



TRABAJO FIN DE ESTUDIOS

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y
Puertos y de Ingeniería de Minas

ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE FONDO CON REJAS TIPO COANDA

GRADO EN INGENIERIA CIVIL

Autora: Lorente Delgado, Mónica

Directores: Carrillo Sánchez, José María

García Bermejo, Juan Tomás

2021-2022

A mis padres porque sin ellos ahora no estaría en el mundo.

A mis tutores José María Carrillo y Juan García, por la gran ayuda y paciencia mostrada durante este estudio de laboratorio.

A mis amigos, Susana, Alberto, Martín, Inma y Noel, por la gran ayuda y por compartir estos años de alegrías y llantos, que sin vosotros no habrían sido igual.

A Beatriz, por acompañarme en esta aventura y ser un gran apoyo.

A mi familia Erasmus+, Ana, Marta y Lucila, por compartir esta gran experiencia juntas y estar en cada momento desde entonces.

Y en especial a mi madrina, a mi abuela y a mi hermana María, por ser mi gran apoyo siempre, por los consejos y por enseñarme a no rendirme y seguir hacía adelante con alegría y fortaleza cuando la vida se pone difícil. Gracias a vosotras soy la persona de ahora.

ÍNDICE

1. RESUMEN	13
2. ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE FONDO BASADOS EN REJAS CON EFECTO COANDA	15
2.1. Introducción	15
2.2. Pantalla efecto Coanda.....	15
2.3. Casos estudiados	18
2.3.1. Prueba hidráulica de cribas inclinadas estáticas autolimpiables (Wahl, 1995)	18
.....	1
8	
2.3.1.1. Introducción.....	18
2.3.1.2. Material y métodos.....	18
2.3.1.3. Resultados y conclusiones.....	19
2.3.2. Rendimiento hidráulico de las pantallas de Efecto Coanda (Wahl, 2001) 19	
2.3.2.1. Introducción.....	19
2.3.2.2. Material y métodos.....	19
2.3.2.3. Resultados y conclusiones.....	20
2.3.3. Nuevas pruebas de capacidad de las cribas de Efecto Coanda (Wahl, 2013).....	20
2.3.3.1. Introducción.....	20
2.3.3.2. Material y métodos.....	21
2.3.3.3. Resultados y conclusiones.....	21
2.3.4. Rendimiento de las pantallas de efecto Coanda en clima frío (Hanne Novik, Leif Lia y Henrik Opaker, 2014)	22
2.3.4.1. Introducción.....	22
2.3.4.2. Material y métodos.....	22
2.3.4.3. Resultados y conclusiones.....	22
2.3.5. Mejora de la tecnología de pantallas con efecto Coanda (Wahl, 2017) ..	23
2.3.5.1. Introducción.....	23
2.3.5.2. Material y métodos.....	23
2.3.5.3. Resultados y conclusiones.....	24
2.4. Programa Informático	25
3. DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO HIDRÁULICO EXISTENTE EN LA UPCT.....	28

3.1.	Tubería de acero galvanizado	28
3.2.	Arqueta de entrada	28
3.3.	Conducciones en canal	29
3.3.1.	Canal de entrada	29
3.3.2.	Canal de caudal no captado	30
3.3.3.	Canal de caudal captado	31
3.4.	Rejas efecto Coanda	33
3.5.	Plato de aceleración	35
4.	CAMPAÑA EXPERIMENTAL REALIZADA EN LA UPCT	37
4.1.	Toma de medidas en la zona de la pantalla, plato de aceleración y zona de canal	38
4.1.1.	Preparación de instrumental utilizado en laboratorio	38
4.1.2.	Método de medida.....	38
5.	ANÁLISIS DE LA CAMPAÑA EXPERIMENTAL Y COMPARATIVA CON LOS RESULTADOS DE OTROS ESTUDIOS.....	40
5.1.	Método de cálculo experimental.....	40
5.1.1.	Cálculo de la representación de la capacidad de la reja	40
5.1.2.	Cálculo de la representación de la velocidad de caudal por la reja	42
5.1.3.	Cálculo del Coeficiente de descarga (C_q)	43
5.2.	Reja H1	45
5.2.1.	Análisis del procedimiento	45
5.2.2.	Resultados y comparación	45
5.2.2.1.	Caudal 42.22 l/s/m.....	45
5.2.2.2.	Caudal 46.66 l/s/m.....	50
5.2.2.3.	Caudales 52.22 l/s/m y 55.56 l/s/m	54
5.2.2.4.	Caudales 60 l/s/m y 67.22 l/s/m	60
5.3.	Reja H2	66
5.3.1.	Análisis del procedimiento	66
5.3.2.	Resultados y comparación	66
5.3.2.1.	Caudales 36.10 l/s/m y 40 l/s/m	66
5.3.2.2.	Caudales 46.66 l/s/m y 51.10 l/s/m	70
5.3.2.3.	Caudales 57.22 l/s/m y 63.88 l/s/m	74
5.4.	Reja H3	80
5.4.1.	Análisis del procedimiento	80

5.4.2.	Resultados y comparación	80
5.4.2.1.	Caudales 40 l/s/m y 44.44 l/s/m	80
5.4.2.2.	Caudales 51.10 l/s/m y 57.22 l/s/m	84
5.4.2.3.	Caudales 63.34 l/s/m y 67.22 l/s/m	88
5.5.	Reja H4	95
5.5.1.	Análisis del procedimiento	95
5.5.2.	Resultados y comparaciones	95
5.5.2.1.	Caudales 45.56 l/s/m, 50 l/s/m y 55.56 l/s/m	95
5.5.2.2.	Caudales 61.12 l/s/m, 66.66 l/s/m y 72.22 l/s/m	101
5.6.	Reja Noche y Día.....	109
5.6.1.	Análisis del procedimiento	109
5.6.2.	Resultados y comparaciones	109
5.6.2.1.	Caudales 13.88 l/s/m, 18.34 l/s/m y 20.56 l/s/m	109
5.6.2.2.	Caudales 23.88 l/s/m, 27.80 l/s/m y 30.54 l/s/m	115
5.7.	Coefficiente de descarga de las rejillas de estudio	123
6.	CONCLUSIONES Y PRÓXIMOS PASOS DE FONDO CON PANTALLAS PROPUESTOS	127
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	130
	ANEXO 1: Tablas y curvas de datos obtenidos en laboratorio	132

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1.	Pantalla efecto Coanda. (Fuente: Plastok, 2014)	16
Figura 2.	Toma de fondo de agua Tirolesa. (Fuente: PRONAR, 2010)	17
Figura 3.	Geometría de la pantalla y variables de flujo. (Fuente: Wahl, 2017)	27
Figura 4.	Tubería de acero galvanizado y exterior de arqueta.....	29
Figura 5.	Canal de entrada.....	30
Figura 6.	Carro móvil porta instrumentos.....	30
Figura 7.	Arqueta con pared de ladrillo y aliviadero tipificado en “V”	31
Figura 8.	Canal de caudal no captado	31
Figura 9.	Canal de caudal captado, con tramo curvo y desarenador.	32
Figura 10.	Tramo de reducción.	32
Figura 11.	Rejas utilizadas en laboratorio a), b), c), d) y e).....	33
Figura 12.	Esquema del perfil detallado de los parámetros característicos de la reja.....	34
Figura 13.	Estructura metálica de 60° con plato de aceleración y reja.....	35
Figura 14.	Perfil de dimensiones del plato de aceleración.....	36
Figura 15.	Estructura de plato de aceleración utilizado en laboratorio.	36
Figura 16.	Perfil de la curva de flujo en reja H1, para el caudal 67.22 l/s/m	41
Figura 17.	Vista longitudinal de un sistema de captación de fondo con la hipótesis de energía específica constante tomada de Garcia (2016)	42
Figura 18.	Representación gráfica completa de la curva de caudal 42.22 l/s/m en la reja H1	47
Figura 19.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 42.22 l/s/m, en la reja H1	49
Figura 20.	Entrada al software con los parámetros de la reja H1.....	49
Figura 21.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 42.22 l/s/m en la reja H1 .	50
Figura 22.	Representación gráfica de la curva de caudal 46.66 l/s/m en la reja H1 .	50
Figura 23.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 46.66 l/s/m, reja H1.....	53
Figura 24.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 46.66 l/s/m, reja H1.....	54
Figura 25.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 52.22 l/s/m, reja H1.....	57
Figura 26.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 52.22 l/s/m, reja H1.....	58
Figura 27.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 55.56 l/s/m, reja H1.....	59
Figura 28.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 55.56 l/s/m, reja H1.....	59
Figura 29.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 60 l/s/m, reja H1.....	62

Figura 30.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 60 l/s/m, reja H1.....	63
Figura 31.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 67.22 l/s/m, reja H1.....	64
Figura 32.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 67.22 l/s/m, reja H1.....	65
Figura 33.	Comportamiento en laboratorio de los 6 caudales sobre la reja H1	65
Figura 34.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 36.10 l/s, reja H2	68
Figura 35.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 36.10 l/s/m, reja H2.....	69
Figura 36.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 40 l/s/m, reja H2.....	69
Figura 37.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 40 l/s/m, reja H2.....	70
Figura 38.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 46.66 l/s/m, reja H2.....	72
Figura 39.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 46.66 l/s/m, reja H2.....	72
Figura 40.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 51.10 l/s/m, reja H2.....	73
Figura 41.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 51.10 l/s/m, reja H2.....	74
Figura 42.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 57.22 l/s/m, reja H2.....	76
Figura 43.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 57.22 l/s/m, reja H2.....	77
Figura 44.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 63.88 l/s/m, reja H2.....	77
Figura 45.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 63.88 l/s/m, reja H2.....	78
	79
Figura 46.	Comportamiento en laboratorio de los 6 caudales sobre la reja H2	79
Figura 47.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 40 l/s/m, reja H3.....	82
Figura 48.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 44.44 l/s/m, reja H3.....	83
Figura 49.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 40 l/s/m, reja H3.....	83
Figura 50.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 44.44 l/s/m, reja H3.....	84
Figura 51.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 51.10 l/s/m, reja H3.....	86

