
1	Caudal 2	0.0039	0	0.018	0.025	0.045	0.02002	0.74	0.005	0.3	1.78
1	Caudal 3	0.0057	0	0.024	0.037	0.056	0.01598	0.79	0.007	0.3	1.64
1	Caudal 4	0.0086	0	0.031	0.044	0.075	0.01645	0.93	0.009	0.3	1.69
1	Caudal 5	0.0108	0	0.038	0.051	0.083	0.01319	0.94	0.012	0.3	1.52

Fuente: Elaboración propia

5.2.4. Alcantarilla tipo BOX con aleros de 30°

5.2.4.1. Modelación numérica de alcantarilla con aleros 30° para S=0.25°

En la figura N°84 se muestra, las secciones y geometría de la alcantarilla con aleros de 30°, la cual es aplicada también para las pendientes de S=0.5° y S=1°, que en adelante se estarán observando los resultados. Como se podrá ver, igualmente en esta parte del modelado numérico se dio forma a la geometría de los aleros tanto a la entrada y salida de la alcantarilla a través de la formación de secciones a mínimas distancias, con la finalidad de obtener la forma de los aleros, esta se efectuó a la falta de una aplicación en bloque de los aleros tal como se efectúa con la alcantarilla tipo BOX (sólido) y en la figura N°89 se observa la vista en tres dimensiones del tramo considerado del canal y la alcantarilla con aleros, el cual también es la misma vista para las siguientes pendientes S=0.5° y S=1°.

De la sección aguas arriba de la figura N°85 y de acuerdo a los resultados de la tabla N°106 se describirá la profundidad hidráulica y la energía para cada sección mostrada, para el caudal Q1=0.0023m³/s considerada como mínimo y caudal Q5=0.0108m³/s máximo, teniendo para Q1 un valor de Y=0.046m con E=0.048m, luego para Q5 un Y=0.153m con E=0.156m, con respecto a la alcantarilla con aleros de 12.5° para la pendiente S=0.25° los resultados no varían para ésta sección.

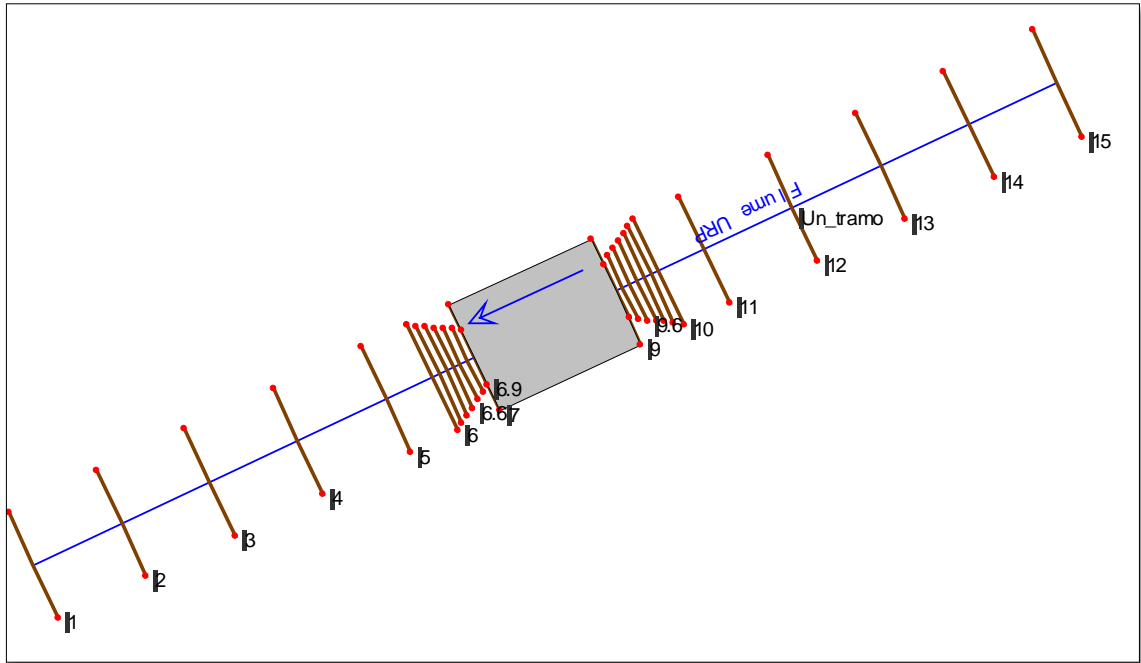


Figura N° 84: Vista en planta de la alcantarilla con aleros 30° S=0.25°
Fuente: Elaboración propia

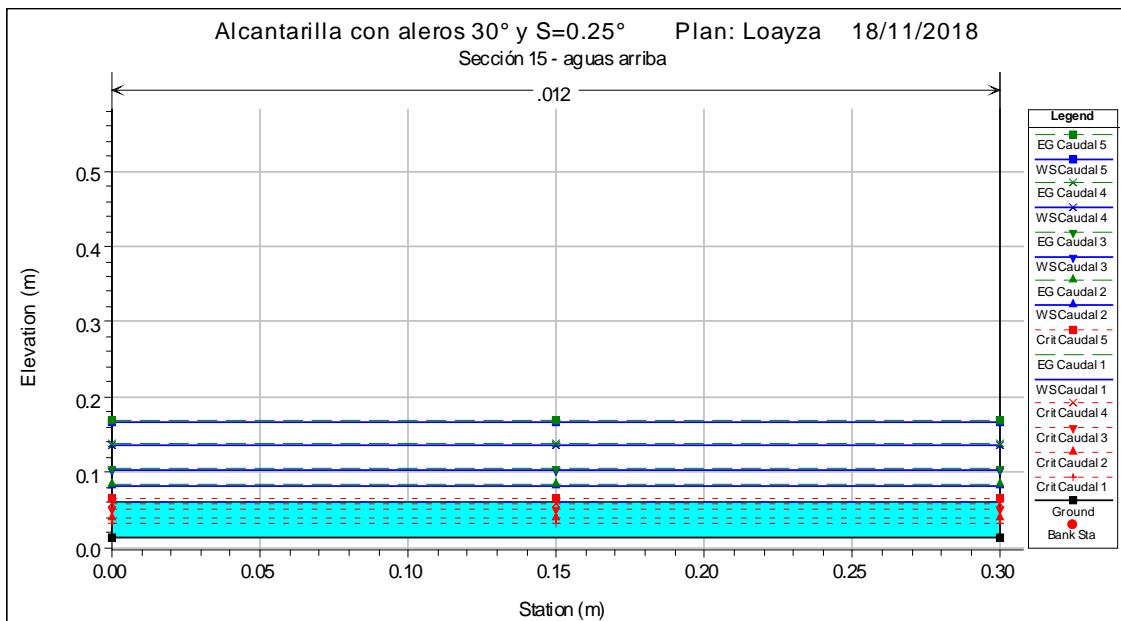


Figura N° 85: Sección aguas arriba de la alcantarilla con aleros 30° S=0.25°
Fuente: Elaboración propia

La figura N°86 que muestra el ingreso de flujo a la alcantarilla para Q1, el $Y=0.047m$ con $E=0.052m$ y para Q5 el valor del $Y=0.148m$ con una $E=0.160m$, resultan ser lo mismo para la alcantarilla con aleros de 12.5° $S=0.25^\circ$ con la mínima diferencia de 1mm en la energía para Q5, siendo esta mayor.

En la figura N°87 sección aguas abajo para Q1 el $Y=0.014\text{m}$ con $E=0.029\text{m}$, para Q5 se tiene $Y=0.034\text{m}$ con $E=0.092\text{m}$, los valores con respecto a la alcantarilla con aleros 12.5° $S=0.25$ para Q1 se mantiene con mínima diferencia, sin embargo para Q5 la profundidad en ésta presenta menor con diferencia de 1cm , en cambio la energía es mayor con diferencia de 1.4cm .

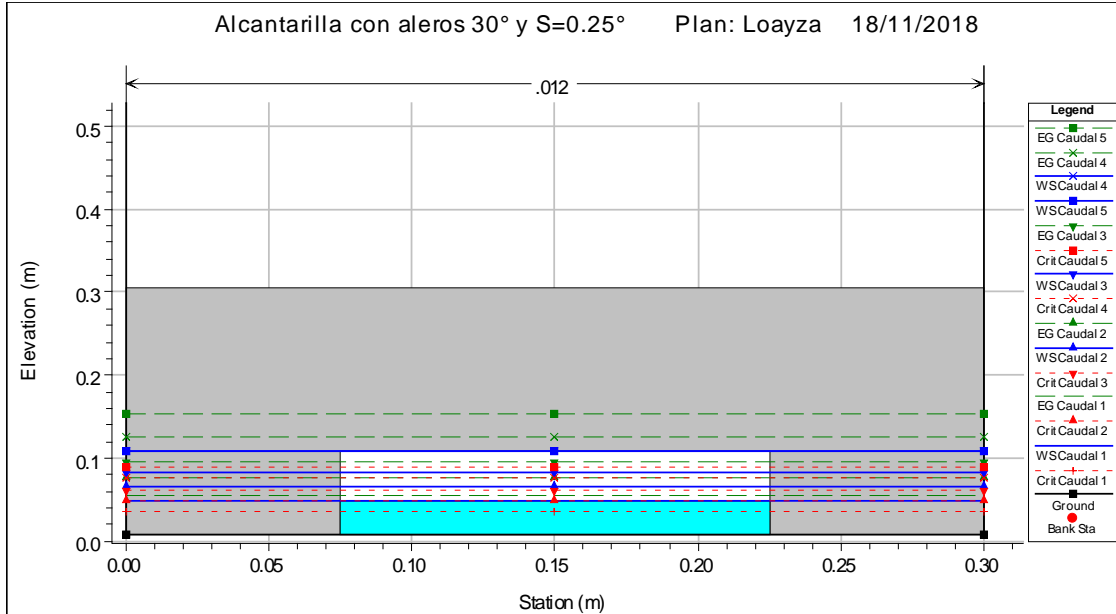


Figura N° 86: Vista frontal de la alcantarilla con aleros 30° $S=0.25^\circ$
 Fuente: Elaboración propia

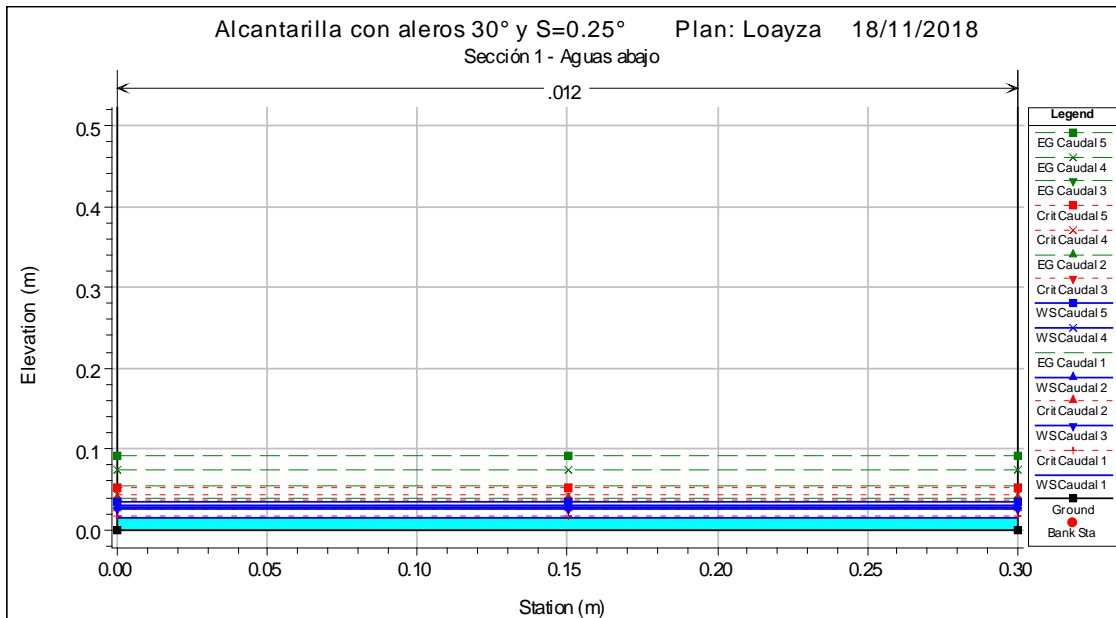


Figura N° 87: Sección aguas abajo de la alcantarilla con aleros 30° $S=0.25^\circ$
 Fuente: Elaboración propia

Y en la siguiente figura N°88, que muestra el perfil longitudinal del tramo experimentado con presencia de la alcantarilla con aleros de 30° , donde se observa un mejor panorama de los indicadores de la profundidad hidráulica (línea azul), crítica

(línea roja punteada) y su respectiva energía (línea verde entrecortada), que indican los diferentes caudales experimentados Q1,Q2,Q3,Q4 y Q5.

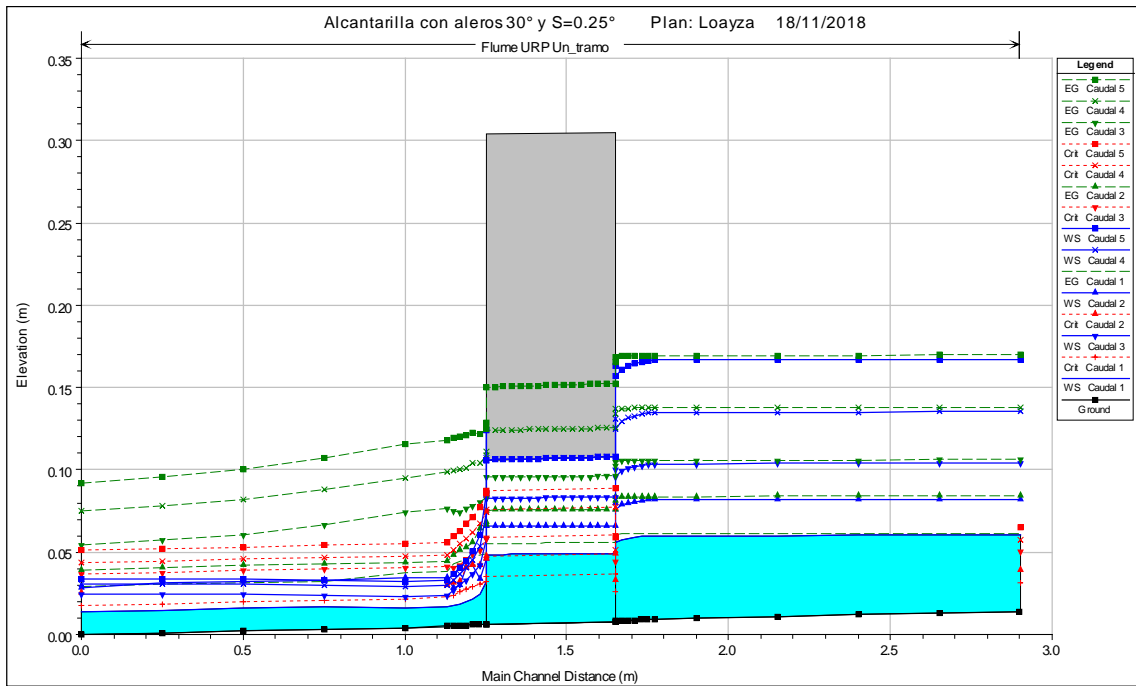


Figura N° 88: Vista de perfil de la alcantarilla con aleros 30° S=0.25°
Fuente: Elaboración propia

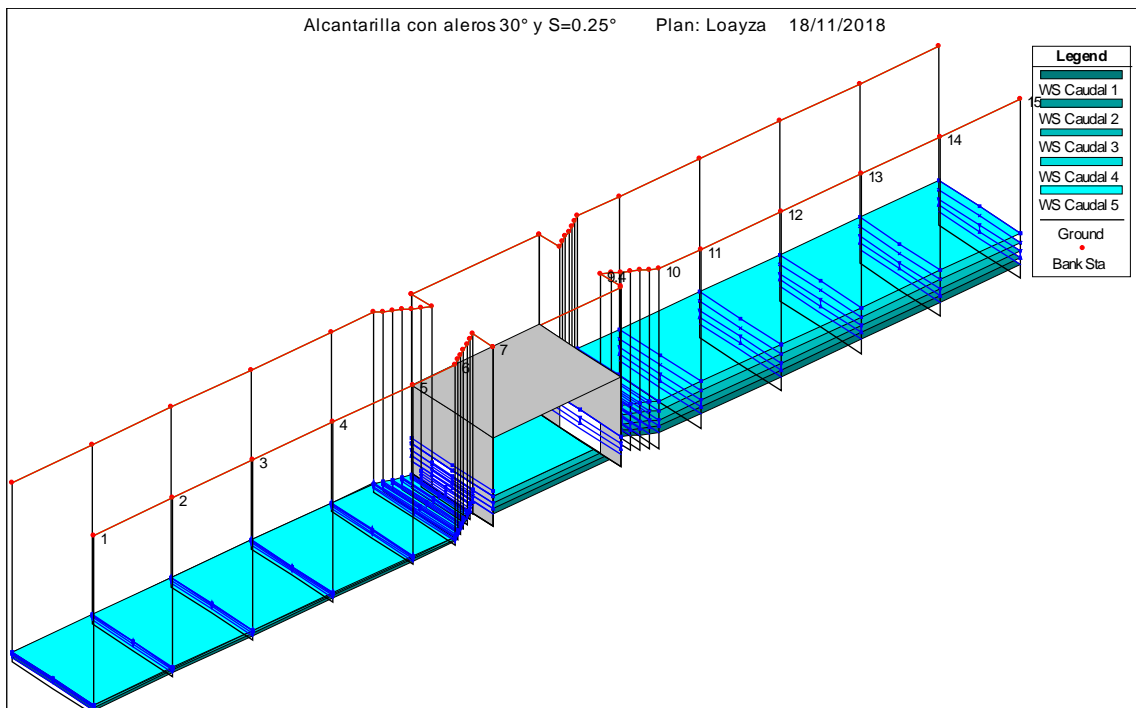


Figura N° 89: Vista en 3D de la alcantarilla con aleros 30° S=0.25°
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 106: Resultado numérico de alcantarilla con aleros 30° S=0.25° Q1-Q5

River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude #	Chl
15	Caudal 1	0.0023	0.014	0.060	0.031	0.062	0.00033	0.16	0.014	0.3		0.24
15	Caudal 2	0.0039	0.014	0.082	0.039	0.084	0.00030	0.19	0.021	0.3		0.23
15	Caudal 3	0.0057	0.014	0.104	0.05	0.106	0.00030	0.21	0.027	0.3		0.22
15	Caudal 4	0.0086	0.014	0.135	0.057	0.138	0.00029	0.24	0.036	0.3		0.22
15	Caudal 5	0.0108	0.014	0.167	0.065	0.170	0.00025	0.23	0.046	0.3		0.19
14	Caudal 1	0.0023	0.013	0.060		0.062	0.00032	0.16	0.014	0.3		0.24
14	Caudal 2	0.0039	0.013	0.082		0.084	0.00030	0.19	0.021	0.3		0.23
14	Caudal 3	0.0057	0.013	0.104		0.106	0.00029	0.21	0.027	0.3		0.22
14	Caudal 4	0.0086	0.013	0.135		0.138	0.00029	0.23	0.037	0.3		0.21
14	Caudal 5	0.0108	0.013	0.167		0.170	0.00025	0.23	0.046	0.3		0.19
13	Caudal 1	0.0023	0.012	0.060		0.061	0.00030	0.16	0.014	0.3		0.23
13	Caudal 2	0.0039	0.012	0.082		0.084	0.00028	0.18	0.021	0.3		0.22
13	Caudal 3	0.0057	0.012	0.104		0.106	0.00028	0.21	0.028	0.3		0.22
13	Caudal 4	0.0086	0.012	0.135		0.138	0.00028	0.23	0.037	0.3		0.21
13	Caudal 5	0.0108	0.012	0.167		0.170	0.00024	0.23	0.046	0.3		0.19
12	Caudal 1	0.0023	0.011	0.060		0.061	0.00028	0.16	0.015	0.3		0.22
12	Caudal 2	0.0039	0.011	0.082		0.084	0.00027	0.18	0.021	0.3		0.22
12	Caudal 3	0.0057	0.011	0.104		0.106	0.00027	0.20	0.028	0.3		0.21
12	Caudal 4	0.0086	0.011	0.135		0.138	0.00028	0.23	0.037	0.3		0.21
12	Caudal 5	0.0108	0.011	0.167		0.170	0.00024	0.23	0.047	0.3		0.19
11	Caudal 1	0.0023	0.01	0.060		0.061	0.00027	0.15	0.015	0.3		0.22
11	Caudal 2	0.0039	0.01	0.082		0.084	0.00026	0.18	0.022	0.3		0.21
11	Caudal 3	0.0057	0.01	0.104		0.106	0.00027	0.20	0.028	0.3		0.21
11	Caudal 4	0.0086	0.01	0.135		0.138	0.00027	0.23	0.037	0.3		0.21
11	Caudal 5	0.0108	0.01	0.167		0.169	0.00023	0.23	0.047	0.3		0.19
10	Caudal 1	0.0023	0.009	0.060		0.061	0.00026	0.15	0.015	0.3		0.21
10	Caudal 2	0.0039	0.009	0.082		0.084	0.00025	0.18	0.022	0.3		0.21
10	Caudal 3	0.0057	0.009	0.104		0.106	0.00026	0.20	0.028	0.3		0.21
10	Caudal 4	0.0086	0.009	0.135		0.138	0.00027	0.23	0.038	0.3		0.20
10	Caudal 5	0.0108	0.009	0.167		0.169	0.00023	0.23	0.047	0.3		0.18
9.4	Caudal 1	0.0023	0.009	0.056		0.061	0.00160	0.32	0.007	0.15		0.47
9.4	Caudal 2	0.0039	0.009	0.076		0.083	0.00170	0.37	0.01	0.15		0.46
9.4	Caudal 3	0.0057	0.009	0.096		0.105	0.00182	0.42	0.013	0.15		0.46
9.4	Caudal 4	0.0086	0.009	0.125		0.137	0.00198	0.48	0.018	0.15		0.45
9.4	Caudal 5	0.0108	0.009	0.157		0.169	0.00170	0.47	0.023	0.15		0.39
8	Culvert											
6.9	Caudal 1	0.0023	0.006	0.032	0.032	0.049	0.00869	0.57	0.004	0.15		1.11
6.9	Caudal 2	0.0039	0.006	0.046	0.046	0.066	0.00729	0.63	0.006	0.15		1.01
6.9	Caudal 3	0.0057	0.006	0.058	0.058	0.084	0.00750	0.71	0.008	0.15		1.00
6.9	Caudal 4	0.0086	0.006	0.074	0.074	0.108	0.00809	0.82	0.010	0.15		1.00
6.9	Caudal 5	0.0108	0.006	0.085	0.085	0.125	0.00844	0.88	0.012	0.15		1.00
6	Caudal 1	0.0023	0.005	0.017	0.023	0.038	0.02532	0.65	0.004	0.3		1.92
6	Caudal 2	0.0039	0.005	0.035	0.03	0.044	0.00382	0.44	0.009	0.3		0.81
6	Caudal 3	0.0057	0.005	0.024	0.041	0.076	0.03504	1.02	0.006	0.3		2.37
6	Caudal 4	0.0086	0.005	0.030	0.049	0.098	0.03325	1.16	0.007	0.3		2.37
6	Caudal 5	0.0108	0.005	0.033	0.056	0.118	0.03596	1.29	0.008	0.3		2.48
5	Caudal 1	0.0023	0.004	0.016	0.022	0.037	0.02532	0.65	0.004	0.3		1.92
5	Caudal 2	0.0039	0.004	0.034		0.044	0.00365	0.43	0.009	0.3		0.79
5	Caudal 3	0.0057	0.004	0.023	0.041	0.074	0.03328	1.00	0.006	0.3		2.32
5	Caudal 4	0.0086	0.004	0.029	0.048	0.095	0.03111	1.14	0.008	0.3		2.29
5	Caudal 5	0.0108	0.004	0.032	0.055	0.115	0.03447	1.28	0.008	0.3		2.43

River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude #	Chl
4	Caudal 1	0.0023	0.003	0.017	0.021	0.033	0.01488	0.55	0.004	0.3	1.50	
4	Caudal 2	0.0039	0.003	0.033		0.043	0.00365	0.43	0.009	0.3	0.79	
4	Caudal 3	0.0057	0.003	0.024	0.04	0.066	0.02481	0.91	0.006	0.3	2.02	
4	Caudal 4	0.0086	0.003	0.030	0.047	0.088	0.02524	1.07	0.008	0.3	2.07	
4	Caudal 5	0.0108	0.003	0.033	0.054	0.107	0.02879	1.21	0.009	0.3	2.23	
3	Caudal 1	0.0023	0.002	0.016	0.02	0.032	0.01488	0.55	0.004	0.3	1.50	
3	Caudal 2	0.0039	0.002	0.032		0.042	0.00365	0.43	0.009	0.3	0.79	
3	Caudal 3	0.0057	0.002	0.025	0.039	0.061	0.01892	0.84	0.007	0.3	1.77	
3	Caudal 4	0.0086	0.002	0.031	0.046	0.082	0.02075	1.00	0.009	0.3	1.89	
3	Caudal 5	0.0108	0.002	0.034	0.053	0.100	0.02430	1.14	0.009	0.3	2.05	
2	Caudal 1	0.0023	0.001	0.015	0.019	0.030	0.01488	0.55	0.004	0.3	1.50	
2	Caudal 2	0.0039	0.001	0.031		0.041	0.00352	0.43	0.009	0.3	0.78	
2	Caudal 3	0.0057	0.001	0.025	0.037	0.057	0.01649	0.80	0.007	0.3	1.66	
2	Caudal 4	0.0086	0.001	0.031	0.045	0.078	0.01860	0.97	0.009	0.3	1.79	
2	Caudal 5	0.0108	0.001	0.033	0.052	0.096	0.02205	1.11	0.01	0.3	1.96	
1	Caudal 1	0.0023	0	0.014	0.018	0.029	0.01488	0.55	0.004	0.3	1.50	
1	Caudal 2	0.0039	0	0.028	0.025	0.039	0.00436	0.46	0.009	0.3	0.87	
1	Caudal 3	0.0057	0	0.025	0.037	0.055	0.01424	0.76	0.007	0.3	1.55	
1	Caudal 4	0.0086	0	0.031	0.044	0.075	0.01657	0.93	0.009	0.3	1.69	
1	Caudal 5	0.0108	0	0.034	0.051	0.092	0.01992	1.07	0.01	0.3	1.86	

Fuente: Elaboración propia

5.2.4.2. Modelación numérica de alcantarilla con aleros 30° para S=0.5°

La figura N°90 que muestra la sección aguas arriba ubicada a una distancia de 1.13m a partir de la arista de los aleros de la alcantarilla en la que se describirá la profundidad hidráulica y la energía, como es para Q1 de acuerdo a la deducción de los resultados de la tabla N°107 se tiene un Y=0.041m con una E=0.043m, para Q5 se tiene Y=0.148m con E=0.151m, resultados que, con respecto a lo modelado con aleros de 12.5° con S=0.5° son menores, con la mínima diferencia de 1mm en todos sus valores descritos.