Figura 52.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 57.22 l/s/m, reja H3.....	87
Figura 53.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 51.10 l/s/m, reja H3.....	88
Figura 54.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 57.22 l/s/m, reja H3.....	88
Figura 55.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 63.34 l/s/m, reja H3.....	91
Figura 56.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 67.22 l/s/m, reja H3.....	92
Figura 57.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 63.34 l/s/m reja H3.....	93
Figura 58.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 67.22 l/s/m, reja H3.....	93
Figura 59.	Comportamiento en laboratorio de los 6 caudales sobre la reja H3	94
Figura 60.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 45.56 l/s/m, reja H4.....	98
Figura 61.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 50 l/s/m, reja H4.....	98
Figura 62.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 55.56 l/s/m, reja H4.....	99
Figura 63.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 45.56 l/s/m, reja H4.....	100
Figura 64.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 50 l/s/m, reja H4.....	100
Figura 65.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 55.56 l/s/m, reja H4.....	101
Figura 66.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 61.12 l/s/m, reja H4.....	104
Figura 67.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 66.66 l/s/m, reja H4.....	104
Figura 68.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 72.22 l/s/m, reja H4.....	105
Figura 69.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 61.12 l/s/m, reja H4.....	106
Figura 70.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 66.66 l/s/m, reja H4.....	106
Figura 71.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 72.22 l/s/m, reja H4.....	107
Figura 72.	Comportamiento en laboratorio de los 6 caudales sobre la reja H4	108
Figura 73.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 13.88 l/s/m, reja Noche y Día	112
Figura 74.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 18.34 l/s/m, reja Noche y Día	113

Figura 75.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 20.56 l/s/m, reja Noche y Día	113
Figura 76.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 13.88 l/s/m, reja Noche y Día.....	114
Figura 77.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 18.34 l/s/m, reja Noche y Día.....	115
Figura 78.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 20.56 l/s/m, reja Noche y Día.....	115
Figura 79.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 23.88 l/s/m, reja Noche y Día	118
Figura 80.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 27.80 l/s/m, reja Noche y Día	118
Figura 81.	Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 30.54 l/s/m, reja Noche y Día	119
Figura 82.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 23.88 l/s/m, reja Noche y Día.....	120
Figura 83.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 27.80 l/s/m, reja Noche y Día.....	120
Figura 84.	Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 30.54 l/s/m, reja Noche y Día.....	121
Figura 85.	Comportamiento en laboratorio de los 6 caudales sobre la reja Noche y Día.....	122
Figura 86.	Representación gráfica del Coeficiente de descarga (C_q) calculados, respecto a la posición horizontal sobre la reja H1	123
Figura 87.	Representación gráfica del Coeficiente de descarga (C_q) calculados, respecto a la posición horizontal sobre la reja H2	124
Figura 88.	Representación gráfica del Coeficiente de descarga (C_q) calculados, respecto a la posición horizontal sobre la reja H3	124
Figura 89.	Representación gráfica del Coeficiente de descarga (C_q) calculados, respecto a la posición horizontal sobre la reja H4	125
Figura 90.	Representación gráfica del Coeficiente de descarga (C_q) calculados, respecto a la posición horizontal sobre la reja NyD	125
Figura A1-1.	Perfil laminar del caudal 52.22 l/s/m para la reja H1.....	133
Figura A1-2.	Perfil laminar del caudal 55.56 l/s/m para la reja H1	134
Figura A1-3.	Perfil laminar del caudal 60 l/s/m para la reja H1	135
Figura A1-4.	Perfil laminar del caudal 36.10 l/s/m para la reja H2.....	138
Figura A1-5.	Perfil laminar del caudal 40 l/s/m para la reja H2	139
Figura A1-6.	Perfil laminar del caudal 46.66 l/s/m para la reja H2	140

Figura A1-7. Perfil laminar del caudal 51.10 l/s/m para la reja H2	141
Figura A1-8. Perfil laminar del caudal 57.22 l/s/m para la reja H2	142
Figura A1-9. Perfil laminar del caudal 63.88 l/s/m para la reja H2	143
Figura A1-10. Perfil laminar del caudal 40 l/s/m para la reja H3	145
Figura A1-11. Perfil laminar del caudal 44.44 l/s/m para la reja H3	146
Figura A1-12. Perfil laminar del caudal 51.10 l/s/m para la reja H3	147
Figura A1-13. Perfil laminar del caudal 57.22 l/s/m para la reja H3	148
Figura A1-14. Perfil laminar del caudal 63.34 l/s/m para la reja H3	149
Figura A1-15. Perfil laminar del caudal 67.22 l/s/m para la reja H3	150
Figura A1-16. Perfil laminar del caudal 45.56 l/s/m para la reja H4	152
Figura A1-17. Perfil laminar del caudal 50 l/s/m para la reja H4	153
Figura A1-18. Perfil laminar del caudal 55.56 l/s/m para la reja H4	154
Figura A1-19. Perfil laminar del caudal 61.12 l/s/m para la reja H4	155
Figura A1-20. Perfil laminar del caudal 66.66 l/s/m para la reja H4	156
Figura A1-21. Perfil laminar del caudal 72.22 l/s/m para la reja H4	157
Figura A1-22. Perfil laminar del caudal 13.88 l/s/m para la reja NyD	159
Figura A1-23. Perfil laminar del caudal 18.34 l/s/m para la reja NyD	159
Figura A1-24. Perfil laminar del caudal 20.56 l/s/m para la reja NyD	160
Figura A1-25. Perfil laminar del caudal 23.88 l/s/m para la reja NyD	160
Figura A1-26. Perfil laminar del caudal 27.80 l/s/m para la reja NyD	161
Figura A1-27. Perfil laminar del caudal 30.54 l/s/m para la reja NyD	161

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Resumen de datos de las pantallas utilizadas en Wahl, 2013	21
Tabla 2.	Parámetros de diseño de las rejillas para la realización de pruebas.....	34
Tabla 3.	Datos recogidos en laboratorio para el caudal 42.22 l/s/m en la rejilla H1 ...	46
Tabla 4.	Datos representativos de velocidad para el caudal 42.22 l/s/m en la rejilla H1.....	47
Tabla 5.	Datos representativos de tirante para el caudal 42.22 l/s/m en la rejilla H1.	48
Tabla 6.	Datos recogidos en laboratorio del caudal 46.66 l/s/m en la rejilla H1	51
Tabla 7.	Datos representativos de velocidad para el caudal 46.66 l/s/m en la rejilla H1.....	51
Tabla 8.	Datos representativos de tirante para el caudal 46.66 l/s/m en la rejilla H1.	52
Tabla 9.	Datos representativos de velocidad para el caudal 52.22 l/s/m en la rejilla H1.....	55
Tabla 10.	Datos representativos de tirante para el caudal 52.22 l/s/m en la rejilla H1.....	55
Tabla 11.	Datos representativos de velocidad para el caudal 55.56 l/s/m en la rejilla H1.....	55
Tabla 12.	Datos representativos de tirante para el caudal 55.56 l/s/m en la rejilla H1.....	56
Tabla 13.	Datos representativos de tirante para el caudal 60 l/s/m en la rejilla H1 ..	60
Tabla 14.	Datos representativos de velocidad para el caudal 60 l/s/m en la rejilla H1.....	60
Tabla 15.	Datos representativos de tirante para el caudal 67.22 l/s/m en la rejilla H1.....	61
Tabla 16.	Datos representativos de velocidad para el caudal 67.22 l/s/m en la rejilla H1.....	61
Tabla 17.	Datos representativos de tirante para el caudal 36.10 l/s/m en la rejilla H2.....	67
Tabla 18.	Datos representativos de velocidad para el caudal 36.10 l/s/m en la rejilla H2.....	67
Tabla 19.	Datos representativos de tirante para el caudal 40 l/s/m en la rejilla H2 ..	67
Tabla 20.	Datos representativos de velocidad para el caudal 40 l/s/m en la rejilla H2.....	67
Tabla 21.	Datos representativos de tirante para el caudal 46.66 l/s/m en la rejilla H2.....	70
Tabla 22.	Datos representativos de velocidad para el caudal 46.66 l/s/m en la rejilla H2.....	71
Tabla 23.	Datos representativos de tirante para el caudal 51.10 l/s/m en la rejilla H2.....	71
Tabla 24.	Datos representativos de velocidad para el caudal 51.10 l/s/m en la rejilla H2.....	71
Tabla 25.	Datos representativos de tirante para el caudal 57.22 l/s/m en la rejilla H2.....	74

Tabla 26.	Datos representativos de velocidad para el caudal 57.22 l/s/m en la reja H2.....	75
Tabla 27.	Datos representativos de tirante para el caudal 63.88 l/s/m en la reja H2.....	75
Tabla 28.	Datos representativos de velocidad para el caudal 63.88 l/s/m en la reja H2.....	75
Tabla 29.	Datos representativos de tirante para el caudal 40 l/s/m en la reja H3 ..	80
Tabla 30.	Datos representativos de velocidad para el caudal 40 l/s/m en la reja H3.....	81
Tabla 31.	Datos representativos de tirante para el caudal 44.44 l/s/m en la reja H3.....	81
Tabla 32.	Datos representativos de velocidad para el caudal 44.44 l/s/m en la reja H3.....	81
Tabla 33.	Datos representativos de tirante para el caudal 51.10 l/s/m en la reja H3.....	84
Tabla 34.	Datos representativos de velocidad para el caudal 51.10 l/s/m en la reja H3.....	85
Tabla 35.	Datos representativos de tirante para el caudal 57.22 l/s/m en la reja H3.....	85
Tabla 36.	Datos representativos de velocidad para el caudal 57.22 l/s/m en la reja H3.....	85
Tabla 37.	Datos representativos de tirante para el caudal 63.34 l/s/m en la reja H3.....	89
Tabla 38.	Datos representativos de velocidad para el caudal 63.34 l/s en la reja H3.....	89
Tabla 39.	Datos representativos de tirante para el caudal 67.22 l/s/m en la reja H3.....	89
Tabla 40.	Datos representativos de velocidad para el caudal 67.22 l/s/m en la reja H3.....	90
Tabla 41.	Datos representativos de tirante para el caudal 45.56 l/s/m en la reja H4.....	96
Tabla 42.	Datos representativos de velocidad para el caudal 45.56 l/s/m en la reja H4.....	96
Tabla 43.	Datos representativos de tirante para el caudal 50 l/s/m en la reja H4 ..	96
Tabla 44.	Datos representativos de velocidad para el caudal 50 l/s/m en la reja H4.....	96
Tabla 45.	Datos representativos de tirante para el caudal 55.56 l/s/m en la reja H4.....	97
Tabla 46.	Datos representativos de velocidad para el caudal 55.56 l/s/m en la reja H4.....	97
Tabla 47.	Datos representativos de tirante para el caudal 61.12 l/s/m en la reja H4.....	101
Tabla 48.	Datos representativos de velocidad para el caudal 61.12 l/s/m en la reja H4.....	102

Tabla 49.	Datos representativos de tirante para el caudal 66.66 l/s/m en la reja H4.....	102
Tabla 50.	Datos representativos de velocidad para el caudal 66.66 l/s/m en la reja H4.....	102
Tabla 51.	Datos representativos de tirante para el caudal 72.22 l/s/m en la reja H4.....	103
Tabla 52.	Datos representativos de velocidad para el caudal 72.22 l/s/m en la reja H4.....	103
Tabla 53.	Datos representativos de tirante para el caudal 13.88 l/s/m en la reja Noche y Día.....	110
Tabla 54.	Datos representativos de velocidad para el caudal 13.88 l/s/m en la reja Noche y Día.....	110
Tabla 55.	Datos representativos de tirante para el caudal 18.34 l/s/m en la reja Noche y Día.....	110
Tabla 56.	Datos representativos de velocidad para el caudal 18.34 l/s/m en la reja Noche y Día.....	111
Tabla 57.	Datos representativos de tirante para el caudal 20.56 l/s/m en la reja Noche y Día.....	111
Tabla 58.	Datos representativos de velocidad para el caudal 20.56 l/s/m en la reja Noche y Día.....	111
Tabla 60.	Datos representativos de tirante para el caudal 23.88 l/s/m en la reja Noche y Día.....	116
Tabla 61.	Datos representativos de velocidad para el caudal 23.88 l/s/m en la reja Noche y Día.....	116
Tabla 62.	Datos representativos de tirante para el caudal 27.80 l/s/m en la reja Noche y Día.....	116
Tabla 63.	Datos representativos de velocidad para el caudal 27.80 l/s/m en la reja Noche y Día.....	116
Tabla 64.	Datos representativos de tirante para el caudal 30.54 l/s/m en la reja Noche y Día.....	117
Tabla 65.	Datos representativos de velocidad para el caudal 30.54 l/s/m en la reja Noche y Día.....	117
Tabla A1-1.	Datos recogidos en laboratorio para el caudal 52.22 l/s/m en la reja H1	132
Tabla A1-2.	Datos recogidos en laboratorio para el caudal 55.56 l/s/m en la reja H1	133
Tabla A1-3.	Datos recogidos en laboratorio para el caudal 30 l/s/m en la reja H1	134
Tabla A1-4.	Datos recogidos en laboratorio para el caudal 67.22 l/s/m en la reja H1	136
Tabla A1-5.	Datos y cálculos de estudio de la reja H1	137
Tabla A1-6.	Datos recogidos en laboratorio para el caudal 36.10 l/s/m en la reja H2	138
Tabla A1-7.	Datos recogidos en laboratorio para el caudal 40 l/s/m en la reja H2	139
Tabla A1-8.	Datos recogidos en laboratorio para el caudal 46.66 l/s/m en la reja H2	140
Tabla A1-9.	Datos recogidos en laboratorio para el caudal 51.10 l/s/m en la reja H2	141
Tabla A1-10.	Datos recogidos en laboratorio para el caudal 57.22 l/s/m en la reja H2	142

Tabla A1-11. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 63.88 l/s/m en la reja H2	143
Tabla A1-12. Datos y cálculos del estudio de la reja H2.....	144
Tabla A1-13. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 40 l/s/m en la reja H3 ...	145
Tabla A1-14. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 44.44 l/s/m en la reja H3	146
Tabla A1-15. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 51.10 l/s/m en la reja H3	147
Tabla A1-16. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 57.22 l/s/m en la reja H3	148
Tabla A1-17. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 63.34 l/s/m en la reja H3	149
Tabla A1-18. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 67.22 l/s/m en la reja H3	150
Tabla A1-19. Datos y cálculos del estudio de la reja H3.....	151
Tabla A1-20. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 45.56 l/s/m en la reja H4	152
Tabla A1-21. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 50 l/s/m en la reja H4 ...	153
Tabla A1-22. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 55.56 l/s/m en la reja H4	154
Tabla A1-23. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 61.12 l/s/m en la reja H4	155
Tabla A1-24. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 66.66 l/s/m en la reja H4	156
Tabla A1-25. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 72.22 l/s/m en la reja H4	157
Tabla A1- 26. Datos y cálculos del estudio de la reja H4.....	158
Tabla A1-27. Datos y cálculos del estudio de la reja NyD	162

1. RESUMEN

En los cauces efímeros, donde prima el transporte de sedimentos y todo tipo de residuos, se estudian las infraestructuras de sistemas de captación de fondo. De forma breve, estos sistemas de captación de fondo se pueden formar por las siguientes partes: a) reja de captación; b) canal de transporte; c) desarenador.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar y analizar estos sistemas de captación de fondo, centrándose en la zona de la reja de efecto Coanda, considerando el ángulo de inclinación formado por la reja, además de las condiciones del flujo al aproximarse a la entrada de la reja, definiendo la cantidad de caudal derivado, el perfil de la lámina de agua y el coeficiente de descarga. Anteriormente a este estudio, realizaron campañas experimentales, analizando su diseño, características, capacidades de descarga (Wahl, 1995), relacionando parámetros hidráulicos básicos y, más adelante, realizando pruebas con una gama más amplia de condiciones de flujo, permitiendo un análisis más exacto de las variables que afectan a su rendimiento. Además, se desarrolló un modelo numérico el cual permite predecir el coeficiente de descarga dependiendo de la abertura del ángulo de la ranura de la criba (Wahl, 2013). Finalmente, se realizaron nuevas pruebas con descargas de caudal mayores, lo cual permitió que el nuevo modelo de coeficiente de descarga mejorara en la predicción de caudal en pantallas Coanda de pendiente plana y baja altura de caída.

Las pruebas realizadas en este Trabajo Final de Grado fueron llevadas a cabo en el laboratorio de hidráulica de la UPCT, mediante una infraestructura construida para el estudio de rejillas de fondo. Se analizaron rejillas Coanda con ángulo de 60° , con índices de huecos de 0.20 hasta 0.484, y anchos de barrote de 1.4, 1.5 y 2.4 mm. Con la ayuda de las diferentes mediciones realizadas en el proyecto y el software creado por Tony L. Wahl, para agua clara (libre de sedimentos y residuos), se lleva a cabo el análisis de resultados obtenidos en laboratorio para definir el coeficiente de descarga.

El análisis ha permitido comprobar la gran aproximación de la curva de la lámina de agua, sobre todo en las rejillas H4 y NyD, con la curva generada por el modelo, aunque cabe destacar la diferencia en los datos de velocidad ya que en algunos casos llegan a sobre pasar el 8% de diferencia entre curvas, como se ve en la rejilla H1 alcanzando un

valor de 8.7%. El valor de diferencia más bajo se ve en las rejas NyD, H2 y H3 rondando el algunos de sus curvas de velocidad una diferencia del 6%.

La diferencia entre los valores de coeficiente de descarga de la reja H3 con mayor índice de huecos y los valores de descarga de la reja H2, con el menor índice de huecos, es del 48.6%.

El objetivo de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030 de Naciones Unidas, muestra similitud con la motivación de este estudio, ya que debido a la falta de agua potable y a su mala calidad, llevamos a estudio las rejas de fondo para una gestión sostenible y un adecuado saneamiento. El objetivo de la agenda de las Naciones Unidas en 2030 en el ámbito de agua y saneamiento es el número 6 y dice así; “Garantizar la disponibilidad de agua y gestión sostenible y el saneamiento para todos”.

2. ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE FONDO BASADOS EN REJAS CON EFECTO COANDA

2.1. Introducción

El agua es un bien esencial e imprescindible para la supervivencia de la vida humana. En la actualidad, la situación de 17 países es de niveles altos de estrés hídrico, es decir, una alta demanda de agua potable para el agua disponible que hay en esa región, (también se refiere a la mayor cantidad de agua disponible, pero no apta para el consumo humano). Esta situación de estrés hídrico se prevé que aumente para 2040, hasta en 33 países, entre ellos España, Italia y Chile.

Las zonas rurales, son regiones alejadas del núcleo urbano que cada vez están siendo más despobladas debido a la migración a zonas urbanas. Aun así, el abastecimiento de agua potable en estas zonas es difícil, puesto que el agua utilizada es superficial y esta contiene sedimentos y, por tanto, es necesario aplicarle un determinado tratamiento para poder utilizarla de forma segura.

2.2. Pantalla efecto Coanda

Henri-Marie Coanda (1886-1972), ingeniero aerodinámico e inventor rumano, observó en 1910 la tendencia de un chorro de fluido a mantenerse adherido a una superficie sólida con cierta curvatura, lo que se denomina efecto Coanda.

En el año 1983, este efecto se aplicó a las cribas en pantallas, llamándolas pantallas o rejillas de efecto Coanda. En la década de 1980, se comenzaron a utilizar las cribas de efecto Coanda para la separación de restos orgánicos en tomas de aguas. En 1995, Bureau of Reclamation, llevó a cabo una investigación para estimar la capacidad de captación que tenían estas pantallas, aunque no consideró ciertas condiciones de flujo que se debían tener en cuenta.

Como se ha comentado anteriormente, el efecto Coanda es la tendencia a quedar adherido un fluido en contacto con una superficie sólida con curvatura o ángulo no pronunciado. Este efecto se da en las pantallas destinadas para la toma de fondo de agua, denominadas pantallas de Efecto Coanda (Figura 1).



Figura 1. Pantalla efecto Coanda. (Fuente: Plastok, 2014)

La función de estas rejas es la de evitar que peces pasen por ella, además de separar escombros, sedimentos y sólidos del flujo de agua, que circula por una canal o aguas fluviales.

La pantalla está formada por una malla compuesta de alambres de acero inoxidable. Estos alambres tienen un perfil triangular, es decir, en forma de cuña, distanciados entre sí, inclinados unos pocos grados aguas abajo, y que se puede disponer con una pendiente de rejilla que puede ir desde la posición horizontal hasta un ángulo mayor de 50°. Cuanta más pendiente tenga la pantalla, más velocidad tendrá el flujo.

Los alambres están orientados de forma transversal a la dirección principal del flujo. Al estar unos pocos grados inclinados hacia aguas abajo, es decir la inclinación es respecto a la barra consecutiva de aguas abajo, hace que se produzca cizallamiento mecánico cuando pasa el flujo por esta superficie, además del efecto Coanda, produciendo así la separación de residuos y sedimentos con el flujo. Por tanto, el flujo de agua cae adherido por la superficie de la pantalla, limitando el paso de sedimentos y escombros, donde la mayor parte de estos son conducidos por la superficie aguas abajo del canal, o a un depósito de residuos, mientras que cierta cantidad de agua, sino toda es derivada a través de la pantalla, a un depósito de agua.