Así también en la figura N°91 en la que se muestra la sección del ingreso de flujo de la alcantarilla, para Q1 se cuenta con Y=0.046m con una E=0.051m y para Q5 el valor de Y=0.147m con E=0.158m, teniendo los resultados con respecto a la alcantarilla de aleros 12.5° para S=0.5°, los valores son menores con una diferencia de 2 a 3mm.

En la figura N°92, sección aguas abajo, ubicado también a una distancia de 1.13m a partir de la arista de los aleros se obtiene para Q1 un Y=0.015m con E=0.028m y para Q5 un Y=0.035m con E=0.089m, en la que los resultados con respecto a la alcantarilla con aleros 12.5° S=0.5° tiene diferencia en el tirante y energía para Q5, siendo menor Y con diferencia de 9mm, pero la energía es mayor con 1cm de diferencia.

Por lo que hasta este punto de acuerdo a los resultados descritos con las figuras y la tabla de resultado se estaría llegando a una definición de que la alcantarilla con aleros de 12.5° tendría mejor comportamiento hidráulico.

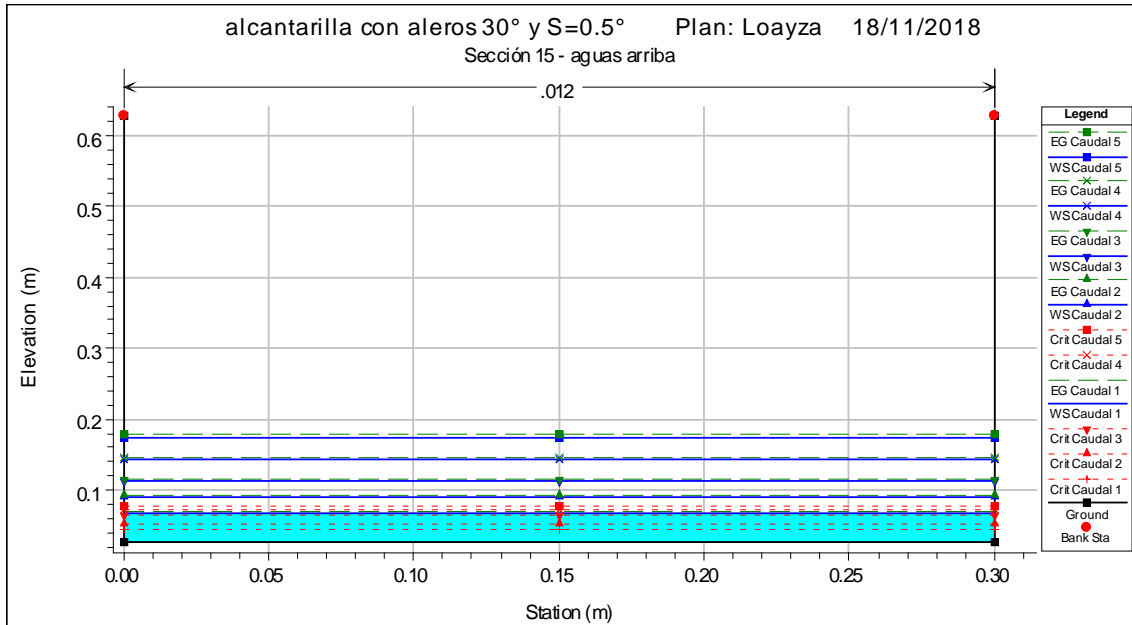


Figura N° 90: Sección aguas arriba de la alcantarilla con aleros 30° $S=0.5^\circ$
Fuente: Elaboración propia

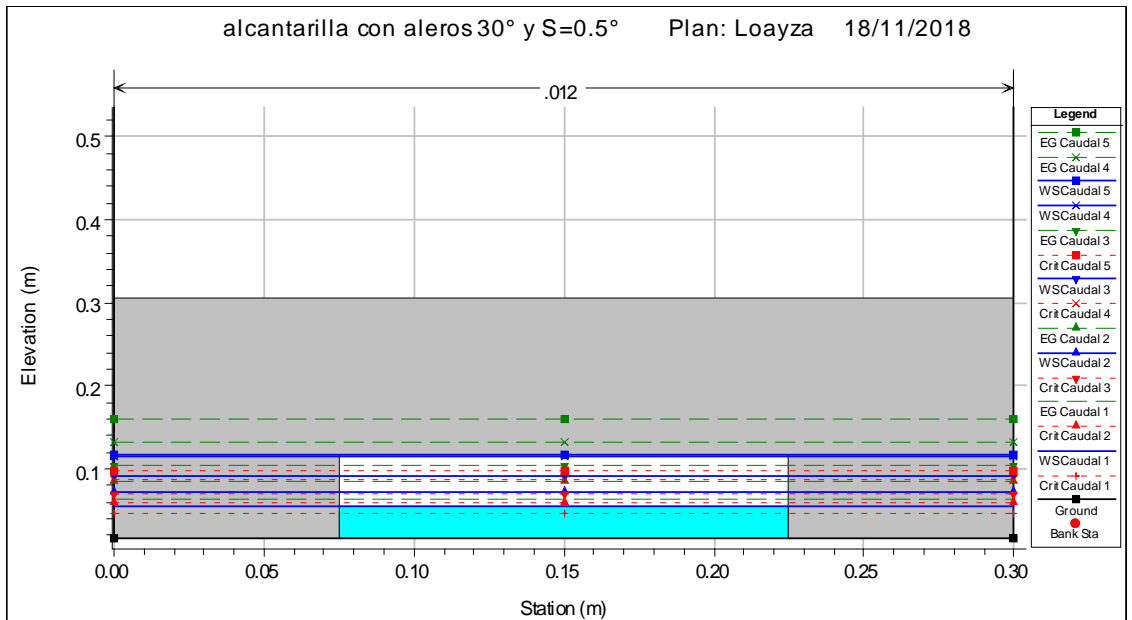


Figura N° 91: Vista frontal de la alcantarilla con aleros 30° $S=0.5^\circ$
Fuente: Elaboración propia

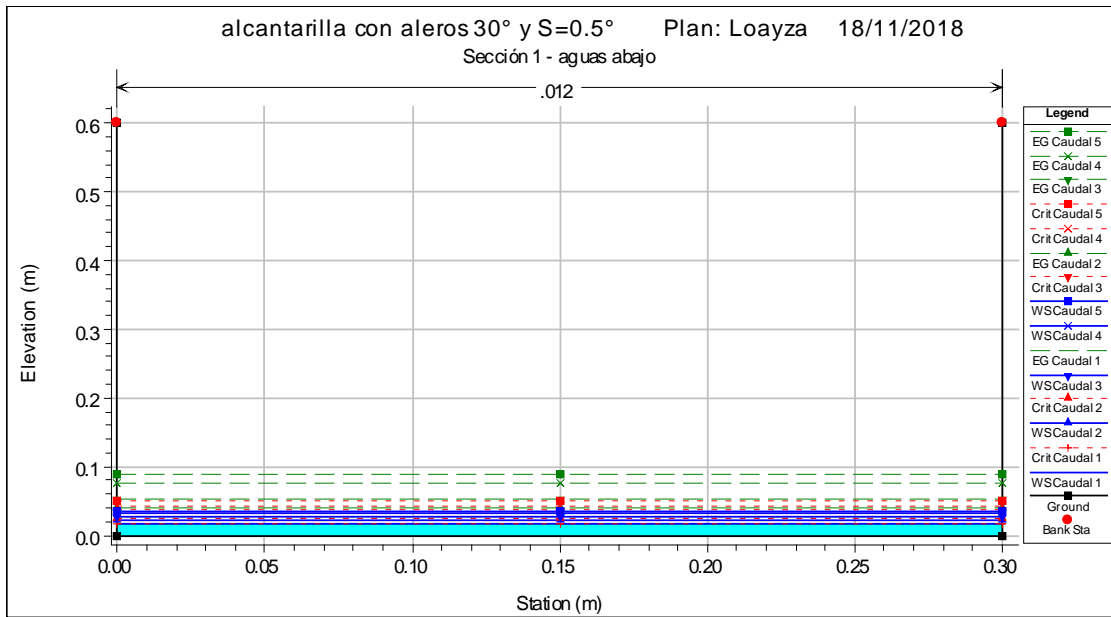


Figura N° 92: Sección aguas abajo de la alcantarilla con aleros 30° S=0.5°
 Fuente: Elaboración propia

Y la figura N°93 muestra el perfil longitudinal de la alcantarilla con aleros de 30°, donde se observa las diferentes líneas de flujo, que son los indicadores del comportamiento del flujo en cada sección y tramo del canal, los aleros y la alcantarilla, lo que se puede apreciar es la forma de ingreso y salida del fluido en el conducto.

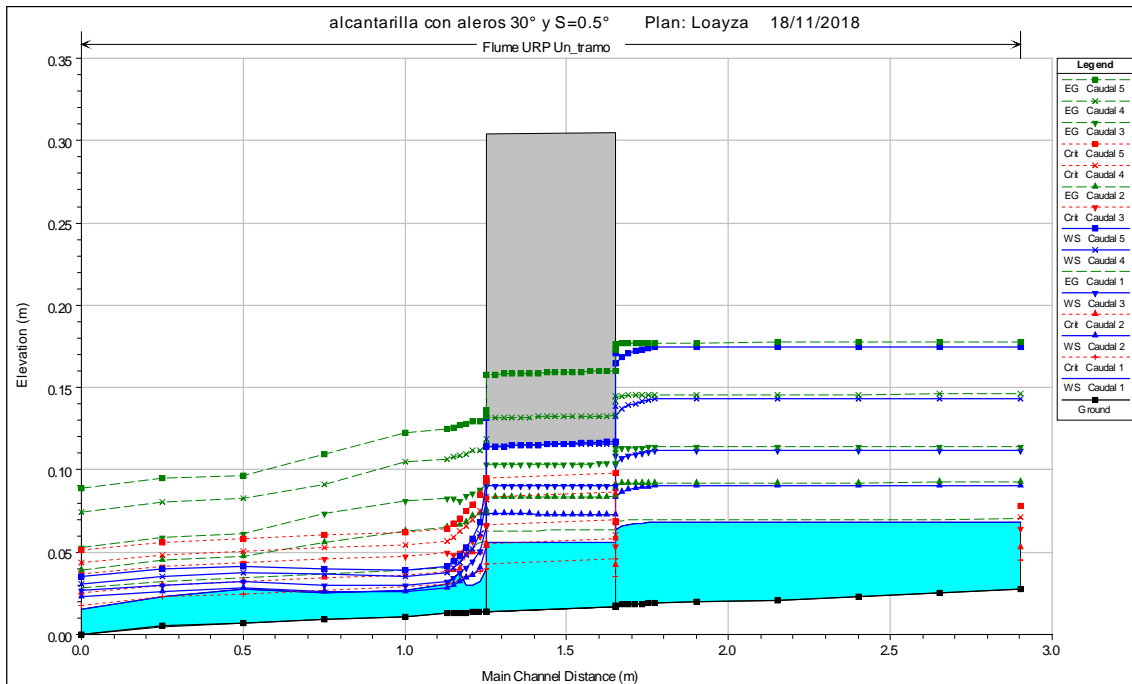


Figura N° 93: Vista de perfil de la alcantarilla con aleros 30° S=0.5°
 Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 107: Resultado numérico de alcantarilla con aleros 30° S=0.5° Q1-Q2

River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude #	Chl
15	Caudal 1	0.0023	0.027	0.068	0.045	0.07	0.0005	0.19	0.012	0.3		0.3
15	Caudal 2	0.0039	0.027	0.09	0.053	0.092	0.00039	0.21	0.019	0.3		0.26
15	Caudal 3	0.0057	0.027	0.112	0.064	0.114	0.00036	0.23	0.025	0.3		0.25
15	Caudal 4	0.0086	0.027	0.143	0.071	0.146	0.00034	0.25	0.035	0.3		0.23
15	Caudal 5	0.0108	0.027	0.175	0.078	0.178	0.00028	0.24	0.044	0.3		0.2
14	Caudal 1	0.0023	0.025	0.068		0.07	0.00042	0.18	0.013	0.3		0.27
14	Caudal 2	0.0039	0.025	0.09		0.092	0.00035	0.2	0.02	0.3		0.25
14	Caudal 3	0.0057	0.025	0.112		0.114	0.00033	0.22	0.026	0.3		0.24
14	Caudal 4	0.0086	0.025	0.143		0.146	0.00032	0.24	0.035	0.3		0.23
14	Caudal 5	0.0108	0.025	0.175		0.177	0.00026	0.24	0.045	0.3		0.2
13	Caudal 1	0.0023	0.023	0.068		0.07	0.00036	0.17	0.014	0.3		0.25
13	Caudal 2	0.0039	0.023	0.09		0.092	0.00032	0.19	0.02	0.3		0.24
13	Caudal 3	0.0057	0.023	0.112		0.114	0.00031	0.21	0.027	0.3		0.23
13	Caudal 4	0.0086	0.023	0.143		0.146	0.0003	0.24	0.036	0.3		0.22
13	Caudal 5	0.0108	0.023	0.175		0.177	0.00025	0.24	0.045	0.3		0.19
12	Caudal 1	0.0023	0.021	0.068		0.07	0.00032	0.16	0.014	0.3		0.24
12	Caudal 2	0.0039	0.021	0.09		0.092	0.0003	0.19	0.021	0.3		0.23
12	Caudal 3	0.0057	0.021	0.112		0.114	0.00029	0.21	0.027	0.3		0.22
12	Caudal 4	0.0086	0.021	0.143		0.146	0.00029	0.24	0.037	0.3		0.22
12	Caudal 5	0.0108	0.021	0.175		0.177	0.00025	0.23	0.046	0.3		0.19
11	Caudal 1	0.0023	0.02	0.068		0.07	0.0003	0.16	0.014	0.3		0.23
11	Caudal 2	0.0039	0.02	0.09		0.092	0.00029	0.19	0.021	0.3		0.22
11	Caudal 3	0.0057	0.02	0.112		0.114	0.00028	0.21	0.027	0.3		0.22
11	Caudal 4	0.0086	0.02	0.143		0.146	0.00029	0.23	0.037	0.3		0.21
11	Caudal 5	0.0108	0.02	0.174		0.177	0.00024	0.23	0.046	0.3		0.19
10	Caudal 1	0.0023	0.019	0.068		0.069	0.00028	0.16	0.015	0.3		0.22
10	Caudal 2	0.0039	0.019	0.09		0.092	0.00027	0.18	0.021	0.3		0.22
10	Caudal 3	0.0057	0.019	0.112		0.114	0.00027	0.2	0.028	0.3		0.21
10	Caudal 4	0.0086	0.019	0.143		0.146	0.00028	0.23	0.037	0.3		0.21
10	Caudal 5	0.0108	0.019	0.174		0.177	0.00024	0.23	0.047	0.3		0.19
9.4	Caudal 1	0.0023	0.018	0.064		0.069	0.00176	0.33	0.007	0.15		0.49
9.4	Caudal 2	0.0039	0.018	0.084		0.091	0.00183	0.38	0.01	0.15		0.48
9.4	Caudal 3	0.0057	0.018	0.104		0.113	0.00193	0.43	0.013	0.15		0.47
9.4	Caudal 4	0.0086	0.018	0.133		0.145	0.00206	0.49	0.018	0.15		0.46
9.4	Caudal 5	0.0108	0.018	0.165		0.176	0.00176	0.48	0.023	0.15		0.4
8	Culvert											
6.9	Caudal 1	0.0023	0.014	0.04	0.04	0.056	0.00868	0.57	0.004	0.15		1.11
6.9	Caudal 2	0.0039	0.014	0.054	0.054	0.074	0.0073	0.63	0.006	0.15		1.01
6.9	Caudal 3	0.0057	0.014	0.066	0.066	0.091	0.0075	0.71	0.008	0.15		1
6.9	Caudal 4	0.0086	0.014	0.082	0.082	0.116	0.00809	0.82	0.01	0.15		1
6.9	Caudal 5	0.0108	0.014	0.093	0.093	0.133	0.00844	0.88	0.012	0.15		1
6	Caudal 1	0.0023	0.013	0.031	0.031	0.04	0.0067	0.43	0.005	0.3		1.03
6	Caudal 2	0.0039	0.013	0.029	0.038	0.065	0.03048	0.84	0.005	0.3		2.17
6	Caudal 3	0.0057	0.013	0.032	0.05	0.083	0.03319	1	0.006	0.3		2.31
6	Caudal 4	0.0086	0.013	0.038	0.057	0.107	0.03333	1.16	0.007	0.3		2.37
6	Caudal 5	0.0108	0.013	0.041	0.064	0.125	0.03489	1.28	0.008	0.3		2.44
5	Caudal 1	0.0023	0.011	0.027	0.029	0.039	0.00939	0.48	0.005	0.3		1.21
5	Caudal 2	0.0039	0.011	0.026	0.036	0.063	0.03048	0.84	0.005	0.3		2.17
5	Caudal 3	0.0057	0.011	0.03	0.048	0.081	0.03319	1	0.006	0.3		2.31
5	Caudal 4	0.0086	0.011	0.036	0.055	0.105	0.03333	1.16	0.007	0.3		2.37
5	Caudal 5	0.0108	0.011	0.039	0.062	0.123	0.03489	1.28	0.008	0.3		2.44

River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude #	Chl
4	Caudal 1	0.0023	0.009	0.025	0.027	0.037	0.00939	0.48	0.005	0.3	1.21	
4	Caudal 2	0.0039	0.009	0.026	0.034	0.056	0.02206	0.76	0.005	0.3	1.87	
4	Caudal 3	0.0057	0.009	0.03	0.046	0.073	0.02578	0.92	0.006	0.3	2.05	
4	Caudal 4	0.0086	0.009	0.037	0.053	0.091	0.02293	1.03	0.008	0.3	1.98	
4	Caudal 5	0.0108	0.009	0.04	0.06	0.109	0.02579	1.16	0.009	0.3	2.11	
3	Caudal 1	0.0023	0.007	0.028	0.025	0.035	0.00409	0.37	0.006	0.3	0.82	
3	Caudal 2	0.0039	0.007	0.028	0.032	0.047	0.01119	0.62	0.006	0.3	1.36	
3	Caudal 3	0.0057	0.007	0.032	0.044	0.061	0.0139	0.76	0.008	0.3	1.53	
3	Caudal 4	0.0086	0.007	0.037	0.051	0.083	0.01725	0.94	0.009	0.3	1.73	
3	Caudal 5	0.0108	0.007	0.042	0.058	0.097	0.01819	1.04	0.01	0.3	1.78	
2	Caudal 1	0.0023	0.005	0.023	0.023	0.032	0.0067	0.43	0.005	0.3	1.03	
2	Caudal 2	0.0039	0.005	0.026	0.03	0.045	0.01119	0.62	0.006	0.3	1.36	
2	Caudal 3	0.0057	0.005	0.03	0.041	0.059	0.0139	0.76	0.008	0.3	1.53	
2	Caudal 4	0.0086	0.005	0.035	0.049	0.081	0.01725	0.94	0.009	0.3	1.73	
2	Caudal 5	0.0108	0.005	0.04	0.056	0.095	0.01819	1.04	0.01	0.3	1.78	
1	Caudal 1	0.0023	0	0.015	0.018	0.028	0.01041	0.49	0.005	0.3	1.27	
1	Caudal 2	0.0039	0	0.023	0.025	0.039	0.00831	0.56	0.007	0.3	1.18	
1	Caudal 3	0.0057	0	0.026	0.037	0.053	0.01171	0.72	0.008	0.3	1.41	
1	Caudal 4	0.0086	0	0.031	0.044	0.075	0.01629	0.93	0.009	0.3	1.68	
1	Caudal 5	0.0108	0	0.035	0.051	0.089	0.01767	1.03	0.01	0.3	1.76	

Fuente: Elaboración propia

5.2.4.3. Modelación numérica de alcantarilla con aleros 30° para S=1°

De acuerdo a los resultados de la tabla N°108 y las figuras como la figura N°94, en la que se muestra la sección aguas arriba de la alcantarilla, donde para Q1 presenta un Y=0.031m con E=0.034m y para Q5 se tiene Y=0.136m con E=0.140m y con respecto a los resultados de la alcantarilla con aleros de 12.5° S=1° es menor con la mínima diferencia de 1mm que prácticamente es imperceptible.

Así también en la figura N°95 se observa la sección de la alcantarilla con aleros de 30° en la que para un caudal Q1 se cuenta con Y=0.044m con E=0.050m y para Q5 el valor de Y=0.144m con E=0.156m y en comparación con los resultados de la alcantarilla con aleros 12.5° S=1° se tiene que los valores en esta sección son menores con diferencia de 2 a 3mm y para la figura N°96 sección aguas abajo con Q1 se obtiene Y=0.010m con E=0.039m y para Q5 se tiene un Y=0.030m con una E=0.103m, lo que con respecto también al modelado de la alcantarilla con aleros de 12.5° para una pendiente de S=1° los tirantes resultan ser menores, en cambio con la energía ocurre lo contrario, para ésta alcantarilla con la pendiente dada resulta mayor con diferencia de 0.4 a 2cm.