La inclinación del plano de la pantalla es importante, ya que de eso dependerá la velocidad de flujo, es decir, si la reja se encuentra con una posición “casi vertical”, el

flujo irá a mayor velocidad. Esto quiere decir que los sedimentos y residuos pasaran por la superficie del plano de la reja, aguas abajo.

El efecto de cizallamiento de los alambres de la pantalla, sucede con la velocidad, es decir, si la velocidad de flujo es alta, el efecto de corte es mayor.

Otra importante característica de este tipo de pantalla es la capacidad de autolimpieza, que se debe a la fuerza del agua que se genera por la inclinación de la reja.

Existe otro tipo de rejillas, llamada Tirolesa (Figura 2), la cual es utilizada también para la toma de fondo de agua. Esta pantalla está compuesta por unos barrotes rectos, separados a una determinada distancia "s". Estas barras son colocadas paralelas a la dirección del flujo del canal, con una pendiente hacia aguas abajo de 15 a 30 grados para así tener una cierta velocidad la cual permita que los materiales y/o sedimentos pasen de largo por la reja. Este tipo de reja se inició en la región del Tirol perteneciente al territorio europeo, en el año 1918. Su uso es más habitual en zonas montañosas.

Para evitar que se produzca obstrucción realizaron una investigación sobre cuál sería la mínima inclinación necesaria en la pantalla, para que no fuera obstruida de sedimentos o residuos. En este estudio, concluyó que con ángulo 30°, obtendría máximo rendimiento, y en ángulo cero las peores (Castillo, García y Carrillo, en 2013).



Figura 2. Toma de fondo de agua Tirolesa. (Fuente: PRONAR, 2010)

2.3. Casos estudiados

Desde la aparición del efecto Coanda comenzaron a realizarse investigaciones y estudios sobre este efecto en la captación de agua, y aplicación en la separación de sedimentos, residuos y peces.

2.3.1. Prueba hidráulica de cribas inclinadas estáticas autolimpiables (Wahl, 1995)

2.3.1.1. Introducción

Este estudio se llevó a cabo en el laboratorio de hidráulica del Bureau of Reclamation. Se realizaron diferentes pruebas, realizando variaciones que definen variables de diseño de las pantallas Coanda. Estas cribas se probaron con el objetivo de que se aplicaran de cara a la eliminación de residuos finos, estructuras de desvío y exención de peces.

2.3.1.2. Material y métodos

El estudio analizó tres cribas de diferente configuración, con dos tipos de pantallas con pequeña curvatura, realizadas con alambre en cuña de acero inoxidable.

El diseño de la primera pantalla consistía en la utilización de alambres de cuña, colocados transversales a la dirección del flujo. Estos alambres constaban de una anchura de 1.5 mm aproximadamente, distanciados a 1 mm. Además, estaban inclinados 5°, respecto a su orientación normal. Se consideraron dos configuraciones diferentes de cresta, una de ellas a 50° y otra a 60° desde la vertical, además de tener diferente distancia respecto del inicio de la caída hasta el inicio de la pantalla (0.249 m y 0.366 m, respectivamente) y caudal de diseño (0.372 m³/s/m y 0.116 m³/s/m, respectivamente).

El otro diseño de pantalla, está formado también por alambres en cuña, con la diferencia de que estos alambres no se encontraban inclinados, y estaban dispuestos en dirección paralela al flujo de agua. Esta pantalla se puso a prueba en la configuración de 60° desde la vertical. Este diseño de pantalla se probó con la intención que causara menos daños a los peces, aunque no se ejercía el efecto Coanda.

Todas las pruebas se realizaron con agua limpia, es decir, sin ningún tipo de residuo o sedimento, y también con materiales derivados de la madera, (virutas de madera o serrín).

2.3.1.3. Resultados y conclusiones

Los resultados fueron muy favorables para las pantallas de alambres inclinados 5° y perpendiculares a la dirección del flujo una capacidad de mucho mayor.

La pantalla situada con inclinación a 60° presentó mayor eficiencia debido a su mayor grado de inclinación (60°) y distancia de caída (0.366 m) que se daba en esta configuración establecida.

En las pantallas de alambres inclinados, se vieron inicialmente obstrucciones de los residuos soltados, por lo que aumentó el nivel del flujo, aun así, los residuos se desprendieron fácilmente con el paso del agua.

2.3.2. Rendimiento hidráulico de las pantallas de Efecto Coanda (Wahl, 2001)

2.3.2.1. Introducción

Durante este estudio se presenta un modelo informático, el cual tiene como objetivo, predecir las variables hidráulicas en las pantallas de efecto Coanda.

El modelo teóricamente relacionaba el número de Froude, de Reynolds, de Weber y la energía específica, con la descarga de flujo entre los alambres levemente inclinados de la pantalla. Las predicciones de este programa se refieren a resultados de pruebas con agua clara, es decir, sin tener en cuenta residuos y sedimentos.

2.3.2.2. Material y métodos

El canal tenía 20 m de largo, 0.30 m de ancho. Las mediciones se realizarían en 3 posiciones, situadas después de la cresta, o placa de aceleración, con una inclinación de pantalla de 37°.. Los caudales oscilaban entre 0.023 m³/s/m y 0.46 m³/s/m.

El diseño de las pantallas 1, 2 y 3, eran de ancho de hilo de alambre (w), 2.4 mm, 1.55 mm y 1.5 mm, respectivamente, el ancho de ranura 1 mm para las pantallas 1 y 2, y de 0.5 mm para la pantalla 3. Los grados de inclinación de alambre eran 3.82°, 3.37° y 6.88°,

respectivamente para cada pantalla. La velocidad del flujo aguas abajo en la superficie de la pantalla se midió utilizando un tubo de Pitot.

Los valores de C_{cv} se obtuvieron mediante pruebas experimentales en laboratorio. El parámetro C_{cv} se refiere al coeficiente de velocidad y al coeficiente de contracción del flujo a través de la ranura. Estas pruebas constaban de una instalación en la que se medían los caudales captados en pequeños tramos de tres pantallas diferentes. Los ensayos se realizaron en un rango de 2.5 a 16 de número de Froude.

La ecuación de orificio viene dada por la siguiente expresión:

$$Q = C_q * A * \sqrt{2 * g * h} \quad (1)$$

donde; Q , se refiere al caudal, A el área de orificio, C_q es el coeficiente de descarga, g es la aceleración gravitacional y h se refiere a la altura o calado.

2.3.2.3. Resultados y conclusiones

Los resultados de las velocidades tomadas mediante el tubo de Pitot oscilaron entre, 2.1 m/s y 4.4 m/s.

Se obtuvieron varias relaciones en las que los valores de C_{cv} variaban en función de los valores de los números de Froude, de Weber, de Reynolds, y la relación entre la viscosidad y temperatura.

$$C_{cv} = 0.210 + 0.0109 * \left(\frac{R}{W}\right) + 0.00803 * (F) \quad (2)$$

donde; (R/W) , se refiere a la influencia relativa de la viscosidad y la temperatura, siendo R el número de Reynolds y W el número de Weber y F es el número de Froude.

2.3.3. Nuevas pruebas de capacidad de las cribas de Efecto Coanda (Wahl, 2013)

2.3.3.1. Introducción

Para este estudio se realizan nuevas pruebas con una gama de condiciones hidráulicas más amplia, consiguiendo así una mejor comprensión de las variables que intervienen en el rendimiento de la pantalla. También se ha desarrollado un nuevo modelo sobre el funcionamiento de las pantallas Coanda.

2.3.3.2. Material y métodos

Se realizaron pruebas con 6 pantallas, cuyas principales características se incluyen en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen de datos de las pantallas utilizadas en Wahl, 2013

	Rejas					
	A-5	A-8	B-1	B-2	Reja 1	Reja 3
Ángulo de alivio, ϕ (°)	10	10	13	13	17.5	11
Ángulo de inclinación de la pantalla, α (°)	5.6	6.9	4.3	6.5	3.82	6.88
Anchura media de ranuras, s (mm)	1.99	1.96	2.05	2.05	1.02	0.47
Ancho de barrote, w (mm)	4.72	4.74	4.6	4.62	2.39	1.5

Las rejas 1 y 3, se correspondían a las rejas utilizadas en el anterior estudio por Tony Wahl en 2001. El diseño de este se regía por el borde delantero sutilmente redondeado, sin radio definido.

Estas se volvieron a utilizar, ya que las instalaciones de laboratorio se renovaron haciendo que estas sean más flexibles y así poder adaptarlas a una gama de parámetros variables más altos que en el estudio realizado anteriormente.

Durante las pruebas el canal se situó con una pendiente de 15° y otras veces a 30°.

El objetivo era realizar una amplia toma de datos con diferentes parámetros hidráulicos, es decir, diferentes números de Froude, velocidades y calados. Para cada posición se realizaron pruebas con 3 entradas de caudal diferentes.

2.3.3.3. Resultados y conclusiones

Para todas las rejas, se realizaron pruebas en tres posiciones distintas a lo largo de la estructura, esto permite evaluar y comparar los valores de C_{cv} , obtenidos con los predichos por la ecuación de Wahl 2001.

Las rejas mostradas en la Tabla 1, B-1 y B-2, admiten más caudal que el las rejas A-5 y A-8. Los valores comparados, son muy bajos en general, y los valores más altos de C_{cv} , se dan en las posiciones más bajas.

Finalmente se llega a la conclusión de que el modelo de predicción de descarga desarrollado en Wahl 2001, no tiene en cuenta un cambio sistemático en el rendimiento de la reja en función de la velocidad, número de Froude, o calado, asociado a la ubicación de la prueba.

2.3.4. Rendimiento de las pantallas de efecto Coanda en clima frío (Hanne Novik, Leif Lia y Henrik Opaker, 2014)

2.3.4.1. Introducción

Este estudio realiza una evaluación y análisis en la capacidad de captación de las pantallas de Efecto Coanda en clima frío.

2.3.4.2. Material y métodos

En laboratorio se realizaron pruebas de congelación con el objetivo de evaluar previamente si la pantalla estaría preparada para su funcionamiento en una central hidroeléctrica.

En el laboratorio se ensayó una pantalla de 300 mm de ancho y 400 mm de longitud, con una separación entre alambres de 1 mm, aguas abajo de la cresta, o placa de aceleración.

Respecto a la puesta en la central hidroeléctrica, se realizó el estudio mediante un monitoreo con el cual se obtenían las condiciones (temperatura de aire y de agua) en las que se encontraba la pantalla y se observan los resultados, mediante una cámara web.

La pantalla tenía una altura de 1.2 m de altura y una distancia ente alambres de 1 mm. Se instalaron quince módulos, con las que alcanzaban la capacidad del río.

Además, se ubicaron en varios puntos las cámaras web para tener así un buen muestreo.

2.3.4.3. Resultados y conclusiones

Durante las pruebas de laboratorio y de campo se observaron dos tipos de acumulaciones de hielo. La obstrucción de tipo I se refiere cuando el hielo blando y húmedo se acumula en la superficie de la pantalla en dirección aguas abajo,

adhiriéndose a ella. Las de tipo II se refiere a la acumulación de hielo sólido entre los alambres de la pantalla, cuando esta se encuentra a temperatura muy baja.

Durante el invierno de 2011/2012, la pequeña central hidroeléctrica cerró 8 veces, debido a las obstrucciones por el hielo. Finalmente, en la reapertura de la pantalla de efecto Coanda, después de los bloqueos, la pantalla no necesitó ninguna intervención. El hielo blando se consolida en los alambres de la pantalla, formando una capa de hielo sólido y después de un tiempo, el agua seguirá fluyendo por debajo de esa capa. Se obtuvo un buen comportamiento de la pantalla de efecto Coanda, aunque su rendimiento no es al completo debido a que el hielo puede reducir la capacidad de la entrada de flujo temporalmente, o como sucedió, un bloqueo total por el hielo.

2.3.5. Mejora de la tecnología de pantallas con efecto Coanda (Wahl, 2017)

2.3.5.1. Introducción

Se realizó un nuevo estudio en el laboratorio de hidráulica de Bureau of Reclamation, para mejorar la eficiencia del programa, ya que este estaba desarrollado para una gama baja de condiciones, es decir, para bajos caudales, bajas velocidades y pendientes horizontales. Estas condiciones se ajustaron y llegaron a incluirse pendientes desde 1° hasta 50°.

El estudio se trataba de obtener la capacidad de descarga por ranura. Además, se sabe que las primeras ranuras captan un flujo menor, es decir, tienen una eficiencia de ranura menor, debido a que la lámina de flujo aún no está alineada.

2.3.5.2. Material y métodos

La instalación hidráulica del canal del estudio es similar a la del estudio de Wahl (2013), pero con pendiente fija y de 0.15 m de longitud de canal. También se utilizaron las pantallas fabricadas en los estudios de Wahl 2001 y 2013 (Tabla 1).

Se estableció un método para una correcta en la toma de muestras: Estableciendo un valor de pendiente fija en el canal, para cada una de las pruebas, además se realizaron pruebas con descargas a velocidades variables, de modo que el número de Reynolds,

Weber y Froude variaban. También se realizaron estas pruebas con la temperatura de agua variable.

Al observar los resultados de los primeros datos, se observó que el modelo original definido (Wahl 2001, 2013) no era capaz de representar correctamente el rendimiento de las rejillas en la amplia gama de condiciones a las que se le exigía, por lo que se describió un nuevo modelo conceptual. Por ello, este estudio muestra parte de resultados realizados con el modelo original, y otra parte realizada por el nuevo modelo conceptual.

2.3.5.3. Resultados y conclusiones

Estas pruebas realizadas en laboratorio hicieron que las predicciones de las capacidades de captación de la estructura mejoran, ya que se obtuvieron nuevas relaciones de descarga.

Las pruebas a temperatura variable, en las que el agua se fue enfriando progresivamente (desde los 70 °F, hasta 37 °F), concluyeron que para la rejilla n°1 la viscosidad aumentó un 60% y la tensión superficial tan solo el 3%, esto hizo efectos en el número de Reynolds independientemente de los efectos del número de Weber. Este proceso se realizó en tres pendientes de canal y descargas de flujo diferentes, proporcionando en varios puntos, diferentes datos de número de Weber, y números de Reynolds y de Froude casi coincidentes, por lo que se podía desprestigiar el número de Reynolds.

Esto determinó que el número de Weber podría ser el más útil para describir los datos, además de que la altura de desplazamiento es la referencia de longitud más adecuada. También se tiene en cuenta que los efectos del número de Froude son importantes, y dependiendo de las diferentes alturas de desplazamiento en las rejillas, se obtendrá un número de Weber muy diferente con números de Froude similares y viceversa.

Las pruebas de laboratorio realizadas anteriormente identificaron factores, pero no fueron suficientes como para predecir situaciones en la vida real. En estas nuevas pruebas la viscosidad del flujo no varía con la temperatura, por lo que la pantalla debería ser independiente a la temperatura del flujo. Por tanto, se demostró que el número de Reynolds, no influye en la capacidad del flujo de la pantalla.

Para pendientes pronunciadas y posicionado de la pantalla en la parte inferior del canal, se observaron saltos de flujo. Este tipo de comportamiento es un problema ya que se pierde el efecto Coanda. Este comportamiento ocurre cuando se tienen estructuras con grandes alturas de caída, pendientes muy pronunciadas, o de ángulos muy grandes en la inclinación de la pantalla.

2.4. Programa Informático

Wahl (2001) crea un modelo informático con el objetivo de predecir el rendimiento, es decir, la tasa de flujo que pasa a través de la pantalla de Efecto Coanda. Además, proporciona información de las propiedades del flujo sobre la pantalla como la velocidad y el calado, es decir, la altura de agua en un punto sobre la pantalla.

Este modelo está compuesto por 5 ecuaciones: el coeficiente de reducción y contracción de la velocidad, la descarga de flujo por ranura y el calado sobre la pantalla, además de relacionar los resultados en función de Froude.

$$C_{cv} = 0.210 + 0.0109 * (R/W) + 0.00803 * (F) \quad (2)$$

$$D_2 = (s + w) * \tan \theta + D_1 + \alpha * \frac{\left(\frac{q_1^2}{D_1^2} - \frac{q_2^2}{D_2^2}\right)}{2 * g * \cos \theta} - S_f * \frac{s + w}{\cos \theta} \quad (3)$$

donde q_1 y q_2 son las descargas unitarias en los bordes aguas arriba de dos alambres, s y w son el espaciamiento y la anchura, respectivamente, ángulo θ es el de inclinación de la reja, D_1 y D_2 son las profundidades del flujo en la cara de la reja, S_f es la pendiente de fricción, y g es la aceleración de la gravedad.

$$\Delta_q = C_{cv} * s' * V_r * \sin(\delta + \Psi) \quad (4)$$

donde V_r es el vector velocidad, $\delta + \Psi$ es el ángulo entre el vector velocidad y la apertura de la ranura, C_{cv} es el coeficiente que da cuenta de los efectos de la velocidad reducción y contracción del flujo, y s' es la longitud efectiva de la ranura.

$$\sin(\delta + \Psi) = \sqrt{\frac{2}{2+F^2}} * \cos(\varepsilon - \emptyset) + \sqrt{\frac{F^2}{2+F^2}} * \sin(\varepsilon - \emptyset) \quad (5)$$

donde el ángulo $\varepsilon - \emptyset$ es constante asique se queda en función de $(\delta + \Psi)$ y F es el número de Froude.

$$\Delta_q = C_{cv} * C_F * s' * \sqrt{2 * g * E} \quad (6)$$

donde $C_{cv} * C_F$ se considera equivalente a un coeficiente de descarga C_d , y E se refiere a la energía asociada.

Inicialmente el modelo se desarrolló incorporando estudios que ya se habían llevado a cabo y está dividido en 4 fases diferentes a tener en cuenta. 1) Propiedades de la estructura, 2) condición de flujo, 3) propiedades de la pantalla, y 4) propiedades de la placa de aceleración.

Este programa es de acceso libre. Una vez ejecutado, el programa muestra por pantalla los resultados generados. El programa no contempla flujo con residuos, sedimentos o peces, es decir los resultados se consideran en condiciones de agua clara.

Más tarde, Wahl (2017) observó que el rendimiento en las ranuras de las rejillas n°1 y A-5 (Tabla 1), no se representaba correctamente en una gama más amplia de condiciones de flujo, las cuales se pretendían analizar en este estudio. Por ello, se realiza un nuevo modelo, el cual está basado en la geometría de la pantalla, y se supone que la velocidad de flujo por la superficie de la pantalla es constante. En la ecuación final de descarga unitaria de ranura en una rejilla se añade un coeficiente de descarga. El coeficiente de descarga será superior a 1 cuando la lámina de flujo sobre la superficie de la pantalla se acerque a la anchura de la ranura s . Las variables de flujo se representan gráficamente en la Figura 3.

$$\Delta_q = C_{offset} * \gamma_{off} * V \quad (7)$$

donde γ_{off} es la altura de desplazamiento creado por la inclinación del cable, V es la velocidad del flujo por encima de la rejilla, y C_{offset} es el coeficiente de descarga.

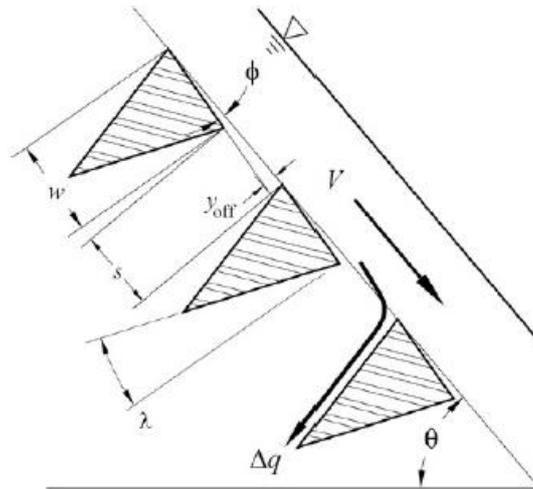


Figura 3. Geometría de la pantalla y variables de flujo. (Fuente: Wahl, 2017)

En el estudio realizado en 2017 por Wahl en el laboratorio realizaron mejoras en la modelización de la descarga de las rejillas de efecto Coanda. Aun así, estos cambios del coeficiente de descarga se deberían añadir al programa ya que consideran que el estudio estará completo al considerar los números de Froude y Weber más bajos, al presentar unos coeficientes de descarga más variables.

De este modo, se han ido incluyendo pruebas de pantallas efecto Coanda con diferentes propiedades, y se ha ido modificando y añadiendo detalles de parámetros que en el programa inicial no se tuvieron en cuenta.

3. DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO HIDRÁULICO EXISTENTE EN LA UPCT

La estructura hidráulica experimental está formada por la tubería de entrada de acero galvanizado, una arqueta de entrada de caudal, el canal de entrada que llega hasta las rejillas, la zona de rejillas, el canal de caudal no captado y el canal de caudal captado.

El laboratorio dispone de una bomba con una capacidad máxima de 203 l/s, un rendimiento hidráulico de 76.6 % y una frecuencia de motor de 50 Hz.