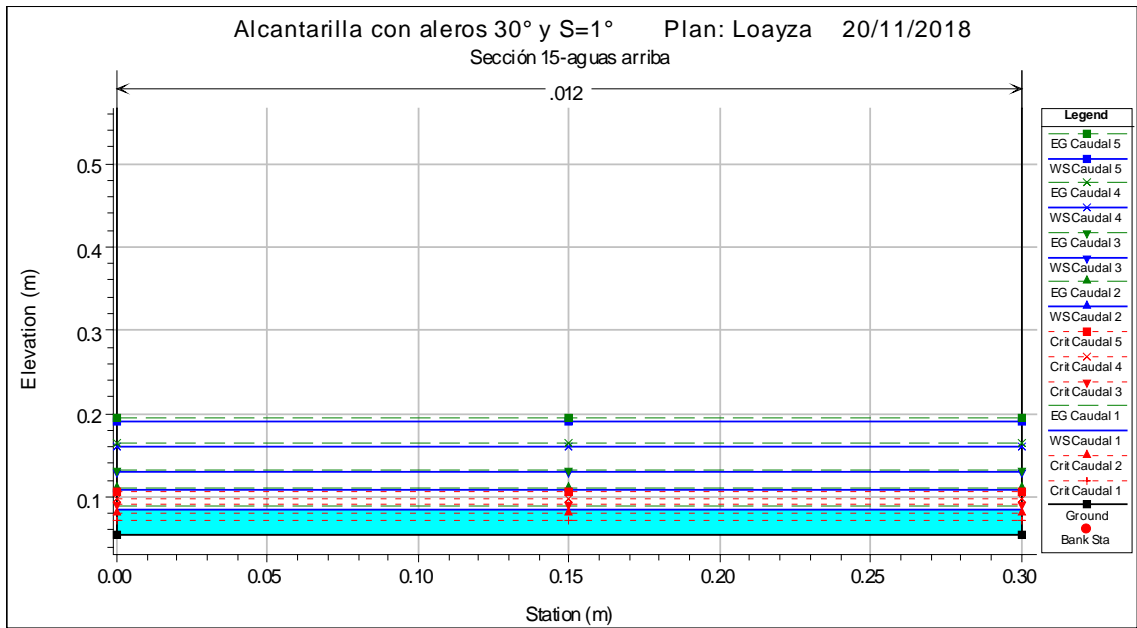


Figura N° 94: Sección aguas arriba de alcantarilla con aleros 30° S=1°
Fuente: Elaboración propia

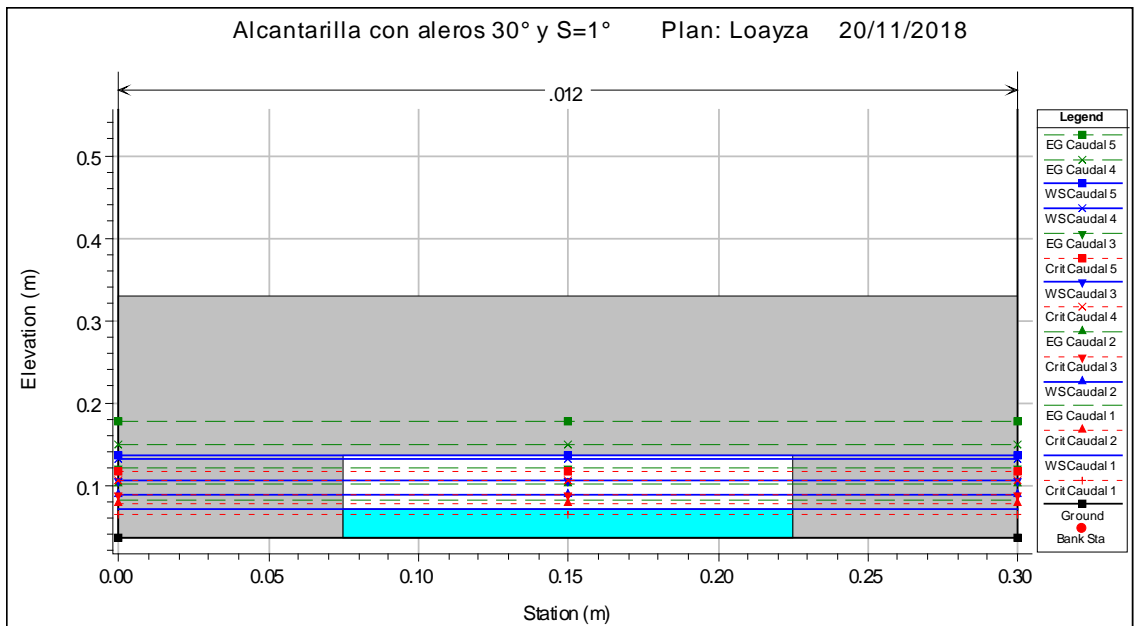


Figura N° 95: Vista frontal de alcantarilla con aleros 30° S=1°
Fuente: Elaboración propia

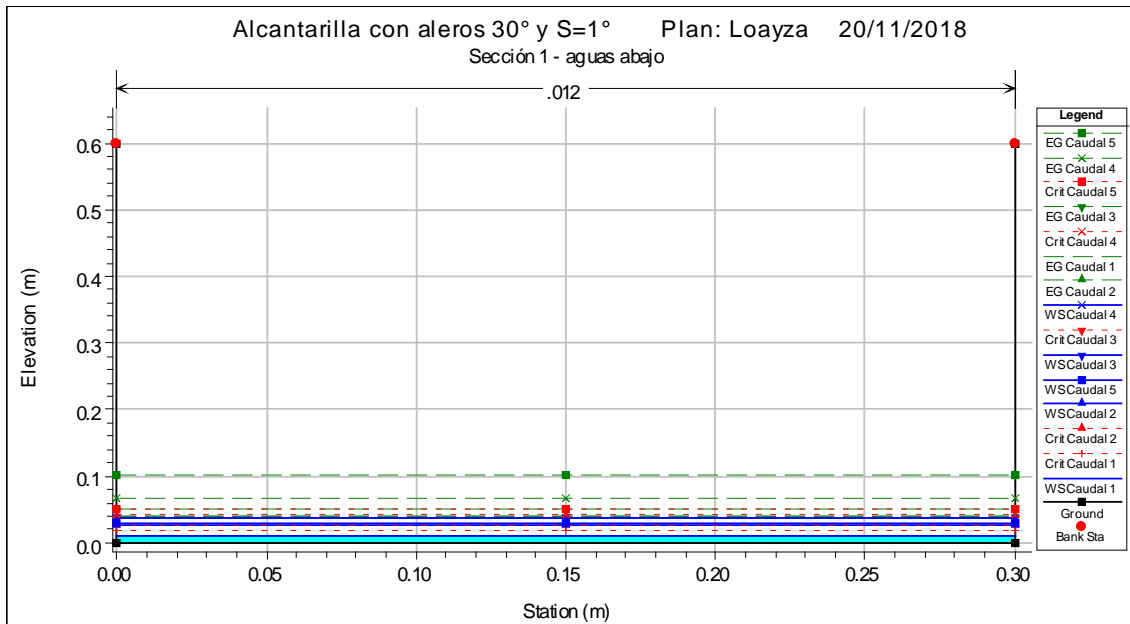


Figura N° 96: Sección aguas abajo de alcantarilla con aleros 30° S=1°
Fuente: Elaboración propia

En la figura N°97 perfil longitudinal de la alcantarilla con aleros de 30° muestra el recorrido del fluido y como se pueden observar, los caudales Q4 y Q5 fluyen al ras del techo del barril de la estructura alcantarilla, formando dentro pequeñas ondas.

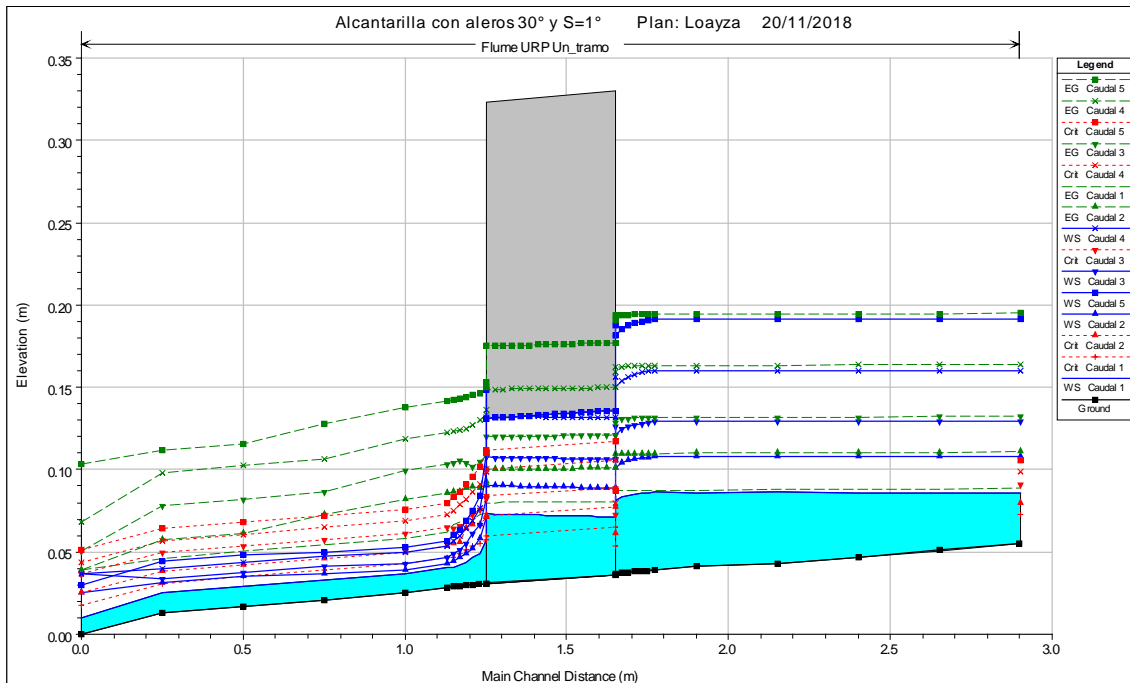


Figura N° 97: Vista de perfil de alcantarilla con aleros 30° S=1°
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 108: Resultado numérico de alcantarilla con aleros 30° S=1° Q1-Q5

River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude #	Chl
15	Caudal 1	0.0023	0.055	0.086	0.073	0.089	0.00119	0.25	0.009	0.3		0.45
15	Caudal 2	0.0039	0.055	0.108	0.080	0.111	0.00066	0.25	0.016	0.3		0.34
15	Caudal 3	0.0057	0.055	0.129	0.091	0.132	0.00052	0.26	0.022	0.3		0.30
15	Caudal 4	0.0086	0.055	0.160	0.099	0.164	0.00044	0.27	0.032	0.3		0.27
15	Caudal 5	0.0108	0.055	0.191	0.106	0.195	0.00034	0.26	0.041	0.3		0.23
14	Caudal 1	0.0023	0.051	0.086		0.088	0.00080	0.22	0.010	0.3		0.37
14	Caudal 2	0.0039	0.051	0.108		0.110	0.00053	0.23	0.017	0.3		0.31
14	Caudal 3	0.0057	0.051	0.129		0.132	0.00044	0.24	0.023	0.3		0.28
14	Caudal 4	0.0086	0.051	0.160		0.164	0.00039	0.26	0.033	0.3		0.25
14	Caudal 5	0.0108	0.051	0.191		0.195	0.00031	0.26	0.042	0.3		0.22
13	Caudal 1	0.0023	0.047	0.086		0.088	0.00057	0.20	0.012	0.3		0.32
13	Caudal 2	0.0039	0.047	0.108		0.110	0.00043	0.21	0.018	0.3		0.28
13	Caudal 3	0.0057	0.047	0.129		0.132	0.00038	0.23	0.025	0.3		0.26
13	Caudal 4	0.0086	0.047	0.160		0.164	0.00036	0.25	0.034	0.3		0.24
13	Caudal 5	0.0108	0.047	0.191		0.195	0.00029	0.25	0.043	0.3		0.21
12	Caudal 1	0.0023	0.043	0.086		0.088	0.00042	0.18	0.013	0.3		0.27
12	Caudal 2	0.0039	0.043	0.108		0.110	0.00036	0.20	0.019	0.3		0.25
12	Caudal 3	0.0057	0.043	0.129		0.132	0.00034	0.22	0.026	0.3		0.24
12	Caudal 4	0.0086	0.043	0.160		0.163	0.00032	0.24	0.035	0.3		0.23
12	Caudal 5	0.0108	0.043	0.192		0.195	0.00027	0.24	0.045	0.3		0.20
11	Caudal 1	0.0023	0.041	0.086		0.088	0.00037	0.17	0.013	0.3		0.26
11	Caudal 2	0.0039	0.041	0.108		0.110	0.00033	0.19	0.020	0.3		0.24
11	Caudal 3	0.0057	0.041	0.129		0.132	0.00032	0.22	0.026	0.3		0.23
11	Caudal 4	0.0086	0.041	0.160		0.163	0.00031	0.24	0.036	0.3		0.22
11	Caudal 5	0.0108	0.041	0.192		0.194	0.00026	0.24	0.045	0.3		0.20
10	Caudal 1	0.0023	0.039	0.086		0.088	0.00032	0.16	0.014	0.3		0.24
10	Caudal 2	0.0039	0.039	0.108		0.110	0.00030	0.19	0.021	0.3		0.23
10	Caudal 3	0.0057	0.039	0.129		0.132	0.00029	0.21	0.027	0.3		0.22
10	Caudal 4	0.0086	0.039	0.160		0.163	0.00029	0.24	0.036	0.3		0.22
10	Caudal 5	0.0108	0.039	0.192		0.194	0.00025	0.24	0.046	0.3		0.19
9.4	Caudal 1	0.0023	0.037	0.081		0.087	0.00189	0.34	0.007	0.15		0.51
9.4	Caudal 2	0.0039	0.037	0.101		0.109	0.00193	0.39	0.010	0.15		0.49
9.4	Caudal 3	0.0057	0.037	0.121		0.131	0.00202	0.44	0.013	0.15		0.48
9.4	Caudal 4	0.0086	0.037	0.150		0.162	0.00214	0.49	0.017	0.15		0.47
9.4	Caudal 5	0.0108	0.037	0.181		0.193	0.00182	0.48	0.022	0.15		0.41
8	Culvert											
6.9	Caudal 1	0.0023	0.031	0.057	0.057	0.073	0.00869	0.57	0.004	0.15		1.11
6.9	Caudal 2	0.0039	0.031	0.071	0.071	0.091	0.00730	0.63	0.006	0.15		1.01
6.9	Caudal 3	0.0057	0.031	0.083	0.083	0.109	0.00750	0.71	0.008	0.15		1.00
6.9	Caudal 4	0.0086	0.031	0.099	0.099	0.133	0.00809	0.82	0.010	0.15		1.00
6.9	Caudal 5	0.0108	0.031	0.110	0.110	0.150	0.00844	0.88	0.012	0.15		1.00
6	Caudal 1	0.0023	0.029	0.040	0.046	0.062	0.02531	0.65	0.004	0.3		1.92
6	Caudal 2	0.0039	0.029	0.043	0.054	0.086	0.03959	0.92	0.004	0.3		2.45
6	Caudal 3	0.0057	0.029	0.047	0.065	0.103	0.03935	1.05	0.005	0.3		2.51
6	Caudal 4	0.0086	0.029	0.053	0.072	0.122	0.03325	1.16	0.007	0.3		2.37
6	Caudal 5	0.0108	0.029	0.057	0.080	0.141	0.03546	1.29	0.008	0.3		2.46
5	Caudal 1	0.0023	0.025	0.037	0.043	0.058	0.02461	0.65	0.004	0.3		1.89
5	Caudal 2	0.0039	0.025	0.039	0.050	0.082	0.03959	0.92	0.004	0.3		2.45
5	Caudal 3	0.0057	0.025	0.043	0.062	0.100	0.03935	1.05	0.005	0.3		2.51
5	Caudal 4	0.0086	0.025	0.050	0.069	0.119	0.03325	1.16	0.007	0.3		2.37
5	Caudal 5	0.0108	0.025	0.053	0.076	0.138	0.03546	1.29	0.008	0.3		2.46

River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude #	Chl
4	Caudal 1	0.0023	0.021	0.033	0.039	0.054	0.02461	0.65	0.004	0.3	1.89	
4	Caudal 2	0.0039	0.021	0.036	0.046	0.073	0.03062	0.85	0.005	0.3	2.18	
4	Caudal 3	0.0057	0.021	0.041	0.058	0.086	0.02719	0.94	0.006	0.3	2.11	
4	Caudal 4	0.0086	0.021	0.048	0.065	0.106	0.02563	1.07	0.008	0.3	2.09	
4	Caudal 5	0.0108	0.021	0.050	0.072	0.128	0.03117	1.24	0.009	0.3	2.32	
3	Caudal 1	0.0023	0.017	0.029	0.035	0.050	0.02461	0.65	0.004	0.3	1.89	
3	Caudal 2	0.0039	0.017	0.035	0.042	0.061	0.01751	0.71	0.005	0.3	1.67	
3	Caudal 3	0.0057	0.017	0.037	0.054	0.082	0.02719	0.94	0.006	0.3	2.11	
3	Caudal 4	0.0086	0.017	0.044	0.061	0.102	0.02563	1.07	0.008	0.3	2.09	
3	Caudal 5	0.0108	0.017	0.048	0.068	0.116	0.02495	1.15	0.009	0.3	2.08	
2	Caudal 1	0.0023	0.013	0.025	0.031	0.046	0.02461	0.65	0.004	0.3	1.89	
2	Caudal 2	0.0039	0.013	0.031	0.038	0.057	0.01751	0.71	0.005	0.3	1.67	
2	Caudal 3	0.0057	0.013	0.033	0.050	0.078	0.02719	0.94	0.006	0.3	2.11	
2	Caudal 4	0.0086	0.013	0.040	0.057	0.098	0.02563	1.07	0.008	0.3	2.09	
2	Caudal 5	0.0108	0.013	0.044	0.064	0.112	0.02495	1.15	0.009	0.3	2.08	
1	Caudal 1	0.0023	0	0.010	0.018	0.039	0.04050	0.75	0.003	0.3	2.39	
1	Caudal 2	0.0039	0	0.025	0.025	0.039	0.00643	0.52	0.008	0.3	1.04	
1	Caudal 3	0.0057	0	0.037	0.037	0.050	0.00429	0.52	0.011	0.3	0.87	
1	Caudal 4	0.0086	0	0.037	0.044	0.068	0.00961	0.78	0.011	0.3	1.30	
1	Caudal 5	0.0108	0	0.030	0.051	0.103	0.02806	1.20	0.009	0.3	2.20	

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

6.1. Del experimento en modelo físico

1. Al realizar los experimentos, para la alcantarilla sin aleros con pendiente de $S=1^\circ$ aplicando el caudal máximo $Q_5=0.0108\text{m}^3/\text{s}$, el ingreso se mostró sumergido, por lo que se realizó el análisis de acuerdo al ítem 4.5.1.1 entrada sumergida del capítulo IV, resultando $H_e=0.137\text{m} \geq H^* = 1.5D = 1.5*0.10= 0.15\text{m}$, es decir la corona se encontraba por debajo de la profundidad de agua, sin embargo a pesar de encontrarse por debajo, de acuerdo a H_e , ésta resulta menor, entonces la alcantarilla no presenta entrada sumergida.
2. En la figura N°47 Curva de Energía Específica, resultado del experimento de la alcantarilla sin aleros para una pendiente $S=0.25^\circ$, por la que se traza la línea de estado crítico interceptando las curvas de los diferentes caudales, indica que en dichos puntos para cada caudal representa la energía crítica o energía mínima, asimismo la profundidad crítica, definiendo estas que por encima de la línea la profundidad es mayor y por ende la velocidad resulta menor, por ello que el flujo en esa zona es denominado régimen subcrítico y por el contrario ocurre el régimen supercrítico, los valores de los puntos con las que se generaron las curvas se pueden apreciar en las tablas que se presentan en el capítulo V, ítem 5.1.4. para cada caudal desde Q_1 hasta Q_5 .
3. En las figuras N°47 al 55, al analizar los resultados obtenidos, el estado crítico de cada modelo experimentado con cada pendiente aplicado y para un caudal (Q) la energía mínima que requiere es el mismo para los tres modelos (alcantarilla sin aleros y con aleros), es decir; si para un caudal Q_1 la energía mínima es 0.0274m y la profundidad crítica es 0.018m , éstas se cumplen para los tres modelos de alcantarilla y los tres pendientes. Lo que significa que para un caudal dado se tiene una energía mínima y profundidad crítica determinado, no influye la pendiente y el modelo de la alcantarilla.
4. De acuerdo a los resultados mostrados en el capítulo V, ítem 5.1.4, con relación al Número de Froude para la alcantarilla sin aleros con pendiente $S=0.25^\circ$ el tipo

de régimen del flujo es subcrítico aguas arriba, hasta el ingreso de la alcantarilla, luego en parte de la alcantarilla a la salida y aguas abajo el flujo es supercrítico, la velocidad aumenta, en cambio para la pendiente $S=0.5^\circ$ es subcrítico hasta las salidas para caudales Q1 y Q2, luego para los demás caudales es subcrítico hasta la parte central de la alcantarilla y para la pendiente $S=1^\circ$ se comporta subcrítico hasta la parte central, luego supercrítico, cabe mencionar que para esta última pendiente a un metro aguas arriba de la alcantarilla se observó en el experimento la formación de remanso y oscilaciones a la entrada al aplicar un caudal Q4.

5. Para la alcantarilla con aleros de 12.5° en el ítem 5.1.5, ocurre un tipo de flujo subcrítico aguas arriba hasta el ingreso del flujo a la alcantarilla, luego hasta aguas abajo ocurre un flujo supercrítico, mencionando que para la pendiente de $S=1^\circ$ en el experimento se observó para todos los caudales la formación de micro saltos a 1m aguas arriba desde el inicio de los aleros, a la vez generando ondas de 1.5 a 2cm de altura especialmente en los caudales Q4 y Q5.
6. Y para la alcantarilla con aleros de 30° , ítem 5.1.6. ocurre similar a la alcantarilla con aleros de 12.5° , con la diferencia que para $S=1^\circ$ a partir del caudal Q1 el comportamiento del flujo es muy variado, como se refleja en los resultados, y también de lo observado en el experimento, describiendo que aguas arriba se generaron pequeños saltos y saltos, donde para un Q2 se generó a 1.15m, para Q3 a 1.40m formándose vacíos, para Q4 la formación de salto fue a 1.65m y para Q5 a 1.83m, a partir de los saltos hacia aguas arriba el flujo es supercrítico, del salto hasta la parte central de la alcantarilla presentó un régimen subcrítico y en adelante supercrítico, teniendo así variación de velocidades.

6.2. Del experimento en modelo numérico

1. Para la alcantarilla sin aleros $S=0.25^\circ$ en el ítem 5.2.2. muestra efectivamente, como se observó en el experimento físico para un caudal máximo Q5 el nivel de agua se encuentra por encima del ingreso, el cual se puede apreciar en la figura N°58 como también los resultados numéricos en la tabla N°100. Con la pendiente de $S=0.5^\circ$ ocurre similar a la pendiente $S=0.25^\circ$ y con la pendiente de

$S=1^\circ$ aumenta de nivel aguas arriba, siendo el régimen de flujo subcrítico y supercrítico aguas abajo presentándose en algunas secciones crítico.

2. En el caso de la alcantarilla con aleros de 12.5° para la pendiente $S=0.25^\circ$ hay una variación en aumento de 1.6 cm en promedio en la profundidad hidráulica y energía hacia la entrada con respecto a la alcantarilla sin aleros y, en la salida también aumenta con medio centímetro de diferencia. Para el caso de la pendiente $S=0.5^\circ$, ocurre una disminución de 4mm aguas arriba, el cual deba a la formación de micro saltos, sin embargo en la entrada aumenta ligeramente con 2mm y en la salida de acuerdo a la figura N°79 se observa la turbulencia que se origina y para la pendiente de $S=1^\circ$ hacia aguas arriba disminuye en 1cm y en la entrada de 2 a 3mm por tanto en aguas abajo también disminuye en 7 mm aproximadamente. Con relación al tipo de flujo presenta aguas arriba y dentro de la alcantarilla un régimen subcrítico y a la salida supercrítico, mencionando también en algunas secciones se muestra crítico.
3. Y para el caso de la alcantarilla con aleros de 30° , para $S=0.25^\circ$, los resultados se muestran similares a la alcantarilla con aleros de 12.5° para la misma pendiente, con la diferencia en la sección aguas abajo que disminuye en 1.4cm. Para la pendiente de $S=0.5^\circ$ resultan tanto aguas arriba, en la entrada disminución de tirante y energía de 2mm a 5mm en promedio con respecto a los resultados con los aleros de 12.5° y para la pendiente de $S=1^\circ$ de acuerdo a los resultados presentados y descritos en el ítem 5.2.4.2. resultan también menores de entre 3mm a 9mm a la experiencia con los aleros de 12.5° para la misma pendiente. En cuanto al tipo de flujo se observa en las tablas N°106 – 108 hacia aguas arriba y dentro de la alcantarilla para los tres casos presenta un régimen subcrítico y en la salida es crítico y supercrítico, lo cual indica inestabilidad del flujo, no conveniente para un adecuado diseño.