3.1. Tubería de acero galvanizado

La entrada del agua se realiza a través de una tubería de acero galvanizado. Esta acaba con un codo el cual vierte el caudal en la arqueta de entrada. El caudal de entrada, es medido, mediante un caudalímetro electromagnético.

3.2. Arqueta de entrada

La función que tiene esta fase del canal es que el flujo llegue al canal con poca turbulencia.

La arqueta ha sido construida con ladrillo revocado, y fratasado interiormente con mortero de cemento (Figura 4). Tiene una sección interior rectangular de 0.995 m × 1.22 m, con una profundidad de 1.48 m, estrechándose esta sección hacia el canal de entrada, formando un trapecio de base mayor 0.995 m, base menor 0.52 m y altura de sección de 0.518 m. La profundidad de esta parte es 0.51 m. La capacidad interior se reduce tanto de sección como en altura, produciendo la alimentación del canal.



Figura 4. Tubería de acero galvanizado y exterior de arqueta.

3.3. Conducciones en canal

3.3.1. Canal de entrada

Esta parte se ubica en el primer tramo de la estructura del canal y conecta la arqueta con las rejillas. Tiene unas dimensiones de sección de 0.5 m × 0.5 m y tiene una longitud de 7 m (Figura 5) desde la salida de la arqueta hasta el comienzo de la rejilla, incluyendo el plano de aceleración. Este primer canal se encuentra con una pendiente 0°, es decir, en posición horizontal. Los materiales utilizados en su fabricación constan de una estructura metálica y de paredes de metacrilato.

Sobre el canal se instaló un carro porta instrumentos sobre raíles metálicos a cada lado del canal, para que así pudiera moverse y situarse en su posición correcta a lo largo del tramo de estudio. En esta estructura es donde se encuentran los dispositivos de medición, como el limnómetro y el tubo de Pitot (Figura 6).

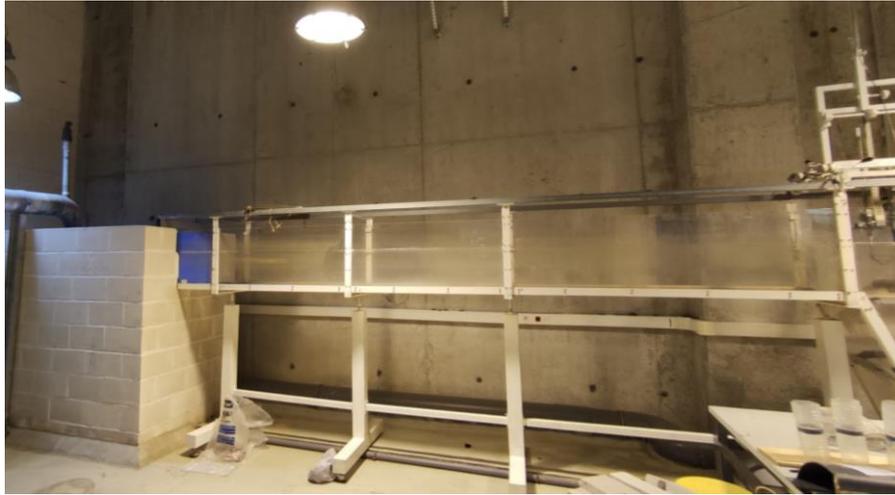


Figura 5. Canal de entrada



Figura 6. Carro móvil porta instrumentos

3.3.2. Canal de caudal no captado

Este caudal recoge el agua no captada por las rejillas. Este tramo está construido por los mismos materiales que la arqueta de entrada, es decir, con ladrillo revocado y fratasado.

El agua no captada, es recogida en una arqueta con una sección rectangular de 1.54 m × 1.35 m y de profundidad de 1.61 m. A continuación, hay una pared de ladrillos con orificios por la que el caudal no captado pasa hacia el canal de salida de una forma más calmada (Figura 7).

Este canal tiene una altura de 0.42 m × 0.625 m y una longitud lineal de 5.91 m (Figura 8), al final del cual hay un vertedero tipificado en forma de “V”. Este vertedero consta de una chapa metálica de espesor fino, en la cual, la cara de aguas arriba es lisa. Se utilizan de medición del caudal no captado por la pantalla.



Figura 7. Arqueta con pared de ladrillo y aliviadero tipificado en “V”



Figura 8. Canal de caudal no captado

3.3.3. Canal de caudal captado

Este canal recoge el caudal captado por la reja y lo lleva hasta el desarenador. La longitud lineal total del tramo es de 4.70 m. Dispuesto en curvatura hasta llegar al desarenador (Figura 9).

El flujo captado va a un cubículo abierto por uno de los laterales, que es por donde se une con el resto del canal. Este cubículo es de sección trapezoidal, de base mayor 0.91 m, base menor 0.60 m y altura 0.385 m, donde la base mayor de esta sección es abierta (Figura 10).

A medida que transcurre el canal, esta sección trapezoidal del canal abierto, pasa a ser rectangular, además de producirse una reducción en la base. La sección rectangular del canal, es de 0.30 m × 0.385 m.



Figura 9. Canal de caudal captado, con tramo curvo y desarenador.



Figura 10. Tramo de reducción.

3.4. Rejas efecto Coanda

En este proyecto se estudiarán 5 tipos de rejillas, cuatro de ellas fabricadas por una misma empresa, nombradas como "H1", "H2", "H3", "H4" y la otra rejilla, fabricada por otra empresa, renombrada como "Noche y día", o Reja 1, con diferentes características. Las dimensiones de todas las pantallas son de 0.5 m × 0.495 m (Figura 11).

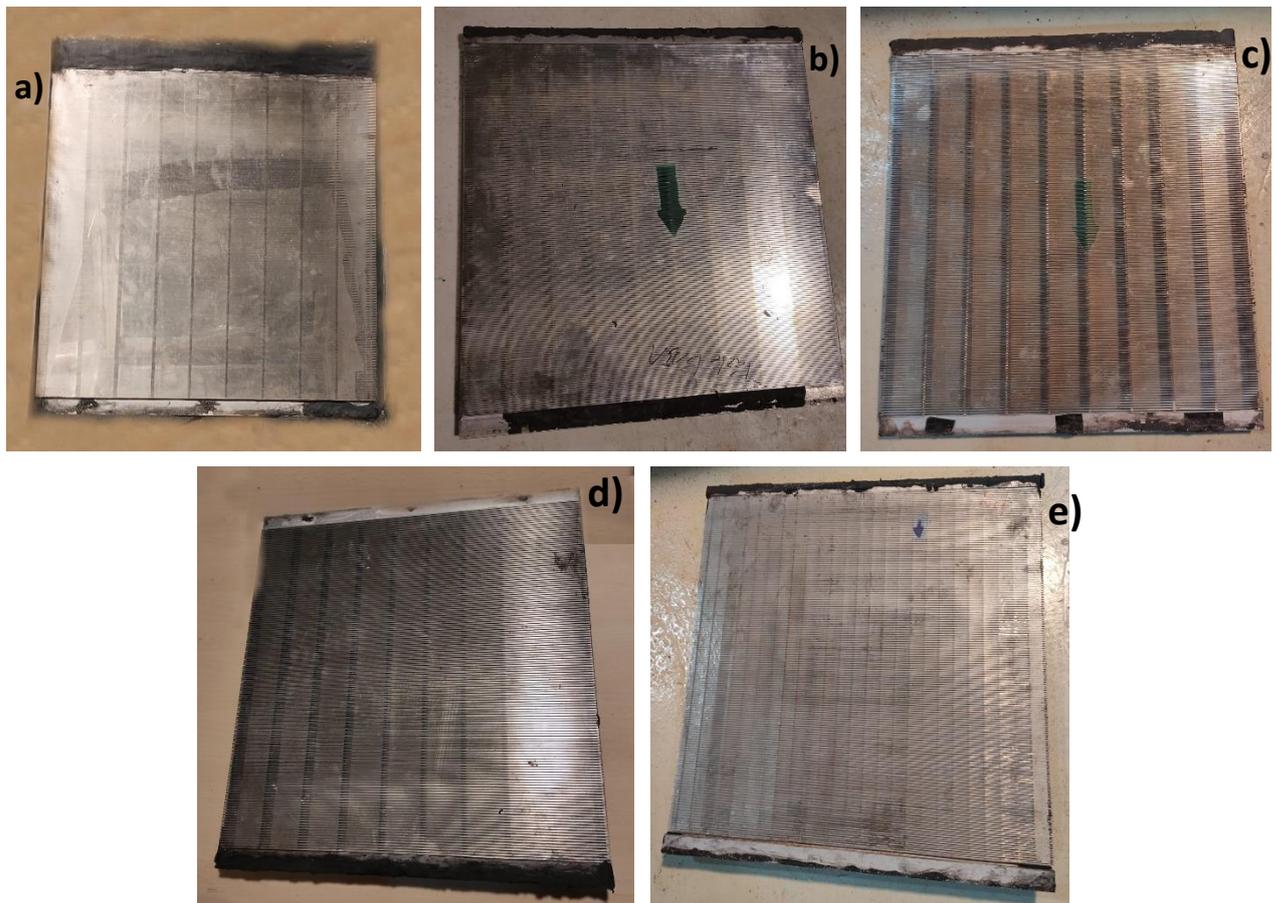


Figura 11. Rejas utilizadas en laboratorio a), b), c), d) y e)

Las rejillas están formadas por unas barras transversales al flujo de entrada. Los alambres en forma de cuña se encuentran inclinados unos pocos grados.

Las rejillas tienen similares características a las utilizadas en las pruebas de laboratorio por Tony L. Wahl, es decir, tienen un mismo diseño, diferenciadas en los valores específicos de estos.

Los parámetros característicos se indican en la Tabla 2, donde se recoge ancho de barrote (w), espacio entre barros (s), ángulo entre dientes (ϕ), altura de desfase de dientes (y_{off}), y el índice de huecos (m) (Figura 12).

Tabla 2. Parámetros de diseño de las rejas para la realización de pruebas.

	Reja H1	Reja H2	Reja H3	Reja H4	Reja 1 (Noche y día)
w (mm)	1.6	1.6	1.6	2.4	1.5
s (mm)	0.4	0.5	1.5	1.0	1.0
ϕ (°)	5	5	5	5	0
Y_{off} (mm)	0.17	0.18	0.27	0.30	0.22
m (%)	20	23.8	48.4	29.4	40

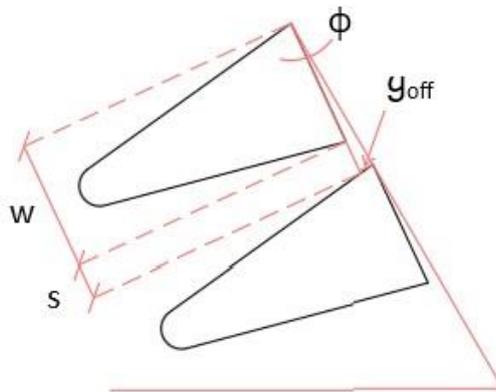


Figura 12. Esquema del perfil detallado de los parámetros característicos de la reja.

Las pruebas se realizaron con todas las rejas en posición de 60° respecto a la horizontal. Para que la reja se mantuviera en esa posición, se utilizó una estructura metálica, donde además de mantener esa posición, también mantenía unido el perfil de aceleración y la reja (Figura 13).



Figura 13. Estructura metálica de 60° con plato de aceleración y reja.

3.5. Plato de aceleración

Este plato de aceleración es de tipo Ogee, cuyas dimensiones se muestran en el perfil descrito en la Figura 14. Esta estructura tiene una profundidad de 0.50 m, la cual se corresponde al ancho del canal (Figura 15).

Este tipo de plato de aceleración, es una estructura hidráulica de control que se utiliza para evacuar el flujo excedente de un canal o embalse. Este perfil se suele dar en presas de retención y aliviaderos de crecidas.

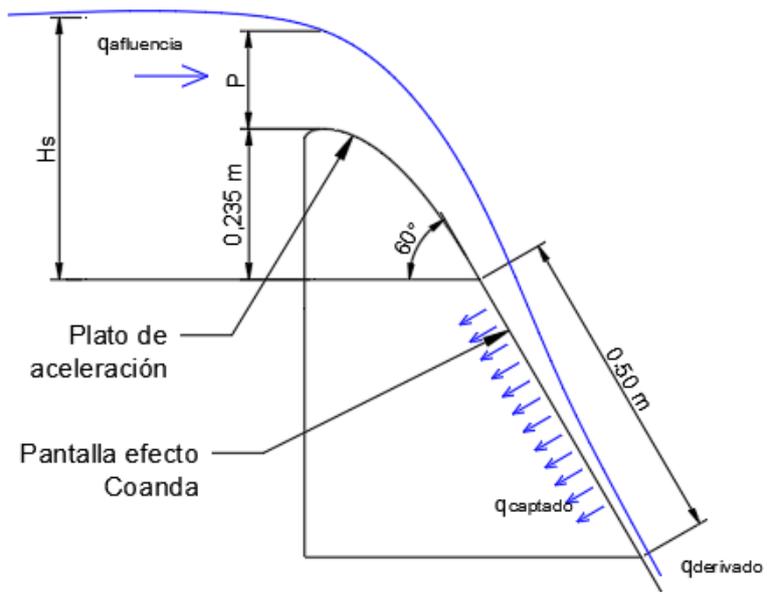


Figura 14. Perfil de dimensiones del plato de aceleración.



Figura 15. Estructura de plato de aceleración utilizado en laboratorio.

4. CAMPAÑA EXPERIMENTAL REALIZADA EN LA UPCT

Se analizaron en laboratorio 5 pantallas de efecto Coanda, de dos fabricantes distintos y con diferentes valores paramétricos. Las pruebas se realizaron con agua clara, a semejanza de los estudios de Tony L. Wahl, desde 1995 al 2017.

En cada ensayo se midieron calado, y la posición de fondo, además de la energía en el punto de medida.

Para la toma de los valores de estudio, se definió un rango de caudales de aproximación a la reja, dependiendo de la eficiencia, o captación que tuviera la pantalla en cuestión. Se tomaba como referencia de caudal mínimo que el agua llegara a la mitad de la reja aproximadamente. Para considerar el caudal máximo, el límite era no sobrepasar el final de la reja, es decir, ese caudal se consideraba admisible en la reja si la mayor parte de flujo, es captado hacia el canal de captación.

Se tomaron los valores de energía mediante el tubo de Pitot, para así obtener la velocidad. También se tomaron los valores de altura a la que se encontraba la superficie de la pantalla, y la altura a la que estaba la lámina superficial de agua, para así obtener el calado de agua, mediante el limnómetro. La toma de mediciones se realizaba en diferentes puntos dependiendo de la zona en la que se encuentren.

Para la toma de valores se tuvo en cuenta un punto de origen, es decir, el punto de coordenadas (0,0), que servía como punto de referencia para todas las rejillas, al comienzo de su medición. Este se ubica al final de la curva de aceleración, y en el comienzo de la reja.

Para cada una de las pantallas, se realizaba el mismo mecanismo de toma de valores.

4.1. Toma de medidas en la zona de la pantalla, plato de aceleración y zona de canal

4.1.1. Preparación de instrumental utilizado en laboratorio

Primero se enciende el caudalímetro (Figura 3) ubicado en la tubería de entrada de caudal. También se cierra la válvula de desagüe de agua del canal.

Después de realizar estos pasos, vamos a la estructura móvil (Figura 5), donde se encuentran los instrumentos de medida, es decir, el limnómetro y el tubo de Pitot, y la colocamos en la zona de la pantalla.

Utilizamos un punto de origen. Esto significa que todos los instrumentos al colocarse en ese punto, tienen un valor de medida de 0. El valor que se obtenga en dicho punto a través del limnómetro, equivaldrá a 0.

Para la calibración y correcta colocación de los instrumentos en la estructura móvil, se llevan las puntas de las agujas de ambos instrumentos a dicho punto de origen. El limnómetro debe situarse en el plano vertical, y el tubo de Pitot dispuesto con ángulo de 60°, situado en el plano superficie la pantalla.

Para la medición del tubo de Pitot se coloca el panel de lectura de resultados en una superficie vertical accesible, a una determinada altura del punto de referencia para su correcta muestra de resultados.

4.1.2. Método de medida

Para realizar la primera toma en esta zona del recorrido, se tomaron 5 posiciones horizontales diferentes, en la regla ubicada en un lateral a lo largo de la zona donde circula el carro móvil. Estas posiciones venían dadas en centímetros, con un valor de 0, en el punto tomado de origen.

Para medir la posición vertical a la que se encuentra el fondo de ese punto, se baja el limnómetro, despacio mediante la ruleta del mismo, hasta casi rozar la superficie de la pantalla con la punta de la aguja.

Para la toma de la posición vertical de la superficie del flujo en ese punto considerado, se sube el limnómetro hasta que la punta de la aguja, roza con el agua superficialmente, produciéndose una fuerza tangencial suficiente para romper una película de agua.

Para la toma de los valores del tubo de Pitot, se debe tener en cuenta que antes de utilizar la aguja con la que a través de ella se toman los valores, se debe revisar que, no contenga aire, para que así los resultados en cada punto del tramo de la pantalla sean reales. En caso contrario, los valores son erróneos.

5. ANÁLISIS DE LA CAMPAÑA EXPERIMENTAL Y COMPARATIVA CON LOS RESULTADOS DE OTROS ESTUDIOS

Este apartado se centrará en la zona principal de estudio que es la zona de pantalla.

Se verán, los diferentes comportamientos, resultados y comparaciones dependiendo de cada reja y para cada caudal.

El análisis y comparación de los resultados se realizará a partir de otros estudios publicados anteriormente. Principalmente, se considera el software llamado “Coanda Screen Design” desarrollado y programado por Tony L. Wahl en el “Bureau of Reclamations Hydraulic”. La versión utilizada en este caso es la 0.7 del 10 de diciembre de 2014. Como se ha comentado con anterioridad, este programa se desarrolló con la intención de poder simular la capacidad de diferentes rejillas a partir de la descripción de los parámetros característicos de las pantallas. En este programa no se recoge todas las rejillas disponibles en el mercado.

5.1. Método de cálculo experimental

En cada pantalla se analizan 6 caudales diferentes. Una vez tomado los datos necesarios, se realizaron los pertinentes cálculos para la obtención de los valores de representación, tanto de tirante, como de la velocidad del agua en esos puntos definidos.

5.1.1. Cálculo de la representación de la capacidad de la reja

Se sabe que el calado se refiere al valor de profundidad del agua, es decir la altura perpendicular de la lámina de agua sobre una superficie, por lo que el valor del calado, podría ser obtenido de dos formas diferentes.

Una forma de obtener el valor del calado es realizando la representación gráfica de la curva de los valores superficiales obtenidos con el limnómetro, en cada posición horizontal definida. De esta manera, la curva de agua se tendría representada, por puntos, a los que se les puede trazar una curva continua tipo “spline”, trazando una perpendicular a la superficie de la pantalla en un punto de estudio, el valor del calado sería la distancia entre la pantalla y la curva de flujo obtenida.

Otra forma de representar la curva del perfil de la lámina de caudal es a través del valor del tirante. El tirante se refiere al valor de la altura de lámina de agua que hay en un punto de estudio definido, es decir, el valor de la resta entre el dato que se obtiene del limnómetro en la superficie del agua y el que se obtiene de la superficie de la pantalla.

Se realizó el perfil para todos los caudales en toda la estructura de medición. La figura 13 muestra el perfil de flujo en la reja H1 para un caudal de 67.22 l/s/m. En esta figura se aprecia el punto definido como origen en color negro sombreado, la curva de la lámina libre del agua de color azul, las líneas negras verticales se refieren a los tirantes, y al calado. Las líneas perpendiculares al fondo del canal, de color negro se refieren al calado, es decir, el valor medido por el limnómetro se refiere al calado. El calado es obtenido al trazar la perpendicular desde el plano por el que circula el flujo, es decir, el fondo del canal, hasta la curva que define la superficie libre.