6.3. Comparación de los modelos físicos y numéricos

6.3.1. Modelos físicos

Los resultados que se muestran en la tabla N°109, indica que; quien cuenta con mayor energía o carga hidráulica es la alcantarilla sin aleros, seguido de la alcantarilla con aleros de 30° y por último la alcantarilla con aleros de 12.5°.

Tabla N° 109: Comparación de los modelos físicos con control de entrada

ALCANTARILLA SIN ALEROS						ALCANTARILLA CON ALEROS D 12.5°						ALCANTARILLA CON ALEROS DE 30°					
S=0.25°	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	S=0.25°	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	S=0.25°	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Y(m)	0.043	0.053	0.080	0.100	0.122	Y(m)	0.038	0.056	0.077	0.094	0.110	Y(m)	0.037	0.052	0.074	0.093	0.114
E(m)	0.050	0.065	0.091	0.117	0.140	E(m)	0.040	0.059	0.080	0.099	0.115	E(m)	0.039	0.055	0.077	0.098	0.119
S=0.5°						S=0.5°						S=0.5°					
Y(m)	0.054	0.072	0.088	0.104	0.104	Y(m)	0.033	0.054	0.075	0.095	0.113	Y(m)	0.035	0.054	0.076	0.099	0.114
E(m)	0.058	0.079	0.097	0.119	0.129	E(m)	0.036	0.057	0.078	0.100	0.118	E(m)	0.037	0.057	0.079	0.103	0.119
S=1°						S=1°						S=1°					
Y(m)	0.055	0.064	0.080	0.100	0.118	Y(m)	0.039	0.051	0.070	0.086	0.109	Y(m)	0.026	0.051	0.076	0.095	0.114
E(m)	0.059	0.073	0.091	0.117	0.137	E(m)	0.041	0.054	0.074	0.074	0.115	E(m)	0.030	0.054	0.079	0.079	0.119

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla N°110 comparación de resultados de los modelos físicos alcantarilla tipo BOX sin aleros, con aleros de 12.5° y aleros de 30°, se observa al hallar las pérdidas de carga con control en la salida con datos de la alcantarilla para cada uno, con las diferentes pendientes y caudales como se muestra, para la pendiente S=0.25° la que menor pérdida de carga tiene es la alcantarilla con aleros de 12.5°, para S=0.5° es la alcantarilla sin aleros y para S=1° también la alcantarilla sin aleros.

Analizando con respecto a las velocidades cumple la alcantarilla con aleros de 12.5° por ser más uniforme, pero con la diferencia para S=1°, que cumpliría la alcantarilla sin aleros, sin embargo de acuerdo a los experimentos en laboratorio entre las dos alcantarillas con aleros la de mejor acomodo y comportamiento de flujo resultó la alcantarilla con aleros de 12.5°, indicando que esta fluye de forma calmada.

Tabla N° 110: Comparación de los modelos físicos con control de salida

ALCANTARILLA SIN ALEROS						ALCANTARILLA CON ALEROS D 12.5°						ALCANTARILLA CON ALEROS DE 30°					
S=0.25°	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	S=0.25°	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	S=0.25°	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Ke	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	Ke	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	Ke	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
n	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	n	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	n	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
L(m)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	L(m)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	L(m)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
R(m)	0.020	0.025	0.027	0.034	0.039	R(m)	0.023	0.025	0.029	0.033	0.038	R(m)	0.018	0.025	0.027	0.031	0.033
V(m/s)	0.55	0.71	0.88	0.94	0.90	V(m/s)	0.45	0.69	0.79	0.97	0.96	V(m/s)	0.64	0.71	0.92	1.06	1.22
H(m)	0.025	0.041	0.063	0.071	0.065	H(m)	0.019	0.044	0.057	0.085	0.083	H(m)	0.033	0.039	0.065	0.085	0.112
S=0.5°						S=0.5°						S=0.5°					
Ke	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	Ke	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	Ke	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
n	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	n	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	n	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
L(m)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	L(m)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	L(m)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
R(m)	0.023	0.028	0.031	0.035	0.035	R(m)	0.017	0.023	0.029	0.035	0.037	R(m)	0.017	0.021	0.028	0.035	0.037
V(m/s)	0.47	0.60	0.60	0.88	1.11	V(m/s)	0.70	0.77	0.77	0.90	0.99	V(m/s)	0.70	0.90	0.90	0.90	0.99
H(m)	0.018	0.029	0.029	0.062	0.099	H(m)	0.047	0.055	0.054	0.072	0.088	H(m)	0.040	0.064	0.062	0.060	0.073
S=1°						S=1°						S=1°					
Ke	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	Ke	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	Ke	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
n	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	n	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	n	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
L(m)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	L(m)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	L(m)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
R(m)	0.021	0.024	0.030	0.035	0.040	R(m)	0.019	0.024	0.029	0.032	0.037	R(m)	0.013	0.022	0.028	0.033	0.038
V(m/s)	0.51	0.73	0.74	0.87	0.85	V(m/s)	0.59	0.73	0.82	1.01	0.98	V(m/s)	1.03	0.82	0.86	0.96	0.96
H(m)	0.022	0.044	0.044	0.060	0.057	H(m)	0.033	0.049	0.062	0.092	0.085	H(m)	0.090	0.052	0.056	0.069	0.069

Fuente: Elaboración propia

6.3.2. Modelos numéricos

En la tabla N°111, se muestra los resultados de pérdidas de energía en la alcantarilla, donde para una pendiente de $S=0.25^\circ$ la menor pérdida tiene la alcantarilla con aleros de 12.5° y para las pendientes de $S=0.5^\circ$ y 1° , quién muestra mejores resultados es la alcantarilla de aleros de inclinación 30° .

Al analizar las velocidades entre las dos alcantarillas con aleros, la que cumple las expectativas es la alcantarilla de 12.5° con diferencias en sí mínimas con respecto a la alcantarilla de aleros 30° .

Tabla N° 111: Comparación de resultados del modelo numérico

	ALCANTARILLA SIN ALEROS					ALCANTARILLA CON ALEROS DE 12.5°					ALCANTARILLA CON ALEROS DE 30°						
S=0.25°	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	S=0.25°	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	S=0.25°	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Einlet(m)	0.051	0.072	0.092	0.121	0.145	Einlet(m)	0.052	0.074	0.096	0.128	0.159	Einlet(m)	0.052	0.074	0.096	0.128	0.160
Eoulet(m)	0.028	0.040	0.050	0.066	0.077	Eoulet(m)	0.043	0.060	0.078	0.102	0.119	Eoulet(m)	0.043	0.060	0.078	0.102	0.119
V(m/s)	0.37	0.43	0.51	0.61	0.66	V(m/s)	0.57	0.63	0.71	0.82	0.88	V(m/s)	0.57	0.63	0.71	0.82	0.88
H(m)	0.023	0.032	0.042	0.055	0.068	H(m)	0.009	0.014	0.018	0.026	0.040	H(m)	0.009	0.014	0.018	0.026	0.041
S=0.5°	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	S=0.5°	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	S=0.5°	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Einlet(m)	0.051	0.072	0.092	0.122	0.142	Einlet(m)	0.053	0.076	0.098	0.129	0.161	Einlet(m)	0.051	0.073	0.095	0.127	0.158
Eoulet(m)	0.028	0.039	0.050	0.066	0.077	Eoulet(m)	0.042	0.060	0.077	0.102	0.119	Eoulet(m)	0.042	0.060	0.077	0.102	0.119
V(m/s)	0.37	0.52	0.52	0.65	0.70	V(m/s)	0.49	0.63	0.71	0.82	0.88	V(m/s)	0.57	0.63	0.71	0.82	0.88
H(m)	0.023	0.033	0.042	0.056	0.065	H(m)	0.011	0.016	0.021	0.027	0.042	H(m)	0.009	0.013	0.018	0.025	0.039
S=1°	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	S=1°	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	S=1°	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Einlet(m)	0.050	0.072	0.092	0.121	0.141	Einlet(m)	0.051	0.074	0.096	0.127	0.159	Einlet(m)	0.050	0.072	0.094	0.125	0.156
Eoulet(m)	0.027	0.038	0.050	0.065	0.076	Eoulet(m)	0.043	0.061	0.078	0.103	0.119	Eoulet(m)	0.042	0.060	0.078	0.102	0.119
V(m/s)	0.43	0.52	0.52	0.66	0.71	V(m/s)	0.54	0.63	0.71	0.82	0.88	V(m/s)	0.57	0.63	0.71	0.82	0.88
H(m)	0.023	0.034	0.042	0.056	0.065	H(m)	0.008	0.013	0.018	0.024	0.040	H(m)	0.008	0.012	0.016	0.023	0.037

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Se concluye que:

1. Se determinó la escala del modelo físico de acuerdo a las características geométricas e hidráulicas del canal existente en el laboratorio de la Universidad Ricardo Palma, la cual se encuentra descrito y/o detallado en el capítulo II, ítem 2.4, con la que se llevó a cabo los experimentos diversos.
2. Se realizó la calibración del canal antes de inicio de los experimentos con la alcantarilla, mediante el método de aforo con flotador, del cual se obtuvo las mediciones de caudales, luego se determinó las respectivas ecuaciones para la determinación directa del caudal experimental a partir de datos de caudales teóricos, así también las curvas de calibración, las que se explican en el capítulo III. Las ecuaciones se muestran en la tabla N°40 y las curvas en la figura N°29 para las pendientes de $S=0.25^\circ$, 0.5° y 1° y sus respectivos errores de medición.
3. Los experimentos con la alcantarilla y de acuerdo a los resultados en mención al punto 1 del capítulo VI análisis de los resultados, todas trabajan a superficie libre, siendo este lo ideal para evitar posibles obstrucciones.
4. Se encontraron las características hidráulicas para cada experimento o modelo de alcantarilla, como son: alcantarilla sin aleros, con aleros de 12.5° y 30° , las que se encuentran en las tablas en el capítulo V y con más detalle en los anexos 1,2 y 3.
5. El experimento con aleros de 12.5° es la que mejor comportamiento hidráulico uniforme presentó a diferencia de la alcantarilla sin aleros y con aleros de 30° que presentó variaciones en el tipo de flujo, siendo ésta inestable.
6. Para la aplicación y/o construcción de una alcantarilla lo ideal es con aleros, ya que uno de sus mejores ventajas es que ésta permite un mejor encausamiento y transporte casi uniforme del flujo hacia el ingreso de la alcantarilla. Se puede

construir una alcantarilla sin aleros, pero la desventaja es que no permite el buen paso del flujo, generándose justo a la entrada de la alcantarilla venas contractas que afectarían a la estructura en cuanto ingresa el flujo, así también a los lados antes de ingresar porque el flujo choca con el muro y se generan vórtices y a la salida es más crítico, ya que produce expansión y ésta sale de la alcantarilla con una velocidad fuerte haciendo que aguas abajo pueda generar erosión.

7. De acuerdo a los resultados de los experimentos la pendiente ideal a aplicar sería pendientes menores a $S=1^\circ = 0.01746\text{m/m}$, porque permite la mejor fluidez del flujo evitando formar remanso por la presencia de la alcantarilla.
8. En el experimento y por los procesamientos de datos se determinó, que el tipo de alcantarilla con aleros de 12.5° , es el correcto por tener mejor encausamiento del agua hacia la entrada de la alcantarilla, no permitiendo un cambio brusco o demasiado turbulento.
9. Para la determinación de la energía mínima y la profundidad crítica el modelo de la alcantarilla y la pendiente no influye, porque resulta ser el mismo para todos, debido a que son pendientes pequeños, por lo que se consideró el valor de Coriolis $\alpha = 1$, los resultados se pueden observar en las tablas del capítulo V.
10. Se observó en todos los experimentos los casos de contracción a la entrada y expansión a la salida, formándose en algunas, venas curvas como en la alcantarilla sin aleros y en otras venas casi rectas, asimismo las ondas cruzadas dentro y a la salida de la alcantarilla y para caudales más grandes el flujo al salir del conducto en las alcantarillas con aleros no tenían suficiente contacto con las paredes, se generaban sí, pequeños vórtices, por lo que estaría influyendo la velocidad con la que sale.
11. Para poder plasmar en lo real, es decir; prototipo de acuerdo a la teoría en el capítulo II, ítem 2.3.3.2 de la relación de caudales entre el modelo y para un prototipo, se llega a determinar un ancho de alcantarilla de 4.5m, altura 3m para el que debe pasar un caudal de no mayor de $53.24\text{m}^3/\text{s}$, siendo en el modelo el caudal máximo $Q_5=0.0108\text{m}^3/\text{s}$ y ancho de alcantarilla 0.15m.

RECOMENDACIONES

Se recomienda:

1. Tener bastante cautela en la ejecución de los experimentos, sobre todo en las mediciones.
2. Contar con la instrumentación hidráulica adecuada, es decir; que se encuentre en buenas condiciones y funcionamiento de las partes que las conforman, como es en este caso el Canal de Pendiente Variable.
3. Para la medición de velocidad y caudales, es conveniente también usar otros métodos a parte del método de flotadores que se aplicó en la presente tesis de investigación, así obtener mayor precisión, como ejemplo pueden ser: el correntómetro, vertederos, canaletas entre otros que sirven para medir velocidades y caudales en laboratorio.
4. Modelar alcantarillas con aleros de menor inclinación, es mejor que con mayores ángulos, debido al mejor acomodo calmado y paso del flujo, tal es así que no presenten cambios abruptos por la presencia de los aleros, estos aleros pueden ser entre 12.5° y 30° y por encima de ésta última.
5. En las próximas experiencias, aplicar aleros que posean las aristas con formas aerodinámicas y no rectas para tener mejor rendimiento hidráulico, debido a las contracciones y expansiones que se generan, al ingreso y la salida.
6. Que la alcantarilla tipo BOX presente también en sus aristas formas aerodinámicas y/o curvos, para mejor acomodo del flujo.
7. Tener en cuenta el análisis de la posibilidad de la aplicación de sedimentos en los siguientes experimentos, porque de esta forma se obtendrá resultados más semejantes a la naturaleza.

8. Investigar nuevas alternativas de modelos numéricos, para la simulación y obtención de mejores resultados, que permita el modelamiento de estructuras y sus respectivos componentes, como también permita observar el paso del flujo a través de la estructura.

9. Por ser amplio el tema de la investigación, debido a las muchas características que posee el flujo “agua”, es muy importante tomarle interés y dedicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autoridad Nacional del Agua (ANA). Manual: Criterios de diseños de Obras Hidráulicas para la Formulación de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales y de Afianzamiento Hídrico. Lima. Perú.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). Manual de Hidrometría del Ministerio de agricultura. Lima. Perú.
- Bustos Montes J. (2011). Cálculo de flujo gradualmente variado con HEC-RAS (tesis de maestría). Universidad Nacional autónoma de México, México.
- Chanson, H. (2004). The Hydraulics of Open Channel Flow: an Introduction. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliourp-ebooks/detail.action?docID=288909&query=chanson>
- Departamento de Transporte de Arizona (Arizona Department of Transportation, ADOT). (2007). "Highway Drainage Design Manual Hydraulics". Final report. Arizona. E.E.U.U.
- Department of Transportation James, D., Schall, P., Thompson, S., Zerges, R. & Johnny, M. (2012). Hydraulic Design of Highway Culverts Third Edition. Colorado. U.S. Office of Bridge Technology National Highway. EE.UU.
- Departamento de Transporte de los EE.UU. Administración Federal de Caminos. (Federal Highway Administration o FHWA).
- Giles, R. (1988). Mecánica de los fluidos e hidráulica. México: Mc Graw Hill Schaum.
- Horacio Mery, M. (2013). Hidráulica Aplicada al diseño de obras. Editorial Ril Editores.
- HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System). Centro de Ingeniería Hidrológica (CEIWR-HEC). EE.UU.
- Ingeniería Civil. Proyectos y apuntes teórico-prácticos de Ingeniería Civil. (fotografía). Recuperado de <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/03/alcantarillas-circulares-o-tubos-de.html>.

- Kerenyi, K., J Sterling, J., Goeden, K., Phillips, R., y Oien, P. (2005). A Better Design For Box Culverts?. *Public Roads*; Washington. Vol. 69(2) 46-52. Páginas
- Kerenyi, K., y Pagán, O.J. (2007) Testing Bottomless Culverts, 70(6), 14-19. Páginas
- Mott, R. (2006). *Mecánica de fluidos*. México: Pearson Educación.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. *Manual de Hidrología, Hidráulica y drenaje (2012-2014)*. Lima. Perú.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. *Manual de carreteras de Paraguay. Normas para Obras de Drenaje Vial*. Lima. Perú.
- Pérez, R. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillado sanitario, pluvial y drenaje en carreteras*. Bogotá, Colombia: Andrea del Pilar Sierra. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliourpsp/reader.action?docID=4909261&query=rugosi+de+manning#>.
- Quispe Palomino, P. (2008). *Diseño de alcantarillado de cajón rectangular; comparación analítica, empírica y modelación numérica (tesis de pregrado)*. Universidad Ricardo palma, Lima, Perú.
- Sotelo, G. (1997). *Hidráulica General Vol.I*. México: Limusa S.A.
- Sotelo, G. (2002). *Hidráulica de canales*. México: UNAM, Facultad de Ingeniería.
- SENCICO. (2017). *Norma técnica OS – 060 Drenaje Pluvial Urbano*. Lima. Perú.
- Ven Te Chow, Ph.D (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Santafé de Bogotá. Colombia. Editora Martha Edna Suárez R.
- Vicente, M. (2001). *Elementos de Hidráulica de Canales*. Caracas, Venezuela: Montalbán.
- Villón M. (2007). *Hidráulica de Canales*. Lima. Perú. Editorial Villón.

ANEXOS

ANEXO 1: DATOS Y CÁLCULOS DE LABORATORIO PARA LA ALCANTARILLA SIN ALEROS PARA PENDIENTES $S=0.25^\circ$, 0.5° Y 1° .

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de canal	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q1(m3/s)																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V-(m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
13	Aguas arriba	13_12	0.25	0.30	0.038	0.0114	0.376	0.0303	0.20	0.032	0.0023	0.0401	0.04	0.33	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.043	0.0129	0.386	0.0334	0.18	0.038	0.0023	0.0446	0.04	0.28	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
11		11_10	0.25	0.30	0.039	0.0117	0.378	0.0310	0.20	0.033	0.0023	0.0410	0.04	0.32	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
10		10_9	0.25	0.30	0.043	0.0129	0.386	0.0334	0.18	0.038	0.0023	0.0446	0.04	0.28	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
09		9_8	0.25	0.30	0.042	0.0126	0.384	0.0328	0.18	0.037	0.0023	0.0437	0.04	0.29	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.20	0.15	0.043	0.0065	0.236	0.0273	0.36	0.017	0.0023	0.0496	0.03	0.55	0.029	0.53	0.0435	Subcrítico
07		7_6	0.20	0.15	0.028	0.0042	0.206	0.0204	0.55	0.009	0.0023	0.0435	0.03	1.05	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
06		6_5	0.25	0.15	0.025	0.0038	0.200	0.0188	0.62	0.008	0.0023	0.0445	0.03	1.25	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.016	0.0048	0.332	0.0145	0.48	0.008	0.0023	0.0279	0.02	1.22	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.014	0.0042	0.328	0.0128	0.55	0.007	0.0023	0.0295	0.02	1.49	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.019	0.0057	0.338	0.0169	0.41	0.011	0.0023	0.0274	0.03	0.94	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.015	0.0045	0.330	0.0136	0.51	0.007	0.0023	0.0285	0.02	1.34	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.014	0.0042	0.328	0.0128	0.55	0.007	0.0023	0.0295	0.02	1.49	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de canal	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q2(m3/s)																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V-(m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
13	Aguas arriba	13_12	0.25	0.30	0.057	0.0171	0.414	0.0413	0.23	0.034	0.0039	0.0597	0.04	0.31	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.058	0.0174	0.416	0.0418	0.23	0.035	0.0039	0.0606	0.04	0.30	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
11		11_10	0.25	0.30	0.058	0.0174	0.416	0.0418	0.23	0.035	0.0039	0.0606	0.04	0.30	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
10		10_9	0.25	0.30	0.059	0.0177	0.418	0.0423	0.22	0.036	0.0039	0.0615	0.04	0.29	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
09		9_8	0.25	0.30	0.062	0.0186	0.424	0.0439	0.21	0.039	0.0039	0.0643	0.04	0.27	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.20	0.15	0.053	0.0080	0.256	0.0311	0.49	0.013	0.0039	0.0655	0.04	0.69	0.041	0.64	0.0618	Subcrítico
07		7_6	0.20	0.15	0.037	0.0056	0.224	0.0248	0.71	0.008	0.0039	0.0626	0.03	1.18	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
06		6_5	0.25	0.15	0.033	0.0050	0.216	0.0229	0.79	0.007	0.0039	0.0651	0.03	1.40	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.024	0.0072	0.348	0.0207	0.55	0.009	0.0039	0.0392	0.03	1.13	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.016	0.0048	0.332	0.0145	0.82	0.005	0.0039	0.0502	0.02	2.07	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.019	0.0057	0.338	0.0169	0.69	0.006	0.0039	0.0432	0.03	1.60	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.018	0.0054	0.336	0.0161	0.73	0.006	0.0039	0.0450	0.03	1.73	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.020	0.0060	0.340	0.0176	0.66	0.007	0.0039	0.0419	0.03	1.48	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de canal	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q3(m³/s)																
0.25	0.00436	0.0057	A _n =bY	P _n =b+2Y	R _n =A/P	V=Q/A _n	n=(R ^{2/3} S ^{1/2})/V	Q=1/n*A*R ^{2/3} S ^{1/2}	E= Y+V ² /2g	V=(gR _n S) ^{1/2}	Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Yc=YFr ^{2/3}	Vc=(g*Yc) ^{1/2}	E _{mín} =1.5Yc				
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _n (m ²)	P _n (m)	R _n (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V(m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
13	Aguas arriba	13_12	0.25	0.30	0.075	0.0225	0.450	0.0500	0.25	0.036	0.0057	0.0782	0.05	0.29	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.078	0.0234	0.456	0.0513	0.24	0.038	0.0057	0.0810	0.05	0.28	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
11		11_10	0.25	0.30	0.076	0.0228	0.452	0.0504	0.25	0.036	0.0057	0.0792	0.05	0.29	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
10		10_9	0.25	0.30	0.077	0.0231	0.454	0.0509	0.25	0.037	0.0057	0.0801	0.05	0.28	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
09		9_8	0.25	0.30	0.078	0.0234	0.456	0.0513	0.24	0.038	0.0057	0.0810	0.05	0.28	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.20	0.15	0.080	0.0120	0.310	0.0387	0.47	0.016	0.0057	0.0914	0.04	0.53	0.053	0.72	0.0790	Subcrítico
07		7_6	0.20	0.15	0.043	0.0065	0.236	0.0273	0.88	0.007	0.0057	0.0825	0.03	1.35	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
06		6_5	0.25	0.15	0.051	0.0077	0.252	0.0304	0.74	0.009	0.0057	0.0791	0.04	1.05	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.033	0.0099	0.366	0.0270	0.57	0.010	0.0057	0.0498	0.03	1.01	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.021	0.0063	0.342	0.0184	0.90	0.005	0.0057	0.0624	0.03	1.98	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.018	0.0054	0.336	0.0161	1.05	0.004	0.0057	0.0743	0.03	2.50	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.020	0.0060	0.340	0.0176	0.95	0.005	0.0057	0.0656	0.03	2.14	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.030	0.0090	0.360	0.0250	0.63	0.009	0.0057	0.0503	0.03	1.16	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de canal	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q4(m³/s)																
0.25	0.00436	0.0086	A _n =bY	P _n =b+2Y	R _n =A/P	V=Q/A _n	n=(R ^{2/3} S ^{1/2})/V	Q=1/n*A*R ^{2/3} S ^{1/2}	E= Y+V ² /2g	V=(gR _n S) ^{1/2}	Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Yc=YFr ^{2/3}	Vc=(g*Yc) ^{1/2}	E _{mín} =1.5Yc				
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _n (m ²)	P _n (m)	R _n (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V(m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
13	Aguas arriba	13_12	0.25	0.30	0.094	0.0282	0.488	0.0578	0.30	0.032	0.0086	0.0987	0.05	0.32	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.096	0.0288	0.492	0.0585	0.30	0.033	0.0086	0.1005	0.05	0.31	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
11		11_10	0.25	0.30	0.096	0.0288	0.492	0.0585	0.30	0.033	0.0086	0.1005	0.05	0.31	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
10		10_9	0.25	0.30	0.097	0.0291	0.494	0.0589	0.30	0.034	0.0086	0.1015	0.05	0.30	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
09		9_8	0.25	0.30	0.098	0.0294	0.496	0.0593	0.29	0.034	0.0086	0.1024	0.05	0.30	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.20	0.15	0.100	0.0150	0.350	0.0429	0.57	0.014	0.0086	0.1168	0.04	0.58	0.069	0.83	0.1042	Subcrítico
07		7_6	0.20	0.15	0.061	0.0092	0.272	0.0336	0.94	0.007	0.0086	0.1060	0.04	1.21	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
06		6_5	0.25	0.15	0.056	0.0084	0.262	0.0321	1.02	0.007	0.0086	0.1094	0.04	1.38	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.045	0.0135	0.390	0.0346	0.64	0.011	0.0086	0.0657	0.04	0.96	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.029	0.0087	0.358	0.0243	0.99	0.006	0.0086	0.0788	0.03	1.85	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.018	0.0054	0.336	0.0161	1.59	0.003	0.0086	0.1473	0.03	3.79	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.029	0.0087	0.358	0.0243	0.99	0.006	0.0086	0.0788	0.03	1.85	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.029	0.0087	0.358	0.0243	0.99	0.006	0.0086	0.0788	0.03	1.85	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de canal	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q5(m ³ /s)																
0.25	0.00436	0.0108				$A_i=bY$	$P_i=b+2Y$	$R_i=A/P$	$V=Q/A_i$	$n=(R^{2/3}S^{1/2})/V$	$Q=1/n \cdot A \cdot R^{2/3} S^{1/2}$	$E= Y+V^2/2g$	$V_c=(gR_iS)^{1/2}$	$Fr=V/(g \cdot Y)^{1/2}$	$Y_c=Y Fr^{2/3}$	$V_c=(g \cdot Y_c)^{1/2}$	$E_{mín}=1.5Y_c$	
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	$A_{hi}(m^2)$	$P_{hi}(m)$	$R_{hi}(m)$	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	Vc(m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
13	Aguas arriba	13_12	0.25	0.30	0.117	0.0351	0.534	0.0657	0.31	0.035	0.0108	0.1218	0.05	0.29	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.119	0.0357	0.538	0.0664	0.30	0.036	0.0108	0.1237	0.05	0.28	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
11		11_10	0.25	0.30	0.118	0.0354	0.536	0.0660	0.31	0.035	0.0108	0.1228	0.05	0.28	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
10		10_9	0.25	0.30	0.120	0.0360	0.540	0.0667	0.30	0.036	0.0108	0.1246	0.05	0.28	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
09		9_8	0.25	0.30	0.121	0.0363	0.542	0.0670	0.30	0.037	0.0108	0.1255	0.05	0.27	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.20	0.15	0.122	0.0183	0.394	0.0464	0.59	0.014	0.0108	0.1398	0.04	0.54	0.081	0.89	0.1215	Subcrítico
07		7_6	0.20	0.15	0.080	0.0120	0.310	0.0387	0.90	0.008	0.0108	0.1215	0.04	1.02	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
06		6_5	0.25	0.15	0.065	0.0098	0.280	0.0348	1.11	0.006	0.0108	0.1278	0.04	1.39	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.055	0.0165	0.410	0.0402	0.66	0.012	0.0108	0.0769	0.04	0.89	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.032	0.0096	0.364	0.0264	1.13	0.005	0.0108	0.0968	0.03	2.01	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.025	0.0075	0.350	0.0214	1.44	0.004	0.0108	0.1312	0.03	2.91	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.040	0.0120	0.380	0.0316	0.90	0.007	0.0108	0.0815	0.04	1.44	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.032	0.0096	0.364	0.0264	1.13	0.005	0.0108	0.0968	0.03	2.01	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de canal	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q1(m³/s)																
0.5	0.00873	0.0023				$A_h=bY$	$P_h=b+2Y$	$R_h=A/P$	$V=Q/A_h$	$n=(R^{2/3}S^{1/2})/V$	$Q=1/n \cdot A \cdot R^{2/3} S^{1/2}$	$E= Y+V^2/2g$	$V_c=(gR_h S)^{1/2}$	$Fr=V/(g \cdot Y)^{1/2}$	$Y_c=Y Fr^{2/3}$	$V_c=(g \cdot Y_c)^{1/2}$	$E_{mín}=1.5Y_c$	
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m³/s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Y _{ci} (m)	V _c (m/s)	E(m)	Régimen
13	Aguas arriba	13_12	0.25	0.30	0.041	0.0123	0.382	0.0322	0.19	0.050	0.0023	0.0428	0.05	0.30	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.045	0.0135	0.390	0.0346	0.17	0.058	0.0023	0.0465	0.05	0.26	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
11		11_10	0.25	0.30	0.046	0.0138	0.392	0.0352	0.17	0.060	0.0023	0.0474	0.05	0.25	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
10		10_9	0.25	0.30	0.048	0.0144	0.396	0.0364	0.16	0.064	0.0023	0.0493	0.06	0.23	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
09		9_8	0.25	0.30	0.050	0.0150	0.400	0.0375	0.15	0.068	0.0023	0.0512	0.06	0.22	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.20	0.15	0.054	0.0081	0.258	0.0314	0.29	0.032	0.0023	0.0582	0.05	0.39	0.029	0.53	0.0435	Subcrítico
07		7_6	0.20	0.15	0.033	0.0050	0.216	0.0229	0.47	0.016	0.0023	0.0442	0.04	0.82	0.029	0.53	0.0435	Subcrítico
06		6_5	0.25	0.15	0.032	0.0048	0.214	0.0224	0.48	0.015	0.0023	0.0439	0.04	0.86	0.029	0.53	0.0435	Subcrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.020	0.0060	0.340	0.0176	0.39	0.016	0.0023	0.0276	0.04	0.87	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.014	0.0042	0.328	0.0128	0.55	0.009	0.0023	0.0295	0.03	1.49	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.010	0.0030	0.320	0.0094	0.77	0.005	0.0023	0.0404	0.03	2.47	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.015	0.0045	0.330	0.0136	0.51	0.010	0.0023	0.0285	0.03	1.34	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.015	0.0045	0.330	0.0136	0.51	0.010	0.0023	0.0285	0.03	1.34	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de canal	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q2(m³/s)																
0.5	0.00873	0.0039				$A_h=bY$	$P_h=b+2Y$	$R_h=A/P$	$V=Q/A_h$	$n=(R^{2/3}S^{1/2})/V$	$Q=1/n \cdot A \cdot R^{2/3} S^{1/2}$	$E= Y+V^2/2g$	$V_c=(gR_h S)^{1/2}$	$Fr=V/(g \cdot Y)^{1/2}$	$Y_c=Y Fr^{2/3}$	$V_c=(g \cdot Y_c)^{1/2}$	$E_{mín}=1.5Y_c$	
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m³/s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Y _{ci} (m)	V _c (m/s)	E(m)	Régimen
13	Aguas arriba	13_12	0.25	0.30	0.061	0.0183	0.422	0.0434	0.21	0.054	0.0039	0.0634	0.06	0.28	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.064	0.0192	0.428	0.0449	0.20	0.058	0.0039	0.0661	0.06	0.26	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
11		11_10	0.25	0.30	0.067	0.0201	0.434	0.0463	0.20	0.062	0.0039	0.0689	0.06	0.24	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
10		10_9	0.25	0.30	0.070	0.0210	0.440	0.0477	0.19	0.066	0.0039	0.0718	0.06	0.23	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
09		9_8	0.25	0.30	0.071	0.0213	0.442	0.0482	0.18	0.067	0.0039	0.0727	0.06	0.22	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.20	0.15	0.072	0.0108	0.294	0.0367	0.36	0.028	0.0039	0.0788	0.06	0.43	0.041	0.64	0.0618	Subcrítico
07		7_6	0.20	0.15	0.044	0.0066	0.238	0.0277	0.60	0.014	0.0039	0.0621	0.05	0.91	0.041	0.64	0.0618	Subcrítico
06		6_5	0.25	0.15	0.044	0.0066	0.238	0.0277	0.60	0.014	0.0039	0.0621	0.05	0.91	0.041	0.64	0.0618	Subcrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.026	0.0078	0.352	0.0222	0.50	0.015	0.0039	0.0389	0.04	1.00	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.019	0.0057	0.338	0.0169	0.69	0.009	0.0039	0.0432	0.04	1.60	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.015	0.0045	0.330	0.0136	0.87	0.006	0.0039	0.0539	0.03	2.28	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.018	0.0054	0.336	0.0161	0.73	0.008	0.0039	0.0450	0.04	1.73	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.019	0.0057	0.338	0.0169	0.69	0.009	0.0039	0.0432	0.04	1.60	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de canal	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q3(m³/s)																
0.5	0.00873	0.0057				$A_h=bY$	$P_h=b+2Y$	$R_h=A/P$	$V=Q/A_h$	$n=(R^{2/3}S^{1/2})/V$	$Q=1/n \cdot A \cdot R^{2/3} S^{1/2}$	$E= Y+V^2/2g$	$V_c=(gR_h S)^{1/2}$	$Fr=V/(g \cdot Y)^{1/2}$	$Y_c=Y Fr^{2/3}$	$V_c=(g \cdot Y_c)^{1/2}$	$E_{mín}=1.5Y_c$	
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	$A_h(m^2)$	$P_h(m)$	$R_h(m)$	V(m/s)	n	Q(m³/s)	E(m)	V.(m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
13	Aguas arriba	13_12	0.25	0.30	0.073	0.0219	0.446	0.0491	0.26	0.048	0.0057	0.0764	0.06	0.31	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.076	0.0228	0.452	0.0504	0.25	0.051	0.0057	0.0792	0.07	0.29	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
11		11_10	0.25	0.30	0.078	0.0234	0.456	0.0513	0.24	0.053	0.0057	0.0810	0.07	0.28	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
10		10_9	0.25	0.30	0.081	0.0243	0.462	0.0526	0.23	0.056	0.0057	0.0838	0.07	0.26	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
09		9_8	0.25	0.30	0.084	0.0252	0.468	0.0538	0.23	0.059	0.0057	0.0866	0.07	0.25	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.20	0.15	0.088	0.0132	0.326	0.0405	0.43	0.026	0.0057	0.0974	0.06	0.46	0.053	0.72	0.0790	Subcrítico
07		7_6	0.20	0.15	0.054	0.0081	0.258	0.0314	0.70	0.013	0.0057	0.0790	0.05	0.96	0.053	0.72	0.0790	Subcrítico
06		6_5	0.25	0.15	0.049	0.0074	0.248	0.0296	0.77	0.012	0.0057	0.0794	0.05	1.11	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.033	0.0099	0.366	0.0270	0.57	0.015	0.0057	0.0498	0.05	1.01	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.022	0.0066	0.344	0.0192	0.86	0.008	0.0057	0.0597	0.04	1.85	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.018	0.0054	0.336	0.0161	1.05	0.006	0.0057	0.0743	0.04	2.50	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.025	0.0075	0.350	0.0214	0.76	0.010	0.0057	0.0542	0.04	1.53	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.023	0.0069	0.346	0.0199	0.82	0.008	0.0057	0.0575	0.04	1.73	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de canal	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q4(m³/s)																
0.5	0.00873	0.0086				$A_h=bY$	$P_h=b+2Y$	$R_h=A/P$	$V=Q/A_h$	$n=(R^{2/3}S^{1/2})/V$	$Q=1/n \cdot A \cdot R^{2/3} S^{1/2}$	$E= Y+V^2/2g$	$V_c=(gR_h S)^{1/2}$	$Fr=V/(g \cdot Y)^{1/2}$	$Y_c=Y Fr^{2/3}$	$V_c=(g \cdot Y_c)^{1/2}$	$E_{mín}=1.5Y_c$	
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	$A_h(m^2)$	$P_h(m)$	$R_h(m)$	V(m/s)	n	Q(m³/s)	E(m)	V.(m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
13	Aguas arriba	13_12	0.25	0.30	0.091	0.0273	0.482	0.0566	0.32	0.044	0.0086	0.0961	0.07	0.33	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.095	0.0285	0.490	0.0582	0.30	0.046	0.0086	0.0996	0.07	0.31	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
11		11_10	0.25	0.30	0.094	0.0282	0.488	0.0578	0.30	0.046	0.0086	0.0987	0.07	0.32	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
10		10_9	0.25	0.30	0.098	0.0294	0.496	0.0593	0.29	0.049	0.0086	0.1024	0.07	0.30	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
09		9_8	0.25	0.30	0.100	0.0300	0.500	0.0600	0.29	0.050	0.0086	0.1042	0.07	0.29	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.20	0.15	0.104	0.0156	0.358	0.0436	0.55	0.021	0.0086	0.1195	0.06	0.55	0.069	0.83	0.1042	Subcrítico
07		7_6	0.20	0.15	0.065	0.0098	0.280	0.0348	0.88	0.011	0.0086	0.1047	0.05	1.10	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
06		6_5	0.25	0.15	0.056	0.0084	0.262	0.0321	1.02	0.009	0.0086	0.1094	0.05	1.38	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.045	0.0135	0.390	0.0346	0.64	0.016	0.0086	0.0657	0.05	0.96	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.028	0.0084	0.356	0.0236	1.02	0.008	0.0086	0.0814	0.04	1.95	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.020	0.0060	0.340	0.0176	1.43	0.004	0.0086	0.1247	0.04	3.24	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.033	0.0099	0.366	0.0270	0.87	0.010	0.0086	0.0715	0.05	1.53	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.025	0.0075	0.350	0.0214	1.15	0.006	0.0086	0.0920	0.04	2.32	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de canal	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q5(m3/s)																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V(m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
13	Aguas arriba	13_12	0.25	0.30	0.091	0.0273	0.482	0.0566	0.40	0.035	0.0108	0.0990	0.07	0.42	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.095	0.0285	0.490	0.0582	0.38	0.037	0.0108	0.1024	0.07	0.39	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
11		11_10	0.25	0.30	0.094	0.0282	0.488	0.0578	0.38	0.036	0.0108	0.1015	0.07	0.40	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
10		10_9	0.25	0.30	0.098	0.0294	0.496	0.0593	0.37	0.039	0.0108	0.1049	0.07	0.38	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
09		9_8	0.25	0.30	0.100	0.0300	0.500	0.0600	0.36	0.040	0.0108	0.1066	0.07	0.36	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.20	0.15	0.104	0.0156	0.358	0.0436	0.69	0.017	0.0108	0.1285	0.06	0.69	0.081	0.89	0.1215	Subcrítico
07		7_6	0.20	0.15	0.065	0.0098	0.280	0.0348	1.11	0.009	0.0108	0.1278	0.05	1.39	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
06		6_5	0.25	0.15	0.056	0.0084	0.262	0.0321	1.29	0.007	0.0108	0.1407	0.05	1.74	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.045	0.0135	0.390	0.0346	0.80	0.012	0.0108	0.0778	0.05	1.21	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.028	0.0084	0.356	0.0236	1.29	0.006	0.0108	0.1127	0.04	2.46	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.020	0.0060	0.340	0.0176	1.80	0.004	0.0108	0.1859	0.04	4.07	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.033	0.0099	0.366	0.0270	1.09	0.008	0.0108	0.0939	0.05	1.92	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.025	0.0075	0.350	0.0214	1.44	0.005	0.0108	0.1312	0.04	2.91	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de canal	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q1(m³/s)																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m³/s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
1	0.01746	0.0023																
13	Aguas arriba	13_12	0.25	0.30	0.013	0.0039	0.326	0.0120	0.59	0.012	0.0023	0.0310	0.05	1.66	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.029	0.0087	0.358	0.0243	0.27	0.042	0.0023	0.0326	0.06	0.50	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
11		11_10	0.25	0.30	0.037	0.0111	0.374	0.0297	0.21	0.061	0.0023	0.0392	0.07	0.35	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
10		10_9	0.25	0.30	0.041	0.0123	0.382	0.0322	0.19	0.071	0.0023	0.0428	0.07	0.30	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
09		9_8	0.25	0.30	0.050	0.0150	0.400	0.0375	0.15	0.096	0.0023	0.0512	0.08	0.22	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.20	0.15	0.055	0.0083	0.260	0.0317	0.28	0.047	0.0023	0.0590	0.07	0.38	0.029	0.53	0.0435	Subcrítico
07		7_6	0.20	0.15	0.030	0.0045	0.210	0.0214	0.51	0.020	0.0023	0.0435	0.06	0.95	0.029	0.53	0.0435	Subcrítico
06		6_5	0.25	0.15	0.023	0.0035	0.196	0.0176	0.67	0.013	0.0023	0.0460	0.05	1.41	0.029	0.53	0.0435	Subcrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.020	0.0060	0.340	0.0176	0.39	0.023	0.0023	0.0276	0.05	0.87	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.015	0.0045	0.330	0.0136	0.51	0.015	0.0023	0.0285	0.05	1.34	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.011	0.0033	0.322	0.0102	0.70	0.009	0.0023	0.0361	0.04	2.14	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.017	0.0051	0.334	0.0153	0.45	0.018	0.0023	0.0275	0.05	1.11	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.015	0.0045	0.330	0.0136	0.51	0.015	0.0023	0.0285	0.05	1.34	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de canal	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q2(m³/s)																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m³/s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
1	0.01746	0.0039																
13	Aguas arriba	13_12	0.25	0.30	0.015	0.0045	0.330	0.0136	0.87	0.009	0.0039	0.0539	0.05	2.28	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.040	0.0120	0.380	0.0316	0.33	0.040	0.0039	0.0455	0.07	0.52	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
11		11_10	0.25	0.30	0.045	0.0135	0.390	0.0346	0.29	0.048	0.0039	0.0493	0.08	0.44	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
10		10_9	0.25	0.30	0.051	0.0153	0.402	0.0381	0.26	0.058	0.0039	0.0544	0.08	0.36	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
09		9_8	0.25	0.30	0.056	0.0168	0.412	0.0408	0.23	0.067	0.0039	0.0588	0.08	0.32	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.20	0.15	0.064	0.0096	0.278	0.0345	0.41	0.034	0.0039	0.0725	0.08	0.52	0.041	0.64	0.0618	Subcrítico
07		7_6	0.20	0.15	0.036	0.0054	0.222	0.0243	0.73	0.015	0.0039	0.0630	0.06	1.23	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
06		6_5	0.25	0.15	0.031	0.0047	0.212	0.0219	0.85	0.012	0.0039	0.0674	0.06	1.53	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.023	0.0069	0.346	0.0199	0.57	0.017	0.0039	0.0395	0.06	1.20	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.017	0.0051	0.334	0.0153	0.77	0.011	0.0039	0.0473	0.05	1.89	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.012	0.0036	0.324	0.0111	1.09	0.006	0.0039	0.0728	0.04	3.18	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.020	0.0060	0.340	0.0176	0.66	0.014	0.0039	0.0419	0.05	1.48	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.016	0.0048	0.332	0.0145	0.82	0.010	0.0039	0.0502	0.05	2.07	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de canal	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q3(m3/s)																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V(m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
13	Aguas arriba	13_12	0.25	0.30	0.046	0.0138	0.392	0.0352	0.41	0.035	0.0057	0.0546	0.08	0.61	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.057	0.0171	0.414	0.0413	0.33	0.048	0.0057	0.0626	0.08	0.44	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
11		11_10	0.25	0.30	0.064	0.0192	0.428	0.0449	0.30	0.056	0.0057	0.0685	0.09	0.37	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
10		10_9	0.25	0.30	0.071	0.0213	0.442	0.0482	0.27	0.066	0.0057	0.0746	0.09	0.32	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
09		9_8	0.25	0.30	0.075	0.0225	0.450	0.0500	0.25	0.071	0.0057	0.0782	0.09	0.29	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.20	0.15	0.080	0.0120	0.310	0.0387	0.47	0.032	0.0057	0.0914	0.08	0.53	0.053	0.72	0.0790	Subcrítico
07		7_6	0.20	0.15	0.051	0.0077	0.252	0.0304	0.74	0.017	0.0057	0.0791	0.07	1.05	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
06		6_5	0.25	0.15	0.045	0.0068	0.240	0.0281	0.84	0.015	0.0057	0.0810	0.07	1.27	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.034	0.0102	0.368	0.0277	0.56	0.022	0.0057	0.0498	0.07	0.96	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.023	0.0069	0.346	0.0199	0.82	0.012	0.0057	0.0575	0.06	1.73	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.017	0.0051	0.334	0.0153	1.11	0.007	0.0057	0.0801	0.05	2.73	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.028	0.0084	0.356	0.0236	0.68	0.016	0.0057	0.0513	0.06	1.29	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.020	0.0060	0.340	0.0176	0.95	0.009	0.0057	0.0656	0.05	2.14	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de canal	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q4(m3/s)																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V(m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
13	Aguas arriba	13_12	0.25	0.30	0.070	0.0210	0.440	0.0477	0.41	0.042	0.0086	0.0785	0.09	0.49	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.080	0.0240	0.460	0.0522	0.36	0.051	0.0086	0.0865	0.09	0.40	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
11		11_10	0.25	0.30	0.084	0.0252	0.468	0.0538	0.34	0.055	0.0086	0.0899	0.10	0.38	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
10		10_9	0.25	0.30	0.091	0.0273	0.482	0.0566	0.32	0.062	0.0086	0.0961	0.10	0.33	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
09		9_8	0.25	0.30	0.096	0.0288	0.492	0.0585	0.30	0.067	0.0086	0.1005	0.10	0.31	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.20	0.15	0.100	0.0150	0.350	0.0429	0.57	0.028	0.0086	0.1168	0.09	0.58	0.069	0.83	0.1042	Subcrítico
07		7_6	0.20	0.15	0.066	0.0099	0.282	0.0351	0.87	0.016	0.0086	0.1045	0.08	1.08	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
06		6_5	0.25	0.15	0.052	0.0078	0.254	0.0307	1.10	0.012	0.0086	0.1140	0.07	1.54	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.045	0.0135	0.390	0.0346	0.64	0.022	0.0086	0.0657	0.08	0.96	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.030	0.0090	0.360	0.0250	0.96	0.012	0.0086	0.0765	0.07	1.76	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.021	0.0063	0.342	0.0184	1.37	0.007	0.0086	0.1160	0.06	3.01	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.037	0.0111	0.374	0.0297	0.77	0.016	0.0086	0.0676	0.07	1.29	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.023	0.0069	0.346	0.0199	1.25	0.008	0.0086	0.1022	0.06	2.62	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de canal	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q5(m3/s)																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
1	0.01746	0.0108																
13	Aguas arriba	13_12	0.25	0.30	0.085	0.0255	0.470	0.0543	0.42	0.045	0.0108	0.0942	0.10	0.46	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.096	0.0288	0.492	0.0585	0.38	0.053	0.0108	0.1032	0.10	0.39	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
11		11_10	0.25	0.30	0.101	0.0303	0.502	0.0604	0.36	0.057	0.0108	0.1075	0.10	0.36	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
10		10_9	0.25	0.30	0.108	0.0324	0.516	0.0628	0.33	0.062	0.0108	0.1137	0.10	0.32	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
09		9_8	0.25	0.30	0.113	0.0339	0.526	0.0644	0.32	0.067	0.0108	0.1182	0.11	0.30	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
08	Estructura Alcantarilla	8_7	0.20	0.15	0.118	0.0177	0.386	0.0459	0.61	0.028	0.0108	0.1371	0.09	0.57	0.081	0.89	0.1215	Subcrítico
07		7_6	0.20	0.15	0.085	0.0128	0.320	0.0398	0.85	0.018	0.0108	0.1217	0.08	0.93	0.081	0.89	0.1215	Subcrítico
06		6_5	0.25	0.15	0.073	0.0110	0.296	0.0370	0.99	0.015	0.0108	0.1228	0.08	1.17	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.057	0.0171	0.414	0.0413	0.63	0.025	0.0108	0.0774	0.08	0.85	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.035	0.0105	0.370	0.0284	1.03	0.012	0.0108	0.0892	0.07	1.76	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.026	0.0078	0.352	0.0222	1.39	0.008	0.0108	0.1242	0.06	2.75	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.047	0.0141	0.394	0.0358	0.77	0.019	0.0108	0.0770	0.08	1.13	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.026	0.0078	0.352	0.0222	1.39	0.008	0.0108	0.1242	0.06	2.75	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico

**ANEXO 2: DATOS Y CÁLCULOS DE LABORATORIO PARA LA
ALCANTARILLA CON ALEROS DE INCLINACIÓN 12.5° PARA
PENDIENTES S=0.25°, 0.5° Y 1°.**

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q1(m3/s)																
0.25		0.00436	0.0023															
		$A_h=bY$ $P_h=b+2Y$ $R_h=A/P$ $V=Q/A_h$ $n=(R^{2/3}S^{1/2})/V$ $Q=1/n \cdot A \cdot R^{2/3} S^{1/2}$ $E= Y+V^2/2g$ $V_c=(gR_h S)^{1/2}$ $Fr=V/(g \cdot Y)^{1/2}$ $Y_c=Y Fr^{2/3}$ $V_c=(g \cdot Y_c)^{1/2}$ $E_{min}=1.5Y_c$																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Y _{ci} (m)	V _c (m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.035	0.0105	0.370	0.0284	0.22	0.028	0.0023	0.0375	0.03	0.38	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.036	0.0108	0.372	0.0290	0.21	0.029	0.0023	0.0383	0.04	0.36	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.037	0.0111	0.374	0.0297	0.21	0.030	0.0023	0.0392	0.04	0.35	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
12		12_11	0.18	0.30	0.035	0.0105	0.370	0.0284	0.22	0.028	0.0023	0.0375	0.03	0.38	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
11	Estructura alcantarilla con aleros 12.5°	11_10	0.16	0.30	0.038	0.0114	0.376	0.0303	0.20	0.032	0.0023	0.0401	0.04	0.33	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
10		10_9	0.16	0.22	0.038	0.0084	0.296	0.0282	0.28	0.022	0.0023	0.0419	0.03	0.45	0.022	0.47	0.0337	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.039	0.0059	0.228	0.0257	0.40	0.015	0.0023	0.0470	0.03	0.64	0.029	0.53	0.0435	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.034	0.0051	0.218	0.0234	0.45	0.012	0.0023	0.0445	0.03	0.79	0.029	0.53	0.0435	Subcrítico
07		7_6	0.15	0.15	0.028	0.0042	0.206	0.0204	0.55	0.009	0.0023	0.0435	0.03	1.05	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
06		6_5	0.15	0.22	0.013	0.0029	0.246	0.0116	0.81	0.004	0.0023	0.0465	0.02	2.27	0.022	0.47	0.0337	Supercrítico
05		5_4	0.20	0.30	0.013	0.0039	0.326	0.0120	0.59	0.006	0.0023	0.0310	0.02	1.66	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
04		Aguas abajo	4_3	0.25	0.30	0.011	0.0033	0.322	0.0102	0.70	0.004	0.0023	0.0361	0.02	2.14	0.018	0.42	0.0274
03	3_2		0.25	0.30	0.010	0.0030	0.320	0.0094	0.77	0.004	0.0023	0.0404	0.02	2.47	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
02	2_1		0.25	0.30	0.011	0.0033	0.322	0.0102	0.70	0.004	0.0023	0.0361	0.02	2.14	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
01	1_0		0.25	0.30	0.013	0.0039	0.326	0.0120	0.59	0.006	0.0023	0.0310	0.02	1.66	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q2(m3/s)																
0.25		0.00436	0.0039															
		$A_h=bY$ $P_h=b+2Y$ $R_h=A/P$ $V=Q/A_h$ $n=(R^{2/3}S^{1/2})/V$ $Q=1/n \cdot A \cdot R^{2/3} S^{1/2}$ $E= Y+V^2/2g$ $V_c=(gR_h S)^{1/2}$ $Fr=V/(g \cdot Y)^{1/2}$ $Y_c=Y Fr^{2/3}$ $V_c=(g \cdot Y_c)^{1/2}$ $E_{min}=1.5Y_c$																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Y _{ci} (m)	V _c (m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.052	0.0156	0.404	0.0386	0.25	0.030	0.0039	0.0552	0.04	0.35	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.054	0.0162	0.408	0.0397	0.24	0.032	0.0039	0.0570	0.04	0.33	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.053	0.0159	0.406	0.0392	0.25	0.031	0.0039	0.0561	0.04	0.34	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
12		12_11	0.18	0.30	0.055	0.0165	0.410	0.0402	0.24	0.033	0.0039	0.0579	0.04	0.32	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
11	Estructura alcantarilla con aleros 12.5°	11_10	0.16	0.30	0.056	0.0168	0.412	0.0408	0.23	0.033	0.0039	0.0588	0.04	0.32	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
10		10_9	0.16	0.22	0.056	0.0123	0.332	0.0371	0.32	0.023	0.0039	0.0612	0.04	0.43	0.032	0.56	0.0479	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.049	0.0074	0.248	0.0296	0.53	0.012	0.0039	0.0636	0.04	0.77	0.041	0.64	0.0618	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.038	0.0057	0.226	0.0252	0.69	0.008	0.0039	0.0622	0.03	1.13	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
07		7_6	0.15	0.15	0.034	0.0051	0.218	0.0234	0.77	0.007	0.0039	0.0643	0.03	1.33	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
06		6_5	0.15	0.22	0.017	0.0037	0.254	0.0147	1.05	0.004	0.0039	0.0733	0.03	2.57	0.032	0.56	0.0479	Supercrítico
05		5_4	0.20	0.30	0.015	0.0045	0.330	0.0136	0.87	0.004	0.0039	0.0539	0.02	2.28	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
04		Aguas abajo	4_3	0.25	0.30	0.015	0.0045	0.330	0.0136	0.87	0.004	0.0039	0.0539	0.02	2.28	0.026	0.50	0.0389
03	3_2		0.25	0.30	0.013	0.0039	0.326	0.0120	1.01	0.003	0.0039	0.0648	0.02	2.82	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
02	2_1		0.25	0.30	0.015	0.0045	0.330	0.0136	0.87	0.004	0.0039	0.0539	0.02	2.28	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
01	1_0		0.25	0.30	0.016	0.0048	0.332	0.0145	0.82	0.005	0.0039	0.0502	0.02	2.07	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q3(m3/s)																
0.25	0.00436	0.0057																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.074	0.0222	0.448	0.0496	0.26	0.035	0.0057	0.0773	0.05	0.30	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.075	0.0225	0.450	0.0500	0.25	0.036	0.0057	0.0782	0.05	0.29	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.075	0.0225	0.450	0.0500	0.25	0.036	0.0057	0.0782	0.05	0.29	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
12		12_11	0.18	0.30	0.077	0.0231	0.454	0.0509	0.25	0.037	0.0057	0.0801	0.05	0.28	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
11	Estructura alcantarilla con aleros 12.5°	11_10	0.16	0.30	0.077	0.0231	0.454	0.0509	0.25	0.037	0.0057	0.0801	0.05	0.28	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
10		10_9	0.16	0.22	0.075	0.0165	0.370	0.0446	0.34	0.024	0.0057	0.0810	0.04	0.40	0.041	0.63	0.0612	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.065	0.0098	0.280	0.0348	0.58	0.012	0.0057	0.0823	0.04	0.73	0.053	0.72	0.0790	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.048	0.0072	0.246	0.0293	0.79	0.008	0.0057	0.0797	0.04	1.15	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
07		7_6	0.15	0.15	0.044	0.0066	0.238	0.0277	0.86	0.007	0.0057	0.0817	0.03	1.31	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
06		6_5	0.15	0.22	0.028	0.0062	0.276	0.0223	0.92	0.006	0.0057	0.0713	0.03	1.76	0.041	0.63	0.0612	Supercrítico
05		5_4	0.20	0.30	0.023	0.0069	0.346	0.0199	0.82	0.006	0.0057	0.0575	0.03	1.73	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.022	0.0066	0.344	0.0192	0.86	0.006	0.0057	0.0597	0.03	1.85	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
03	Aguas abajo	3_2	0.25	0.30	0.018	0.0054	0.336	0.0161	1.05	0.004	0.0057	0.0743	0.03	2.50	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.022	0.0066	0.344	0.0192	0.86	0.006	0.0057	0.0597	0.03	1.85	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.020	0.0060	0.340	0.0176	0.95	0.005	0.0057	0.0656	0.03	2.14	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q4(m3/s)																
0.25	0.00436	0.0086																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.093	0.0279	0.486	0.0574	0.31	0.032	0.0086	0.0978	0.05	0.32	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.095	0.0285	0.490	0.0582	0.30	0.033	0.0086	0.0996	0.05	0.31	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.094	0.0282	0.488	0.0578	0.30	0.032	0.0086	0.0987	0.05	0.32	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
12		12_11	0.18	0.30	0.095	0.0285	0.490	0.0582	0.30	0.033	0.0086	0.0996	0.05	0.31	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
11	Estructura alcantarilla con aleros 12.5°	11_10	0.16	0.30	0.094	0.0282	0.488	0.0578	0.30	0.032	0.0086	0.0987	0.05	0.32	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
10		10_9	0.16	0.22	0.091	0.0200	0.402	0.0498	0.43	0.021	0.0086	0.1004	0.05	0.45	0.054	0.73	0.0807	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.083	0.0125	0.316	0.0394	0.69	0.011	0.0086	0.1073	0.04	0.77	0.069	0.83	0.1042	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.059	0.0089	0.268	0.0330	0.97	0.007	0.0086	0.1071	0.04	1.28	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
07		7_6	0.15	0.15	0.055	0.0083	0.260	0.0317	1.04	0.006	0.0086	0.1104	0.04	1.42	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
06		6_5	0.15	0.22	0.033	0.0073	0.286	0.0254	1.18	0.005	0.0086	0.1045	0.03	2.08	0.054	0.73	0.0807	Supercrítico
05		5_4	0.20	0.30	0.025	0.0075	0.350	0.0214	1.15	0.004	0.0086	0.0920	0.03	2.32	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.028	0.0084	0.356	0.0236	1.02	0.005	0.0086	0.0814	0.03	1.95	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
03	Aguas abajo	3_2	0.25	0.30	0.022	0.0066	0.344	0.0192	1.30	0.004	0.0086	0.1085	0.03	2.80	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.023	0.0069	0.346	0.0199	1.25	0.004	0.0086	0.1022	0.03	2.62	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.025	0.0075	0.350	0.0214	1.15	0.004	0.0086	0.0920	0.03	2.32	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q5(m3/s)																
0.25	0.00436	0.0108																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Yci(m)	Vc=(g*Yc) ^{1/2}	E _{min} =1.5Yc	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.109	0.0327	0.518	0.0631	0.33	0.032	0.0108	0.1146	0.05	0.32	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.111	0.0333	0.522	0.0638	0.33	0.032	0.0108	0.1164	0.05	0.31	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.109	0.0327	0.518	0.0631	0.33	0.032	0.0108	0.1146	0.05	0.32	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
12		12_11	0.18	0.30	0.111	0.0333	0.522	0.0638	0.33	0.032	0.0108	0.1164	0.05	0.31	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
11	Estructura alcantarilla con aleros 12.5°	11_10	0.16	0.30	0.110	0.0330	0.520	0.0635	0.33	0.032	0.0108	0.1155	0.05	0.32	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
10		10_9	0.16	0.22	0.109	0.0240	0.438	0.0547	0.45	0.021	0.0108	0.1194	0.05	0.44	0.063	0.78	0.0941	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.101	0.0152	0.352	0.0430	0.71	0.011	0.0108	0.1270	0.04	0.72	0.081	0.89	0.1215	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.075	0.0113	0.300	0.0375	0.96	0.008	0.0108	0.1222	0.04	1.12	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
07		7_6	0.15	0.15	0.066	0.0099	0.282	0.0351	1.09	0.006	0.0108	0.1269	0.04	1.36	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
06		6_5	0.15	0.22	0.043	0.0095	0.306	0.0309	1.14	0.006	0.0108	0.1097	0.04	1.76	0.063	0.78	0.0941	Supercrítico
05		5_4	0.20	0.30	0.029	0.0087	0.358	0.0243	1.24	0.004	0.0108	0.1079	0.03	2.33	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.25	0.30	0.034	0.0102	0.368	0.0277	1.06	0.006	0.0108	0.0914	0.03	1.84	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.025	0.0075	0.350	0.0214	1.44	0.004	0.0108	0.1312	0.03	2.91	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.024	0.0072	0.348	0.0207	1.50	0.003	0.0108	0.1392	0.03	3.10	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.035	0.0105	0.370	0.0284	1.03	0.006	0.0108	0.0892	0.03	1.76	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo	
S(°)	S(m/m)	Q1(m3/s)																	
0.5	0.00873	0.0023				$A_h=bY$	$P_h=b+2Y$	$R_h=A/P$	$V=Q/A_h$	$n=(R^{2/3}S^{1/2})/V$	$Q=1/n*A*R^{2/3}S^{1/2}$	$E= Y+V^2/2g$	$V_c=(gR_hS)^{1/2}$	$Fr=V/(g*Y)^{1/2}$	$Yc=YFr^{2/3}$	$Vc=(g*Yc)^{1/2}$	$E_{min}=1.5Yc$		
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen	
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.025	0.0075	0.350	0.0214	0.31	0.023	0.0023	0.0299	0.04	0.62	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico	
14		14_13	0.25	0.30	0.029	0.0087	0.358	0.0243	0.27	0.029	0.0023	0.0326	0.05	0.50	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico	
13		13_12	0.25	0.30	0.030	0.0090	0.360	0.0250	0.26	0.031	0.0023	0.0334	0.05	0.47	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico	
12	Estructura alcantarilla con aleros 12.5°	12_11	0.18	0.30	0.033	0.0099	0.366	0.0270	0.23	0.036	0.0023	0.0358	0.05	0.41	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico	
11		11_10	0.16	0.30	0.033	0.0099	0.366	0.0270	0.23	0.036	0.0023	0.0358	0.05	0.41	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico	
10		10_9	0.16	0.22	0.034	0.0075	0.288	0.0260	0.31	0.026	0.0023	0.0389	0.05	0.54	0.022	0.47	0.0337	Subcrítico	
09		9_8	0.20	0.15	0.033	0.0050	0.216	0.0229	0.47	0.016	0.0023	0.0442	0.04	0.82	0.029	0.53	0.0435	Subcrítico	
08		8_7	0.20	0.15	0.022	0.0033	0.194	0.0170	0.70	0.009	0.0023	0.0471	0.04	1.51	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico	
07		7_6	0.15	0.15	0.021	0.0032	0.192	0.0164	0.74	0.008	0.0023	0.0486	0.04	1.62	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico	
06		6_5	0.15	0.22	0.011	0.0024	0.242	0.0100	0.96	0.005	0.0023	0.0577	0.03	2.91	0.022	0.47	0.0337	Supercrítico	
05		5_4	0.20	0.30	0.009	0.0027	0.318	0.0085	0.86	0.005	0.0023	0.0465	0.03	2.89	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico	
04		Aguas abajo	4_3	0.25	0.30	0.011	0.0033	0.322	0.0102	0.70	0.006	0.0023	0.0361	0.03	2.14	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
03			3_2	0.25	0.30	0.010	0.0030	0.320	0.0094	0.77	0.005	0.0023	0.0404	0.03	2.47	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
02	2_1		0.25	0.30	0.010	0.0030	0.320	0.0094	0.77	0.005	0.0023	0.0404	0.03	2.47	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico	
01	1_0		0.25	0.30	0.011	0.0033	0.322	0.0102	0.70	0.006	0.0023	0.0361	0.03	2.14	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico	

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo	
S(°)	S(m/m)	Q2(m3/s)																	
0.5	0.00873	0.0039				$A_h=bY$	$P_h=b+2Y$	$R_h=A/P$	$V=Q/A_h$	$n=(R^{2/3}S^{1/2})/V$	$Q=1/n*A*R^{2/3}S^{1/2}$	$E= Y+V^2/2g$	$V_c=(gR_hS)^{1/2}$	$Fr=V/(g*Y)^{1/2}$	$Yc=YFr^{2/3}$	$Vc=(g*Yc)^{1/2}$	$E_{min}=1.5Yc$		
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen	
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.046	0.0138	0.392	0.0352	0.28	0.035	0.0039	0.0501	0.05	0.42	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico	
14		14_13	0.25	0.30	0.049	0.0147	0.398	0.0369	0.27	0.039	0.0039	0.0526	0.06	0.39	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico	
13		13_12	0.25	0.30	0.051	0.0153	0.402	0.0381	0.26	0.041	0.0039	0.0544	0.06	0.36	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico	
12	Estructura alcantarilla con aleros 12.5°	12_11	0.18	0.30	0.053	0.0159	0.406	0.0392	0.25	0.044	0.0039	0.0561	0.06	0.34	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico	
11		11_10	0.16	0.30	0.054	0.0162	0.408	0.0397	0.24	0.045	0.0039	0.0570	0.06	0.33	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico	
10		10_9	0.16	0.22	0.053	0.0117	0.326	0.0358	0.34	0.030	0.0039	0.0588	0.06	0.47	0.032	0.56	0.0479	Subcrítico	
09		9_8	0.20	0.15	0.046	0.0069	0.242	0.0285	0.57	0.015	0.0039	0.0625	0.05	0.85	0.041	0.64	0.0618	Subcrítico	
08		8_7	0.20	0.15	0.034	0.0051	0.218	0.0234	0.77	0.010	0.0039	0.0643	0.04	1.33	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico	
07		7_6	0.15	0.15	0.033	0.0050	0.216	0.0229	0.79	0.009	0.0039	0.0651	0.04	1.40	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico	
06		6_5	0.15	0.22	0.016	0.0035	0.252	0.0140	1.12	0.005	0.0039	0.0796	0.03	2.82	0.032	0.56	0.0479	Supercrítico	
05		5_4	0.20	0.30	0.014	0.0042	0.328	0.0128	0.94	0.005	0.0039	0.0587	0.03	2.53	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico	
04		Aguas abajo	4_3	0.25	0.30	0.011	0.0033	0.322	0.0102	1.19	0.004	0.0039	0.0833	0.03	3.63	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
03			3_2	0.25	0.30	0.011	0.0033	0.322	0.0102	1.19	0.004	0.0039	0.0833	0.03	3.63	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
02	2_1		0.25	0.30	0.013	0.0039	0.326	0.0120	1.01	0.005	0.0039	0.0648	0.03	2.82	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico	
01	1_0		0.25	0.30	0.014	0.0042	0.328	0.0128	0.94	0.005	0.0039	0.0587	0.03	2.53	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico	

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q3(m3/s)																
0.5	0.00873	0.0057																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _i (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.065	0.0195	0.430	0.0453	0.29	0.041	0.0057	0.0693	0.06	0.36	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.070	0.0210	0.440	0.0477	0.27	0.045	0.0057	0.0737	0.06	0.33	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.071	0.0213	0.442	0.0482	0.27	0.046	0.0057	0.0746	0.06	0.32	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
12		12_11	0.18	0.30	0.074	0.0222	0.448	0.0496	0.26	0.049	0.0057	0.0773	0.07	0.30	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
11	Estructura alcantarilla con aleros 12.5°	11_10	0.16	0.30	0.075	0.0225	0.450	0.0500	0.25	0.050	0.0057	0.0782	0.07	0.29	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
10		10_9	0.16	0.22	0.073	0.0161	0.366	0.0439	0.35	0.033	0.0057	0.0794	0.06	0.42	0.041	0.63	0.0612	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.070	0.0105	0.290	0.0362	0.54	0.019	0.0057	0.0849	0.06	0.65	0.053	0.72	0.0790	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.048	0.0072	0.246	0.0293	0.79	0.011	0.0057	0.0797	0.05	1.15	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
07		7_6	0.15	0.15	0.044	0.0066	0.238	0.0277	0.86	0.010	0.0057	0.0817	0.05	1.31	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
06		6_5	0.15	0.22	0.021	0.0046	0.262	0.0176	1.23	0.005	0.0057	0.0979	0.04	2.71	0.041	0.63	0.0612	Supercrítico
05		5_4	0.20	0.30	0.020	0.0060	0.340	0.0176	0.95	0.007	0.0057	0.0656	0.04	2.14	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.023	0.0069	0.346	0.0199	0.82	0.008	0.0057	0.0575	0.04	1.73	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
03	Aguas abajo	3_2	0.25	0.30	0.022	0.0066	0.344	0.0192	0.86	0.008	0.0057	0.0597	0.04	1.85	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.014	0.0042	0.328	0.0128	1.35	0.004	0.0057	0.1071	0.03	3.65	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.021	0.0063	0.342	0.0184	0.90	0.007	0.0057	0.0624	0.04	1.98	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q4(m3/s)																
0.5	0.00873	0.0086																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _i (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.088	0.0264	0.476	0.0555	0.33	0.042	0.0086	0.0934	0.07	0.35	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.092	0.0276	0.484	0.0570	0.31	0.044	0.0086	0.0969	0.07	0.33	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.094	0.0282	0.488	0.0578	0.30	0.046	0.0086	0.0987	0.07	0.32	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
12		12_11	0.18	0.30	0.095	0.0285	0.490	0.0582	0.30	0.046	0.0086	0.0996	0.07	0.31	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
11	Estructura alcantarilla con aleros 12.5°	11_10	0.16	0.30	0.095	0.0285	0.490	0.0582	0.30	0.046	0.0086	0.0996	0.07	0.31	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
10		10_9	0.16	0.22	0.096	0.0211	0.412	0.0513	0.41	0.032	0.0086	0.1045	0.07	0.42	0.054	0.73	0.0807	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.084	0.0126	0.318	0.0396	0.68	0.016	0.0086	0.1077	0.06	0.75	0.069	0.83	0.1042	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.064	0.0096	0.278	0.0345	0.90	0.011	0.0086	0.1049	0.05	1.13	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
07		7_6	0.15	0.15	0.058	0.0087	0.266	0.0327	0.99	0.010	0.0086	0.1078	0.05	1.31	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
06		6_5	0.15	0.22	0.029	0.0064	0.278	0.0229	1.35	0.006	0.0086	0.1216	0.04	2.53	0.054	0.73	0.0807	Supercrítico
05		5_4	0.20	0.30	0.024	0.0072	0.348	0.0207	1.19	0.006	0.0086	0.0967	0.04	2.46	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.031	0.0093	0.362	0.0257	0.92	0.009	0.0086	0.0746	0.05	1.68	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
03	Aguas abajo	3_2	0.25	0.30	0.021	0.0063	0.342	0.0184	1.37	0.005	0.0086	0.1160	0.04	3.01	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.019	0.0057	0.338	0.0169	1.51	0.004	0.0086	0.1350	0.04	3.49	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.027	0.0081	0.354	0.0229	1.06	0.007	0.0086	0.0844	0.04	2.06	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q5(m3/s)																
0.5	0.00873	0.0108																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Yci(m)	Vc=(g*Yc) ^{1/2}	E _m =1.5Yc	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.105	0.0315	0.510	0.0618	0.34	0.042	0.0108	0.1110	0.07	0.34	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.110	0.0330	0.520	0.0635	0.33	0.045	0.0108	0.1155	0.07	0.32	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.109	0.0327	0.518	0.0631	0.33	0.045	0.0108	0.1146	0.07	0.32	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
12		12_11	0.18	0.30	0.113	0.0339	0.526	0.0644	0.32	0.047	0.0108	0.1182	0.07	0.30	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
11	Estructura alcantarilla con aleros 12.5°	11_10	0.16	0.30	0.113	0.0339	0.526	0.0644	0.32	0.047	0.0108	0.1182	0.07	0.30	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
10		10_9	0.16	0.22	0.109	0.0240	0.438	0.0547	0.45	0.030	0.0108	0.1194	0.07	0.44	0.063	0.78	0.0941	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.098	0.0147	0.346	0.0425	0.74	0.015	0.0108	0.1256	0.06	0.75	0.081	0.89	0.1215	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.073	0.0110	0.296	0.0370	0.99	0.010	0.0108	0.1228	0.06	1.17	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
07		7_6	0.15	0.15	0.060	0.0090	0.270	0.0333	1.20	0.008	0.0108	0.1337	0.05	1.57	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
06		6_5	0.15	0.22	0.036	0.0079	0.292	0.0271	1.37	0.006	0.0108	0.1312	0.05	2.30	0.063	0.78	0.0941	Supercrítico
05		5_4	0.20	0.30	0.028	0.0084	0.356	0.0236	1.29	0.006	0.0108	0.1127	0.04	2.46	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.25	0.30	0.035	0.0105	0.370	0.0284	1.03	0.008	0.0108	0.0892	0.05	1.76	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.026	0.0078	0.352	0.0222	1.39	0.005	0.0108	0.1242	0.04	2.75	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.024	0.0072	0.348	0.0207	1.50	0.005	0.0108	0.1392	0.04	3.10	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.036	0.0108	0.372	0.0290	1.00	0.009	0.0108	0.0872	0.05	1.69	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q1(m3/s)																
1	0.01746	0.0023																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.012	0.0036	0.324	0.0111	0.64	0.010	0.0023	0.0331	0.04	1.88	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.023	0.0069	0.346	0.0199	0.34	0.029	0.0023	0.0287	0.06	0.71	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.030	0.0090	0.360	0.0250	0.26	0.044	0.0023	0.0334	0.07	0.47	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
12	Estructura alcantarilla con aleros 12.5°	12_11	0.18	0.30	0.035	0.0105	0.370	0.0284	0.22	0.056	0.0023	0.0375	0.07	0.38	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
11		11_10	0.16	0.30	0.039	0.0117	0.378	0.0310	0.20	0.066	0.0023	0.0410	0.07	0.32	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
10		10_9	0.16	0.22	0.040	0.0088	0.300	0.0293	0.26	0.048	0.0023	0.0435	0.07	0.42	0.022	0.47	0.0337	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.042	0.0063	0.234	0.0269	0.37	0.032	0.0023	0.0489	0.07	0.57	0.029	0.53	0.0435	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.026	0.0039	0.202	0.0193	0.59	0.016	0.0023	0.0440	0.06	1.18	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
07		7_6	0.15	0.15	0.025	0.0038	0.200	0.0188	0.62	0.015	0.0023	0.0445	0.06	1.25	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
06		6_5	0.15	0.22	0.014	0.0031	0.248	0.0124	0.75	0.009	0.0023	0.0429	0.05	2.03	0.022	0.47	0.0337	Supercrítico
05		5_4	0.20	0.30	0.013	0.0039	0.326	0.0120	0.59	0.012	0.0023	0.0310	0.05	1.66	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.012	0.0036	0.324	0.0111	0.64	0.010	0.0023	0.0331	0.04	1.88	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
03		Aguas abajo	3_2	0.25	0.30	0.010	0.0030	0.320	0.0094	0.77	0.008	0.0023	0.0404	0.04	2.47	0.018	0.42	0.0274
02	2_1		0.25	0.30	0.009	0.0027	0.318	0.0085	0.86	0.006	0.0023	0.0465	0.04	2.89	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
01	1_0		0.25	0.30	0.011	0.0033	0.322	0.0102	0.70	0.009	0.0023	0.0361	0.04	2.14	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q2(m3/s)																
1	0.01746	0.0039																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.014	0.0042	0.328	0.0128	0.94	0.008	0.0039	0.0587	0.05	2.53	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.038	0.0114	0.376	0.0303	0.34	0.037	0.0039	0.0441	0.07	0.56	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.044	0.0132	0.388	0.0340	0.30	0.047	0.0039	0.0485	0.08	0.45	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
12	Estructura alcantarilla con aleros 12.5°	12_11	0.18	0.30	0.048	0.0144	0.396	0.0364	0.27	0.053	0.0039	0.0518	0.08	0.40	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
11		11_10	0.16	0.30	0.051	0.0153	0.402	0.0381	0.26	0.058	0.0039	0.0544	0.08	0.36	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
10		10_9	0.16	0.22	0.054	0.0119	0.328	0.0362	0.33	0.044	0.0039	0.0596	0.08	0.45	0.032	0.56	0.0479	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.049	0.0074	0.248	0.0296	0.53	0.024	0.0039	0.0636	0.07	0.77	0.041	0.64	0.0618	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.036	0.0054	0.222	0.0243	0.73	0.015	0.0039	0.0630	0.06	1.23	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
07		7_6	0.15	0.15	0.031	0.0047	0.212	0.0219	0.85	0.012	0.0039	0.0674	0.06	1.53	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
06		6_5	0.15	0.22	0.016	0.0035	0.252	0.0140	1.12	0.007	0.0039	0.0796	0.05	2.82	0.032	0.56	0.0479	Supercrítico
05		5_4	0.20	0.30	0.015	0.0045	0.330	0.0136	0.87	0.009	0.0039	0.0539	0.05	2.28	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.016	0.0048	0.332	0.0145	0.82	0.010	0.0039	0.0502	0.05	2.07	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
03		Aguas abajo	3_2	0.25	0.30	0.012	0.0036	0.324	0.0111	1.09	0.006	0.0039	0.0728	0.04	3.18	0.026	0.50	0.0389
02	2_1		0.25	0.30	0.011	0.0033	0.322	0.0102	1.19	0.005	0.0039	0.0833	0.04	3.63	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
01	1_0		0.25	0.30	0.016	0.0048	0.332	0.0145	0.82	0.010	0.0039	0.0502	0.05	2.07	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q3(m3/s)																
1	0.01746	0.0057	$A_h = bY$ $P_h = b + 2Y$ $R_h = A/P$ $V = Q/A_h$ $n = (R^{2/3} S^{1/2}) / V$ $Q = 1/n \cdot A \cdot R^{2/3} S^{1/2}$ $E = Y + V^2/2g$ $V_c = (gR_h S)^{1/2}$ $Fr = V/(g \cdot Y)^{1/2}$ $Y_c = Y Fr^{2/3}$ $V_c = (g \cdot Y_c)^{1/2}$ $E_{min} = 1.5 Y_c$															
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Yc(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.046	0.0138	0.392	0.0352	0.41	0.035	0.0057	0.0546	0.08	0.61	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.058	0.0174	0.416	0.0418	0.33	0.049	0.0057	0.0634	0.08	0.43	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.063	0.0189	0.426	0.0444	0.30	0.055	0.0057	0.0676	0.09	0.38	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
12		12_11	0.18	0.30	0.068	0.0204	0.436	0.0468	0.28	0.062	0.0057	0.0719	0.09	0.34	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
11	Estructura alcantarilla con aleros 12.5°	11_10	0.16	0.30	0.070	0.0210	0.440	0.0477	0.27	0.064	0.0057	0.0737	0.09	0.33	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
10		10_9	0.16	0.22	0.071	0.0156	0.362	0.0431	0.36	0.045	0.0057	0.0777	0.09	0.44	0.041	0.63	0.0612	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.066	0.0099	0.282	0.0351	0.57	0.025	0.0057	0.0828	0.08	0.71	0.053	0.72	0.0790	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.046	0.0069	0.242	0.0285	0.82	0.015	0.0057	0.0805	0.07	1.22	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
07		7_6	0.15	0.15	0.044	0.0066	0.238	0.0277	0.86	0.014	0.0057	0.0817	0.07	1.31	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
06		6_5	0.15	0.22	0.021	0.0046	0.262	0.0176	1.23	0.007	0.0057	0.0979	0.05	2.71	0.041	0.63	0.0612	Supercrítico
05		5_4	0.20	0.30	0.018	0.0054	0.336	0.0161	1.05	0.008	0.0057	0.0743	0.05	2.50	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.25	0.30	0.023	0.0069	0.346	0.0199	0.82	0.012	0.0057	0.0575	0.06	1.73	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.017	0.0051	0.334	0.0153	1.11	0.007	0.0057	0.0801	0.05	2.73	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.014	0.0042	0.328	0.0128	1.35	0.005	0.0057	0.1071	0.05	3.65	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.022	0.0066	0.344	0.0192	0.86	0.011	0.0057	0.0597	0.06	1.85	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q4(m3/s)																
1	0.01746	0.0086	$A_h = bY$ $P_h = b + 2Y$ $R_h = A/P$ $V = Q/A_h$ $n = (R^{2/3} S^{1/2}) / V$ $Q = 1/n \cdot A \cdot R^{2/3} S^{1/2}$ $E = Y + V^2/2g$ $V_c = (gR_h S)^{1/2}$ $Fr = V/(g \cdot Y)^{1/2}$ $Y_c = Y Fr^{2/3}$ $V_c = (g \cdot Y_c)^{1/2}$ $E_{min} = 1.5 Y_c$															
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Yc(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.065	0.0195	0.430	0.0453	0.44	0.038	0.0086	0.0749	0.09	0.55	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.074	0.0222	0.448	0.0496	0.39	0.046	0.0086	0.0816	0.09	0.45	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.080	0.0240	0.460	0.0522	0.36	0.051	0.0086	0.0865	0.09	0.40	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
12		12_11	0.18	0.30	0.085	0.0255	0.470	0.0543	0.34	0.056	0.0086	0.0908	0.10	0.37	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
11	Estructura alcantarilla con aleros 12.5°	11_10	0.16	0.30	0.086	0.0258	0.472	0.0547	0.33	0.057	0.0086	0.0917	0.10	0.36	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
10		10_9	0.16	0.22	0.084	0.0185	0.388	0.0476	0.47	0.037	0.0086	0.0950	0.09	0.51	0.054	0.73	0.0807	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.078	0.0117	0.306	0.0382	0.74	0.020	0.0086	0.1055	0.08	0.84	0.069	0.83	0.1042	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.057	0.0086	0.264	0.0324	1.01	0.013	0.0086	0.1086	0.07	1.35	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
07		7_6	0.15	0.15	0.045	0.0068	0.240	0.0281	1.27	0.010	0.0086	0.1277	0.07	1.92	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
06		6_5	0.15	0.22	0.031	0.0068	0.282	0.0242	1.26	0.009	0.0086	0.1120	0.06	2.29	0.054	0.73	0.0807	Supercrítico
05		5_4	0.20	0.30	0.022	0.0066	0.344	0.0192	1.30	0.007	0.0086	0.1085	0.06	2.80	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.25	0.30	0.029	0.0087	0.358	0.0243	0.99	0.011	0.0086	0.0788	0.06	1.85	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.021	0.0063	0.342	0.0184	1.37	0.007	0.0086	0.1160	0.06	3.01	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.016	0.0048	0.332	0.0145	1.79	0.004	0.0086	0.1796	0.05	4.52	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.030	0.0090	0.360	0.0250	0.96	0.012	0.0086	0.0765	0.07	1.76	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q5(m3/s)									Q	E= Y+V ² /2g	V=(gR _h S) ^{1/2}	Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Yc=YFr ^{2/3}	Vc=(g*Yc) ^{1/2}	E _{min} =1.5Yc	
1	0.01746	0.0108	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V=Q/A _h	n=(R ^{2/3} S ^{1/2})/V	Q(m ³ /s)	E(m)	V-(m/s)	Fr	Yc(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.089	0.0267	0.478	0.0559	0.41	0.048	0.0108	0.0974	0.10	0.43	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.098	0.0294	0.496	0.0593	0.37	0.055	0.0108	0.1049	0.10	0.38	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.101	0.0303	0.502	0.0604	0.36	0.057	0.0108	0.1075	0.10	0.36	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
12		12_11	0.18	0.30	0.106	0.0318	0.512	0.0621	0.34	0.061	0.0108	0.1119	0.10	0.33	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
11	Estructura alcantarilla con aleros 12.5°	11_10	0.16	0.30	0.109	0.0327	0.518	0.0631	0.33	0.063	0.0108	0.1146	0.10	0.32	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
10		10_9	0.16	0.22	0.106	0.0233	0.432	0.0540	0.46	0.041	0.0108	0.1170	0.10	0.46	0.063	0.78	0.0941	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.102	0.0153	0.354	0.0432	0.71	0.023	0.0108	0.1275	0.09	0.71	0.081	0.89	0.1215	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.074	0.0111	0.298	0.0372	0.98	0.015	0.0108	0.1225	0.08	1.14	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
07		7_6	0.15	0.15	0.061	0.0092	0.272	0.0336	1.18	0.012	0.0108	0.1323	0.08	1.53	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
06		6_5	0.15	0.22	0.041	0.0090	0.302	0.0299	1.20	0.011	0.0108	0.1144	0.07	1.89	0.063	0.78	0.0941	Supercrítico
05		5_4	0.20	0.30	0.034	0.0102	0.368	0.0277	1.06	0.011	0.0108	0.0914	0.07	1.84	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
04	Aguas abajo	4_3	0.25	0.30	0.035	0.0105	0.370	0.0284	1.03	0.012	0.0108	0.0892	0.07	1.76	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.026	0.0078	0.352	0.0222	1.39	0.008	0.0108	0.1242	0.06	2.75	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.023	0.0069	0.346	0.0199	1.57	0.006	0.0108	0.1485	0.06	3.30	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.037	0.0111	0.374	0.0297	0.98	0.013	0.0108	0.0855	0.07	1.62	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico

**ANEXO 3: DATOS Y CÁLCULOS DE LABORATORIO PARA LA
ALCANTARILLA CON ALEROS DE INCLINACIÓN 30° PARA
PENDIENTES S=0.25°, 0.5° Y 1°.**

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q1(m3/s)																
0.25	0.00436	0.0023				$A_h=bY$	$P_h=b+2Y$	$R_h=A/P$	$V=Q/A_h$	$n=(R^{2/3}S^{1/2})/V$	$Q=1/n \cdot A \cdot R^{2/3} S^{1/2}$	$E= Y+V^2/2g$	$V_c=(gR_h S)^{1/2}$	$Fr=V/(g \cdot Y)^{1/2}$	$Y_c=Y Fr^{2/3}$	$V_c=(g \cdot Y_c)^{1/2}$	$E_{mín}=1.5 Y_c$	
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Y _c (m)	V _c (m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.035	0.0105	0.370	0.0284	0.22	0.028	0.0023	0.0375	0.03	0.38	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.036	0.0108	0.372	0.0290	0.21	0.029	0.0023	0.0383	0.04	0.36	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.034	0.0102	0.368	0.0277	0.23	0.027	0.0023	0.0366	0.03	0.39	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.038	0.0114	0.376	0.0303	0.20	0.032	0.0023	0.0401	0.04	0.33	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
11		11_10	0.13	0.30	0.036	0.0108	0.372	0.0290	0.21	0.029	0.0023	0.0383	0.04	0.36	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
10	Estructura alcantarilla con aleros	10_9	0.12	0.30	0.037	0.0111	0.374	0.0297	0.21	0.030	0.0023	0.0392	0.04	0.35	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.037	0.0056	0.224	0.0248	0.42	0.013	0.0023	0.0459	0.03	0.69	0.029	0.53	0.0435	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.024	0.0036	0.198	0.0182	0.64	0.007	0.0023	0.0451	0.03	1.33	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
07		7_6	0.12	0.15	0.024	0.0036	0.198	0.0182	0.64	0.007	0.0023	0.0451	0.03	1.33	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
06		6_5	0.13	0.30	0.011	0.0033	0.322	0.0102	0.70	0.004	0.0023	0.0361	0.02	2.14	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.013	0.0039	0.326	0.0120	0.59	0.006	0.0023	0.0310	0.02	1.66	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.011	0.0033	0.322	0.0102	0.70	0.004	0.0023	0.0361	0.02	2.14	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.010	0.0030	0.320	0.0094	0.77	0.004	0.0023	0.0404	0.02	2.47	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.014	0.0042	0.328	0.0128	0.55	0.007	0.0023	0.0295	0.02	1.49	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.012	0.0036	0.324	0.0111	0.64	0.005	0.0023	0.0331	0.02	1.88	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q2(m3/s)																
0.25	0.00436	0.0039				$A_h=bY$	$P_h=b+2Y$	$R_h=A/P$	$V=Q/A_h$	$n=(R^{2/3}S^{1/2})/V$	$Q=1/n \cdot A \cdot R^{2/3} S^{1/2}$	$E= Y+V^2/2g$	$V_c=(gR_h S)^{1/2}$	$Fr=V/(g \cdot Y)^{1/2}$	$Y_c=Y Fr^{2/3}$	$V_c=(g \cdot Y_c)^{1/2}$	$E_{mín}=1.5 Y_c$	
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Y _c (m)	V _c (m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.047	0.0141	0.394	0.0358	0.28	0.026	0.0039	0.0510	0.04	0.41	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.049	0.0147	0.398	0.0369	0.27	0.027	0.0039	0.0526	0.04	0.39	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.049	0.0147	0.398	0.0369	0.27	0.027	0.0039	0.0526	0.04	0.39	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.051	0.0153	0.402	0.0381	0.26	0.029	0.0039	0.0544	0.04	0.36	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
11		11_10	0.13	0.30	0.051	0.0153	0.402	0.0381	0.26	0.029	0.0039	0.0544	0.04	0.36	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
10	Estructura alcantarilla con aleros	10_9	0.12	0.30	0.052	0.0156	0.404	0.0386	0.25	0.030	0.0039	0.0552	0.04	0.35	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.051	0.0077	0.252	0.0304	0.51	0.013	0.0039	0.0645	0.04	0.73	0.041	0.64	0.0618	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.037	0.0056	0.224	0.0248	0.71	0.008	0.0039	0.0626	0.03	1.18	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
07		7_6	0.12	0.15	0.027	0.0041	0.204	0.0199	0.97	0.005	0.0039	0.0750	0.03	1.89	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
06		6_5	0.13	0.30	0.012	0.0036	0.324	0.0111	1.09	0.003	0.0039	0.0728	0.02	3.18	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.019	0.0057	0.338	0.0169	0.69	0.006	0.0039	0.0432	0.03	1.60	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.014	0.0042	0.328	0.0128	0.94	0.004	0.0039	0.0587	0.02	2.53	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.010	0.0030	0.320	0.0094	1.31	0.002	0.0039	0.0975	0.02	4.18	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.016	0.0048	0.332	0.0145	0.82	0.005	0.0039	0.0502	0.02	2.07	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.017	0.0051	0.334	0.0153	0.77	0.005	0.0039	0.0473	0.03	1.89	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q3(m³/s)																
0.25		0.00436	0.0057															
		$A_h=bY$ $P_h=b+2Y$ $R_h=A/P$ $V=Q/A_h$ $n=(R^{2/3}S^{1/2})/V$ $Q=1/n \cdot A \cdot R^{2/3}S^{1/2}$ $E= Y+V^2/2g$ $V_c=(gR_hS)^{1/2}$ $Fr=V/(g \cdot Y)^{1/2}$ $Y_c=YFr^{2/3}$ $V_c=(g \cdot Y_c)^{1/2}$ $E_{mín}=1.5Y_c$																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.070	0.0210	0.440	0.0477	0.27	0.032	0.0057	0.0737	0.05	0.33	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.071	0.0213	0.442	0.0482	0.27	0.033	0.0057	0.0746	0.05	0.32	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.070	0.0210	0.440	0.0477	0.27	0.032	0.0057	0.0737	0.05	0.33	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.071	0.0213	0.442	0.0482	0.27	0.033	0.0057	0.0746	0.05	0.32	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
11		11_10	0.13	0.30	0.072	0.0216	0.444	0.0486	0.26	0.033	0.0057	0.0755	0.05	0.31	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
10	Estructura alcantarilla con aleros 30°	10_9	0.12	0.30	0.074	0.0222	0.448	0.0496	0.26	0.035	0.0057	0.0773	0.05	0.30	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.068	0.0102	0.286	0.0357	0.56	0.013	0.0057	0.0838	0.04	0.68	0.053	0.72	0.0790	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.041	0.0062	0.232	0.0265	0.92	0.006	0.0057	0.0844	0.03	1.46	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
07		7_6	0.12	0.15	0.039	0.0059	0.228	0.0257	0.97	0.006	0.0057	0.0870	0.03	1.57	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
06		6_5	0.13	0.30	0.018	0.0054	0.336	0.0161	1.05	0.004	0.0057	0.0743	0.03	2.50	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.030	0.0090	0.360	0.0250	0.63	0.009	0.0057	0.0503	0.03	1.16	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.019	0.0057	0.338	0.0169	1.00	0.004	0.0057	0.0695	0.03	2.31	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.019	0.0057	0.338	0.0169	1.00	0.004	0.0057	0.0695	0.03	2.31	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.019	0.0057	0.338	0.0169	1.00	0.004	0.0057	0.0695	0.03	2.31	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.022	0.0066	0.344	0.0192	0.86	0.006	0.0057	0.0597	0.03	1.85	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q4(m³/s)																
0.25		0.00436	0.0086															
		$A_h=bY$ $P_h=b+2Y$ $R_h=A/P$ $V=Q/A_h$ $n=(R^{2/3}S^{1/2})/V$ $Q=1/n \cdot A \cdot R^{2/3}S^{1/2}$ $E= Y+V^2/2g$ $V_c=(gR_hS)^{1/2}$ $Fr=V/(g \cdot Y)^{1/2}$ $Y_c=YFr^{2/3}$ $V_c=(g \cdot Y_c)^{1/2}$ $E_{mín}=1.5Y_c$																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.090	0.0270	0.480	0.0563	0.32	0.030	0.0086	0.0952	0.05	0.34	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.089	0.0267	0.478	0.0559	0.32	0.030	0.0086	0.0943	0.05	0.34	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.090	0.0270	0.480	0.0563	0.32	0.030	0.0086	0.0952	0.05	0.34	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.091	0.0273	0.482	0.0566	0.32	0.031	0.0086	0.0961	0.05	0.33	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
11		11_10	0.13	0.30	0.090	0.0270	0.480	0.0563	0.32	0.030	0.0086	0.0952	0.05	0.34	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
10	Estructura alcantarilla con aleros 30°	10_9	0.12	0.30	0.093	0.0279	0.486	0.0574	0.31	0.032	0.0086	0.0978	0.05	0.32	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.083	0.0125	0.316	0.0394	0.69	0.011	0.0086	0.1073	0.04	0.77	0.069	0.83	0.1042	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.054	0.0081	0.258	0.0314	1.06	0.006	0.0086	0.1114	0.04	1.46	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
07		7_6	0.12	0.15	0.051	0.0077	0.252	0.0304	1.12	0.006	0.0086	0.1154	0.04	1.59	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
06		6_5	0.13	0.30	0.032	0.0096	0.364	0.0264	0.90	0.007	0.0086	0.0729	0.03	1.60	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.035	0.0105	0.370	0.0284	0.82	0.008	0.0086	0.0692	0.03	1.40	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.025	0.0075	0.350	0.0214	1.15	0.004	0.0086	0.0920	0.03	2.32	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.019	0.0057	0.338	0.0169	1.51	0.003	0.0086	0.1350	0.03	3.49	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.035	0.0105	0.370	0.0284	0.82	0.008	0.0086	0.0692	0.03	1.40	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.025	0.0075	0.350	0.0214	1.15	0.004	0.0086	0.0920	0.03	2.32	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q5(m ³ /s)																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Y _c (m)	V _c (m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.110	0.0330	0.520	0.0635	0.33	0.032	0.0108	0.1155	0.05	0.32	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.111	0.0333	0.522	0.0638	0.33	0.032	0.0108	0.1164	0.05	0.31	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.112	0.0336	0.524	0.0641	0.32	0.033	0.0108	0.1173	0.05	0.31	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.113	0.0339	0.526	0.0644	0.32	0.033	0.0108	0.1182	0.05	0.30	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
11		11_10	0.13	0.30	0.114	0.0342	0.528	0.0648	0.32	0.034	0.0108	0.1191	0.05	0.30	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
10	Estructura alcantarilla con aleros 30°	10_9	0.12	0.30	0.114	0.0342	0.528	0.0648	0.32	0.034	0.0108	0.1191	0.05	0.30	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.104	0.0156	0.358	0.0436	0.69	0.012	0.0108	0.1285	0.04	0.69	0.081	0.89	0.1215	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.059	0.0089	0.268	0.0330	1.22	0.006	0.0108	0.1353	0.04	1.61	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
07		7_6	0.12	0.15	0.043	0.0065	0.236	0.0273	1.68	0.004	0.0108	0.1866	0.03	2.58	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
06		6_5	0.13	0.30	0.046	0.0138	0.392	0.0352	0.78	0.009	0.0108	0.0774	0.04	1.17	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.035	0.0105	0.370	0.0284	1.03	0.006	0.0108	0.0892	0.03	1.76	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.024	0.0072	0.348	0.0207	1.50	0.003	0.0108	0.1392	0.03	3.10	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.043	0.0129	0.386	0.0334	0.84	0.008	0.0108	0.0789	0.04	1.29	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.043	0.0129	0.386	0.0334	0.84	0.008	0.0108	0.0789	0.04	1.29	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.028	0.0084	0.356	0.0236	1.29	0.004	0.0108	0.1127	0.03	2.46	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q1(m³/s)																
0.5	0.00873	0.0023																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m³/s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Yc(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.024	0.0072	0.348	0.0207	0.32	0.022	0.0023	0.0293	0.04	0.66	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.029	0.0087	0.358	0.0243	0.27	0.029	0.0023	0.0326	0.05	0.50	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.028	0.0084	0.356	0.0236	0.28	0.028	0.0023	0.0319	0.04	0.53	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.034	0.0102	0.368	0.0277	0.23	0.038	0.0023	0.0366	0.05	0.39	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
11		11_10	0.13	0.30	0.034	0.0102	0.368	0.0277	0.23	0.038	0.0023	0.0366	0.05	0.39	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
10	Estructura alcantarilla con aleros 30°	10_9	0.12	0.30	0.035	0.0105	0.370	0.0284	0.22	0.039	0.0023	0.0375	0.05	0.38	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.032	0.0048	0.214	0.0224	0.48	0.015	0.0023	0.0439	0.04	0.86	0.029	0.53	0.0435	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.022	0.0033	0.194	0.0170	0.70	0.009	0.0023	0.0471	0.04	1.51	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
07		7_6	0.12	0.15	0.017	0.0026	0.184	0.0139	0.91	0.006	0.0023	0.0591	0.03	2.23	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
06		6_5	0.13	0.30	0.010	0.0030	0.320	0.0094	0.77	0.005	0.0023	0.0404	0.03	2.47	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.011	0.0033	0.322	0.0102	0.70	0.006	0.0023	0.0361	0.03	2.14	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.090	0.0270	0.480	0.0563	0.09	0.160	0.0023	0.0904	0.07	0.09	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.080	0.0240	0.460	0.0522	0.10	0.135	0.0023	0.0805	0.07	0.11	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.010	0.0030	0.320	0.0094	0.77	0.005	0.0023	0.0404	0.03	2.47	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.011	0.0033	0.322	0.0102	0.70	0.006	0.0023	0.0361	0.03	2.14	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q2(m³/s)																
0.5	0.00873	0.0039																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m³/s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Yc(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.044	0.0132	0.388	0.0340	0.30	0.033	0.0039	0.0485	0.05	0.45	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.046	0.0138	0.392	0.0352	0.28	0.035	0.0039	0.0501	0.05	0.42	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.049	0.0147	0.398	0.0369	0.27	0.039	0.0039	0.0526	0.06	0.39	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.052	0.0156	0.404	0.0386	0.25	0.042	0.0039	0.0552	0.06	0.35	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
11		11_10	0.13	0.30	0.052	0.0156	0.404	0.0386	0.25	0.042	0.0039	0.0552	0.06	0.35	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
10	Estructura alcantarilla con aleros 30°	10_9	0.12	0.30	0.054	0.0162	0.408	0.0397	0.24	0.045	0.0039	0.0570	0.06	0.33	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.047	0.0071	0.244	0.0289	0.56	0.016	0.0039	0.0628	0.05	0.82	0.041	0.64	0.0618	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.029	0.0044	0.208	0.0209	0.90	0.008	0.0039	0.0706	0.04	1.69	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
07		7_6	0.12	0.15	0.027	0.0041	0.204	0.0199	0.97	0.007	0.0039	0.0750	0.04	1.89	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
06		6_5	0.13	0.30	0.012	0.0036	0.324	0.0111	1.09	0.004	0.0039	0.0728	0.03	3.18	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.021	0.0063	0.342	0.0184	0.62	0.010	0.0039	0.0408	0.04	1.37	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.014	0.0042	0.328	0.0128	0.94	0.005	0.0039	0.0587	0.03	2.53	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.010	0.0030	0.320	0.0094	1.31	0.003	0.0039	0.0975	0.03	4.18	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.013	0.0039	0.326	0.0120	1.01	0.005	0.0039	0.0648	0.03	2.82	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.013	0.0039	0.326	0.0120	1.01	0.005	0.0039	0.0648	0.03	2.82	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q3(m ³ /s)																
0.5	0.00873	0.0057																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V-(m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.065	0.0195	0.430	0.0453	0.29	0.041	0.0057	0.0693	0.06	0.36	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.069	0.0207	0.438	0.0473	0.27	0.045	0.0057	0.0728	0.06	0.33	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.071	0.0213	0.442	0.0482	0.27	0.046	0.0057	0.0746	0.06	0.32	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.074	0.0222	0.448	0.0496	0.26	0.049	0.0057	0.0773	0.07	0.30	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
11		11_10	0.13	0.30	0.074	0.0222	0.448	0.0496	0.26	0.049	0.0057	0.0773	0.07	0.30	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
10	Estructura alcantarilla con aleros 30°	10_9	0.12	0.30	0.076	0.0228	0.452	0.0504	0.25	0.051	0.0057	0.0792	0.07	0.29	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.070	0.0105	0.290	0.0362	0.54	0.019	0.0057	0.0849	0.06	0.65	0.053	0.72	0.0790	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.045	0.0068	0.240	0.0281	0.84	0.010	0.0057	0.0810	0.05	1.27	0.053	0.72	0.0790	Subcrítico
07		7_6	0.12	0.15	0.043	0.0065	0.236	0.0273	0.88	0.010	0.0057	0.0825	0.05	1.35	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
06		6_5	0.13	0.30	0.021	0.0063	0.342	0.0184	0.90	0.007	0.0057	0.0624	0.04	1.98	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.030	0.0090	0.360	0.0250	0.63	0.013	0.0057	0.0503	0.05	1.16	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.021	0.0063	0.342	0.0184	0.90	0.007	0.0057	0.0624	0.04	1.98	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.021	0.0063	0.342	0.0184	0.90	0.007	0.0057	0.0624	0.04	1.98	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.029	0.0087	0.358	0.0243	0.65	0.012	0.0057	0.0507	0.05	1.22	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.020	0.0060	0.340	0.0176	0.95	0.007	0.0057	0.0656	0.04	2.14	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q4(m ³ /s)																
0.5	0.00873	0.0086																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V-(m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.090	0.0270	0.480	0.0563	0.32	0.043	0.0086	0.0952	0.07	0.34	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.094	0.0282	0.488	0.0578	0.30	0.046	0.0086	0.0987	0.07	0.32	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.096	0.0288	0.492	0.0585	0.30	0.047	0.0086	0.1005	0.07	0.31	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.098	0.0294	0.496	0.0593	0.29	0.049	0.0086	0.1024	0.07	0.30	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
11		11_10	0.13	0.30	0.095	0.0285	0.490	0.0582	0.30	0.046	0.0086	0.0996	0.07	0.31	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
10	Estructura alcantarilla con aleros 30°	10_9	0.12	0.30	0.099	0.0297	0.498	0.0596	0.29	0.049	0.0086	0.1033	0.07	0.29	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.085	0.0128	0.320	0.0398	0.67	0.016	0.0086	0.1082	0.06	0.74	0.069	0.83	0.1042	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.064	0.0096	0.278	0.0345	0.90	0.011	0.0086	0.1049	0.05	1.13	0.069	0.83	0.1042	Subcrítico
07		7_6	0.12	0.15	0.052	0.0078	0.254	0.0307	1.10	0.008	0.0086	0.1140	0.05	1.54	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
06		6_5	0.13	0.30	0.026	0.0078	0.352	0.0222	1.10	0.007	0.0086	0.0880	0.04	2.18	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.038	0.0114	0.376	0.0303	0.75	0.012	0.0086	0.0670	0.05	1.24	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.030	0.0090	0.360	0.0250	0.96	0.008	0.0086	0.0765	0.05	1.76	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.019	0.0057	0.338	0.0169	1.51	0.004	0.0086	0.1350	0.04	3.49	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.030	0.0090	0.360	0.0250	0.96	0.008	0.0086	0.0765	0.05	1.76	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.029	0.0087	0.358	0.0243	0.99	0.008	0.0086	0.0788	0.05	1.85	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q5(m ³ /s)																
0.5	0.00873	0.0108				$A_h=bY$	$P_h=b+2Y$	$R_h=A/P$	$V=Q/A_h$	$n=(R^{2/3}S^{1/2})/V$	$Q=1/n \cdot A \cdot R^{2/3} S^{1/2}$	$E= Y+V^2/2g$	$V_c=(gR_h S)^{1/2}$	$Fr=V/(g \cdot Y)^{1/2}$	$Y_c=Y Fr^{2/3}$	$V_c=(g \cdot Y_c)^{1/3}$	$E_{mín}=1.5Y_c$	
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Y _c (m)	V _c (m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.106	0.0318	0.512	0.0621	0.34	0.043	0.0108	0.1119	0.07	0.33	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.111	0.0333	0.522	0.0638	0.33	0.046	0.0108	0.1164	0.07	0.31	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.109	0.0327	0.518	0.0631	0.33	0.045	0.0108	0.1146	0.07	0.32	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.115	0.0345	0.530	0.0651	0.31	0.048	0.0108	0.1200	0.07	0.30	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
11		11_10	0.13	0.30	0.110	0.0330	0.520	0.0635	0.33	0.045	0.0108	0.1155	0.07	0.32	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
10	Estructura alcantarilla con aleros 30°	10_9	0.12	0.30	0.114	0.0342	0.528	0.0648	0.32	0.048	0.0108	0.1191	0.07	0.30	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.104	0.0156	0.358	0.0436	0.69	0.017	0.0108	0.1285	0.06	0.69	0.081	0.89	0.1215	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.073	0.0110	0.296	0.0370	0.99	0.010	0.0108	0.1228	0.06	1.17	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
07		7_6	0.12	0.15	0.055	0.0083	0.260	0.0317	1.31	0.007	0.0108	0.1428	0.05	1.79	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
06		6_5	0.13	0.30	0.041	0.0123	0.382	0.0322	0.88	0.011	0.0108	0.0805	0.05	1.39	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.045	0.0135	0.390	0.0346	0.80	0.012	0.0108	0.0778	0.05	1.21	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.030	0.0090	0.360	0.0250	1.20	0.007	0.0108	0.1037	0.05	2.22	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.023	0.0069	0.346	0.0199	1.57	0.004	0.0108	0.1485	0.04	3.30	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.041	0.0123	0.382	0.0322	0.88	0.011	0.0108	0.0805	0.05	1.39	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.024	0.0072	0.348	0.0207	1.50	0.005	0.0108	0.1392	0.04	3.10	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q1(m3/s)																
1	0.01746	0.0023																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V-(m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.090	0.0270	0.480	0.0563	0.09	0.226	0.0023	0.0904	0.10	0.09	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.080	0.0240	0.460	0.0522	0.10	0.191	0.0023	0.0805	0.09	0.11	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.016	0.0048	0.332	0.0145	0.48	0.016	0.0023	0.0279	0.05	1.22	0.018	0.42	0.0274	Supercrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.020	0.0060	0.340	0.0176	0.39	0.023	0.0023	0.0276	0.05	0.87	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
11		11_10	0.13	0.30	0.022	0.0066	0.344	0.0192	0.35	0.027	0.0023	0.0283	0.06	0.76	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
10	Estructura alcantarilla con aleros 30°	10_9	0.12	0.30	0.026	0.0078	0.352	0.0222	0.30	0.035	0.0023	0.0305	0.06	0.59	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.024	0.0036	0.198	0.0182	0.64	0.014	0.0023	0.0451	0.06	1.33	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.015	0.0023	0.180	0.0125	1.03	0.007	0.0023	0.0691	0.05	2.68	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
07		7_6	0.12	0.15	0.014	0.0021	0.178	0.0118	1.10	0.006	0.0023	0.0761	0.04	2.98	0.029	0.53	0.0435	Supercrítico
06		6_5	0.13	0.30	0.050	0.0150	0.400	0.0375	0.15	0.096	0.0023	0.0512	0.08	0.22	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.090	0.0270	0.480	0.0563	0.09	0.226	0.0023	0.0904	0.10	0.09	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.090	0.0270	0.480	0.0563	0.09	0.226	0.0023	0.0904	0.10	0.09	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.060	0.0180	0.420	0.0429	0.13	0.126	0.0023	0.0608	0.09	0.17	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.080	0.0240	0.460	0.0522	0.10	0.191	0.0023	0.0805	0.09	0.11	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.090	0.0270	0.480	0.0563	0.09	0.226	0.0023	0.0904	0.10	0.09	0.018	0.42	0.0274	Subcrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q2(m3/s)																
1	0.01746	0.0039																
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V-(m/s)	Fr	Yci(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
15	Aguas arriba	15_14	0.25	0.30	0.012	0.0036	0.324	0.0111	1.09	0.006	0.0039	0.0728	0.04	3.18	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.031	0.0093	0.362	0.0257	0.42	0.027	0.0039	0.0401	0.07	0.77	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.035	0.0105	0.370	0.0284	0.37	0.033	0.0039	0.0421	0.07	0.64	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.043	0.0129	0.386	0.0334	0.30	0.045	0.0039	0.0477	0.08	0.47	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
11		11_10	0.13	0.30	0.045	0.0135	0.390	0.0346	0.29	0.048	0.0039	0.0493	0.08	0.44	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
10	Estructura alcantarilla con aleros 30°	10_9	0.12	0.30	0.051	0.0153	0.402	0.0381	0.26	0.058	0.0039	0.0544	0.08	0.36	0.026	0.50	0.0389	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.040	0.0060	0.230	0.0261	0.66	0.018	0.0039	0.0619	0.07	1.05	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.032	0.0048	0.214	0.0224	0.82	0.013	0.0039	0.0662	0.06	1.46	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
07		7_6	0.12	0.15	0.024	0.0036	0.198	0.0182	1.09	0.008	0.0039	0.0848	0.06	2.25	0.041	0.64	0.0618	Supercrítico
06		6_5	0.13	0.30	0.013	0.0039	0.326	0.0120	1.01	0.007	0.0039	0.0648	0.05	2.82	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.019	0.0057	0.338	0.0169	0.69	0.013	0.0039	0.0432	0.05	1.60	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.012	0.0036	0.324	0.0111	1.09	0.006	0.0039	0.0728	0.04	3.18	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.010	0.0030	0.320	0.0094	1.31	0.004	0.0039	0.0975	0.04	4.18	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.014	0.0042	0.328	0.0128	0.94	0.008	0.0039	0.0587	0.05	2.53	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.014	0.0042	0.328	0.0128	0.94	0.008	0.0039	0.0587	0.05	2.53	0.026	0.50	0.0389	Supercrítico

Pendiente del canal	Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo	
S(°)	S(m/m)																	Q3(m3/s)
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Yc(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
16	Aguas arriba	16_15	0.25	0.30	0.020	0.0060	0.340	0.0176	0.95	0.009	0.0057	0.0656	0.05	2.14	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
15		15_14	0.25	0.30	0.048	0.0144	0.396	0.0364	0.39	0.037	0.0057	0.0559	0.08	0.57	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.054	0.0162	0.408	0.0397	0.35	0.044	0.0057	0.0603	0.08	0.48	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.062	0.0186	0.424	0.0439	0.31	0.054	0.0057	0.0667	0.09	0.39	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.075	0.0225	0.450	0.0500	0.25	0.071	0.0057	0.0782	0.09	0.29	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
11	11_10	0.13	0.30	0.072	0.0216	0.444	0.0486	0.26	0.067	0.0057	0.0755	0.09	0.31	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico	
10	Estructura Alcantarilla con aleros 30°	10_9	0.12	0.30	0.076	0.0228	0.452	0.0504	0.25	0.072	0.0057	0.0792	0.09	0.29	0.033	0.57	0.0498	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.064	0.0096	0.278	0.0345	0.59	0.024	0.0057	0.0818	0.08	0.75	0.053	0.72	0.0790	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.044	0.0066	0.238	0.0277	0.86	0.014	0.0057	0.0817	0.07	1.31	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
07		7_6	0.12	0.15	0.035	0.0053	0.220	0.0239	1.08	0.010	0.0057	0.0946	0.06	1.85	0.053	0.72	0.0790	Supercrítico
06		6_5	0.13	0.30	0.019	0.0057	0.338	0.0169	1.00	0.009	0.0057	0.0695	0.05	2.31	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.028	0.0084	0.356	0.0236	0.68	0.016	0.0057	0.0513	0.06	1.29	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.021	0.0063	0.342	0.0184	0.90	0.010	0.0057	0.0624	0.06	1.98	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.015	0.0045	0.330	0.0136	1.26	0.006	0.0057	0.0961	0.05	3.29	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.025	0.0075	0.350	0.0214	0.76	0.013	0.0057	0.0542	0.06	1.53	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.018	0.0054	0.336	0.0161	1.05	0.008	0.0057	0.0743	0.05	2.50	0.033	0.57	0.0498	Supercrítico

Pendiente del canal	Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo	
S(°)	S(m/m)																	Q4(m3/s)
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V _c (m/s)	Fr	Yc(m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
17	Aguas arriba	17_16	0.25	0.30	0.021	0.0063	0.342	0.0184	1.37	0.007	0.0086	0.1160	0.06	3.01	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
16		16_15	0.25	0.30	0.060	0.0180	0.420	0.0429	0.48	0.034	0.0086	0.0716	0.09	0.62	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
15		15_14	0.25	0.30	0.071	0.0213	0.442	0.0482	0.40	0.043	0.0086	0.0793	0.09	0.48	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.076	0.0228	0.452	0.0504	0.38	0.048	0.0086	0.0833	0.09	0.44	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.081	0.0243	0.462	0.0526	0.35	0.052	0.0086	0.0874	0.09	0.40	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
12	12_11	0.25	0.30	0.085	0.0255	0.470	0.0543	0.34	0.056	0.0086	0.0908	0.10	0.37	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico	
11	11_10	0.13	0.30	0.090	0.0270	0.480	0.0563	0.32	0.061	0.0086	0.0952	0.10	0.34	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico	
10	Estructura Alcantarilla con aleros 30°	10_9	0.12	0.30	0.095	0.0285	0.490	0.0582	0.30	0.066	0.0086	0.0996	0.10	0.31	0.044	0.66	0.0656	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.075	0.0113	0.300	0.0375	0.76	0.019	0.0086	0.1048	0.08	0.89	0.069	0.83	0.1042	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.060	0.0090	0.270	0.0333	0.96	0.014	0.0086	0.1065	0.08	1.25	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
07		7_6	0.12	0.15	0.037	0.0056	0.224	0.0248	1.55	0.007	0.0086	0.1594	0.07	2.57	0.069	0.83	0.1042	Supercrítico
06		6_5	0.13	0.30	0.031	0.0093	0.362	0.0257	0.92	0.012	0.0086	0.0746	0.07	1.68	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.040	0.0120	0.380	0.0316	0.72	0.018	0.0086	0.0662	0.07	1.14	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.027	0.0081	0.354	0.0229	1.06	0.010	0.0086	0.0844	0.06	2.06	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.019	0.0057	0.338	0.0169	1.51	0.006	0.0086	0.1350	0.05	3.49	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.025	0.0075	0.350	0.0214	1.15	0.009	0.0086	0.0920	0.06	2.32	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.020	0.0060	0.340	0.0176	1.43	0.006	0.0086	0.1247	0.05	3.24	0.044	0.66	0.0656	Supercrítico

Pendiente del canal		Caudal	Longitud de tramo	Ancho de sección	Profundidad hidráulica	Área hidráulico	Perímetro hidráulico	Radio hidráulico	Velocidad	Coeficiente rugosidad	Caudal	Energía	Velocidad de corte	Número de Froude	Tirante crítico	Velocidad crítica	Energía mínima	Tipo
S(°)	S(m/m)	Q5(m3/s)																
1	0.01746	0.0108				A _h =bY	P _h =b+2Y	R _h =A/P	V=Q/A _h	n=(R ^{2/3} S ^{1/2})/V	Q=1/n*A*R ^{2/3} S ^{1/2}	E= Y+V ² /2g	V _c =(gR _h S) ^{1/2}	Fr=V/(g*Y) ^{1/2}	Yc=YFr ^{2/3}	Vc=(g*Yc) ^{1/3}	E _{mín} =1.5Yc	
Sección	Ubicación	Tramo	L(m)	b(m)	Yi(m)	A _h (m ²)	P _h (m)	R _h (m)	V(m/s)	n	Q(m ³ /s)	E(m)	V.(m/s)	Fr	Yc _i (m)	Vc(m/s)	E(m)	Régimen
18	Aguas arriba	18_17	0.25	0.30	0.025	0.0075	0.350	0.0214	1.44	0.007	0.0108	0.1312	0.06	2.91	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
17		17_16	0.25	0.30	0.061	0.0183	0.422	0.0434	0.59	0.028	0.0108	0.0788	0.09	0.76	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
16		16_15	0.25	0.30	0.083	0.0249	0.466	0.0534	0.43	0.043	0.0108	0.0926	0.10	0.48	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
15		15_14	0.25	0.30	0.089	0.0267	0.478	0.0559	0.41	0.048	0.0108	0.0974	0.10	0.43	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
14		14_13	0.25	0.30	0.095	0.0285	0.490	0.0582	0.38	0.052	0.0108	0.1024	0.10	0.39	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
13		13_12	0.25	0.30	0.104	0.0312	0.508	0.0614	0.35	0.059	0.0108	0.1101	0.10	0.34	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
12		12_11	0.25	0.30	0.106	0.0318	0.512	0.0621	0.34	0.061	0.0108	0.1119	0.10	0.33	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
11		11_10	0.13	0.30	0.109	0.0327	0.518	0.0631	0.33	0.063	0.0108	0.1146	0.10	0.32	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
10	Estructura Alcantarilla con aleros 30°	10_9	0.12	0.30	0.114	0.0342	0.528	0.0648	0.32	0.067	0.0108	0.1191	0.11	0.30	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
09		9_8	0.20	0.15	0.100	0.0150	0.350	0.0429	0.72	0.022	0.0108	0.1265	0.09	0.73	0.081	0.89	0.1215	Subcrítico
08		8_7	0.20	0.15	0.075	0.0113	0.300	0.0375	0.96	0.015	0.0108	0.1222	0.08	1.12	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
07		7_6	0.12	0.15	0.050	0.0075	0.250	0.0300	1.44	0.009	0.0108	0.1562	0.07	2.06	0.081	0.89	0.1215	Supercrítico
06	6_5	0.13	0.30	0.041	0.0123	0.382	0.0322	0.88	0.015	0.0108	0.0805	0.07	1.39	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico	
05	Aguas abajo	5_4	0.25	0.30	0.054	0.0162	0.408	0.0397	0.67	0.023	0.0108	0.0768	0.08	0.92	0.051	0.71	0.0765	Subcrítico
04		4_3	0.25	0.30	0.031	0.0093	0.362	0.0257	1.16	0.010	0.0108	0.1001	0.07	2.11	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
03		3_2	0.25	0.30	0.021	0.0063	0.342	0.0184	1.72	0.005	0.0108	0.1715	0.06	3.79	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
02		2_1	0.25	0.30	0.025	0.0075	0.350	0.0214	1.44	0.007	0.0108	0.1312	0.06	2.91	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico
01		1_0	0.25	0.30	0.023	0.0069	0.346	0.0199	1.57	0.006	0.0108	0.1485	0.06	3.30	0.051	0.71	0.0765	Supercrítico