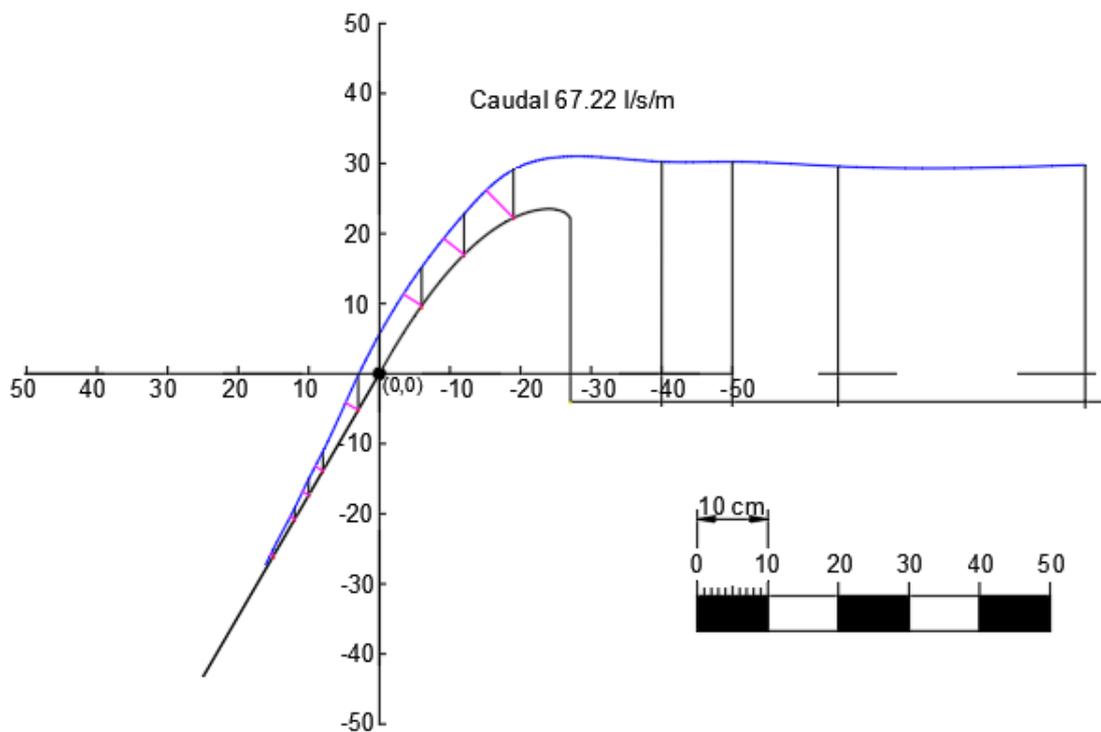


Figura 16. Perfil de la curva de flujo en reja H1, para el caudal 67.22 l/s/m

De las dos opciones, el método por el que se lleva a cabo el análisis de resultados de laboratorio es a través del tirante. De esta forma, a partir de los valores del tirante, se

obtienen los valores de los ejes de coordenadas, X e Y, partiendo de la posición de la reja representada inicialmente.

Para la realización de los cálculos referentes a la obtención del coeficiente de descarga, es necesario tener los valores de calado en cada posición horizontal de la reja.

5.1.2. Cálculo de la representación de la velocidad de caudal por la reja

La representación gráfica de la velocidad se realiza junto a la obtención de las coordenadas del eje X e Y. Las coordenadas del eje X corresponden a los valores de las posiciones horizontales medidas en cada punto, y las coordenadas del eje Y se refieren a los valores de la velocidad obtenidas mediante la aplicación del principio de Bernoulli.

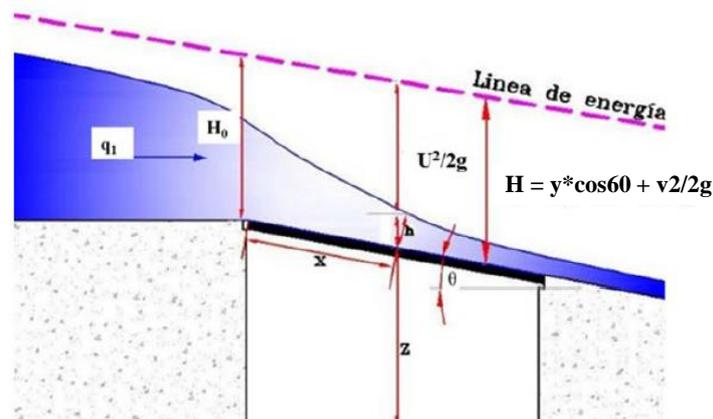


Figura 17. Vista longitudinal de un sistema de captación de fondo con la hipótesis de energía específica constante tomada de Garcia (2016)

Por tanto, para obtener la velocidad a partir de la presión proporcionada por el tubo de Pitot, comenzamos con la aplicación de la ecuación de Bernoulli:

$$P_1 + \frac{1}{2} * \rho * v_1^2 + \rho * g * h_1 = P_2 + \frac{1}{2} * \rho * v_2^2 + \rho * g * h_2 \quad (8)$$

donde,

P_1 y P_2 : presiones estáticas en 1 y 2 respectivamente (m).

ρ ; la densidad del fluido.

h_1 y h_2 : calado en cada uno de los puntos proyectado sobre el eje vertical, $h = y \cdot \cos 60$. Donde y es el calado (Sotelo Ávila, 1997)

v_1 y v_2 : velocidades de los puntos respectivamente, g : aceleración gravitacional.

Dado que se trata de un flujo en lámina libre y asumiendo condiciones de presión hidrostáticas podemos calcular el valor de la energía específica – donde el eje de referencia es siempre la solera del canal – de la siguiente forma asumiendo que en el punto 2 la altura de energía se iguala a la medida en la punta del tubo Pitot (P_{pitot_2}):

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} = P_{pitot_2} \quad (9)$$

De esta forma la ecuación anterior quedaría:

$$v_1 = \sqrt{2 * g * (P_{pitot_2} - h_1)} \quad (10)$$

5.1.3. Cálculo del Coeficiente de descarga (C_q)

El coeficiente de descarga es un factor adimensional el cual permite obtener el caudal a partir de la ecuación de orificio (11). Este parámetro se determina de forma experimental, y su valor no es constante a lo largo del flujo en la reja.

$$q_{derivado} = m * a_T * C_q * \sqrt{2 * g * H} \quad (11)$$

donde,

$q_{derivado}$ se refiere al caudal captado

m es el índice de huecos.

a_T es el área mojada total de la reja

C_q es el coeficiente de descarga

H es la altura de energía donde $H = y \cdot \cos 60 + v^2 / 2g$ donde y es el calado

En este estudio obtendremos los valores de coeficiente de descarga para cada posición horizontal de cada reja medida en laboratorio, y para cada caudal.

A partir de la ecuación general de orificio, despejamos el coeficiente de descarga (C_q) y tenemos que la expresión que utilizaremos en la obtención de valores experimentales del coeficiente de descarga es la siguiente:

$$C_q = \frac{q_{derivado}}{m * a_T * \sqrt{2 * g * 0.5 * \left[\left(h_1 + \frac{v_1^2}{2 * g} \right) + \left(h_2 + \frac{v_2^2}{2 * g} \right) \right]}} \quad (12)$$

Donde h es la proyección del calado sobre la vertical y v la velocidad.

El área total de la reja para calcular el caudal derivado, y de esta forma el coeficiente de descarga por unidad de longitud de reja y según la posición de la reja, se calcula a partir del valor de ancho de reja (0.50 m) y la longitud de reja entre las dos posiciones horizontales.

El caudal derivado (13) se obtiene de la resta entre el caudal circulante de la posición aguas arriba (q_1) y el caudal circulante de la posición aguas abajo (q_2) de la reja. El caudal circulante se calcula con la expresión 14.

$$q_{derivado} = q_1 - q_2 \quad (13)$$

$$q_1 = v_1 * S \quad (14)$$

Donde v_1 es la velocidad y S es la superficie, calculada mediante el ancho de reja, en nuestro caso 0.50 m, y el calado en esa posición.

El calado como se ha comentado en anteriores apartados se obtiene de manera gráfica a través de la representación gráfica de los valores de tirante obtenidos en laboratorio.

Como el caudal derivado trata de la resta entre el caudal circulante de dos posiciones horizontales, la primera posición horizontal no obtendrá valor de caudal derivado, y por tanto tampoco de coeficiente de descarga.

5.2. Reja H1

5.2.1. Análisis del procedimiento

Se comienza determinando el rango de valores de caudal, y se decide llevar a estudio a los caudales en un rango de 38.88 l/s/m hasta 68.34 l/s/m. Se realiza la toma de puntos en los caudales de 42.22 l/s/m, 46.66 l/s/m, 52.22 l/s/m, 55.56 l/s/m, 60 l/s/m y 67.22 l/s/m.

Se tomaron valores en las tres zonas: zona reja, zona cresta de aceleración y zona de canal inicial.

Se definen los puntos de toma para cada zona. Para la zona de la reja se toman las posiciones horizontales a partir del punto de referencia (0,0) escogido, $x = 3$ cm, 5 cm, 6 cm, 7 cm, 8 cm, 10 cm, 12 cm y 15 cm. Debido al caudal, se decide ampliar estas posiciones para saber con exactitud qué capacidad tendría.

Para la zona del plato de aceleración se miden tres posiciones horizontales fijas, situadas a $x = -6$ cm, -12 cm y -19 cm. En la zona del canal se miden las posiciones horizontales situadas a $x = -40$ cm, -50 cm, -65 cm y -100 cm.

Se realizó la recogida de datos en la primera toma, y tras analizar y comparar resultados de tirante y de velocidad obtenidos a través de los valores recogidos con el limnómetro y el tubo de Pitot, en los puntos definidos en la zona de la pantalla, se decide repetir dos veces la toma de datos para asegurar que las mediciones son correctas.

Después de cada toma, los resultados son representados gráficamente, comparándolos al mismo tiempo con los proporcionados por el programa software.

5.2.2. Resultados y comparación

5.2.2.1. Caudal 42.22 l/s/m

Este caudal corresponde al más bajo de la reja H1. Como en anteriores apartados se ha comentado, se realizó una tabla en la que se recogían los datos obtenidos en laboratorio, además del calado obtenido a través de la representación en Auto CAD.

La Tabla 3 presenta los valores tomados de la distancia vertical a la que se encuentra la posición en el eje horizontal de la estructura, la superficie de la pantalla, la superficie de

la lámina de agua, la presión o energía del agua en esa posición, y el calado, el cual es obtenido a partir del método explicado en la Figura 18. Los valores que se encuentran en la Tabla 3, son referenciados a partir del punto de origen definido inicialmente.

Tabla 3. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 42.22 l/s/m en la reja H1

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial l (m)
H1	60°	42.22	Sobre reja	0.15	0.25	1.86	0.24
				0.12	0.2	1.86	0.19
				0.08	0.13	3.16	0.12
				0.07	0.12	3.16	0.1
				0.06	0.1	3.16	0.08
				0.05	0.08	3.16	0.06
				0.03	0.05	3.15	0.02
			Sobre plato de aceleración	-0.06	0.09	3.01	0.12
				-0.12	0.16	3.04	0.19
				-0.19	0.22	3.06	0.26
			Sobre canal	-0.4	0.05	3.06	0.29
				-0.5	0.05	3.04	0.29
				-0.65	0.04	3.01	0.29
				-1	0.04	3.01	0.29

La representación gráfica de la curva de caudal 42.22 l/s/m, que corresponden a los datos recogidos en la Tabla 3, y en la Figura 18.

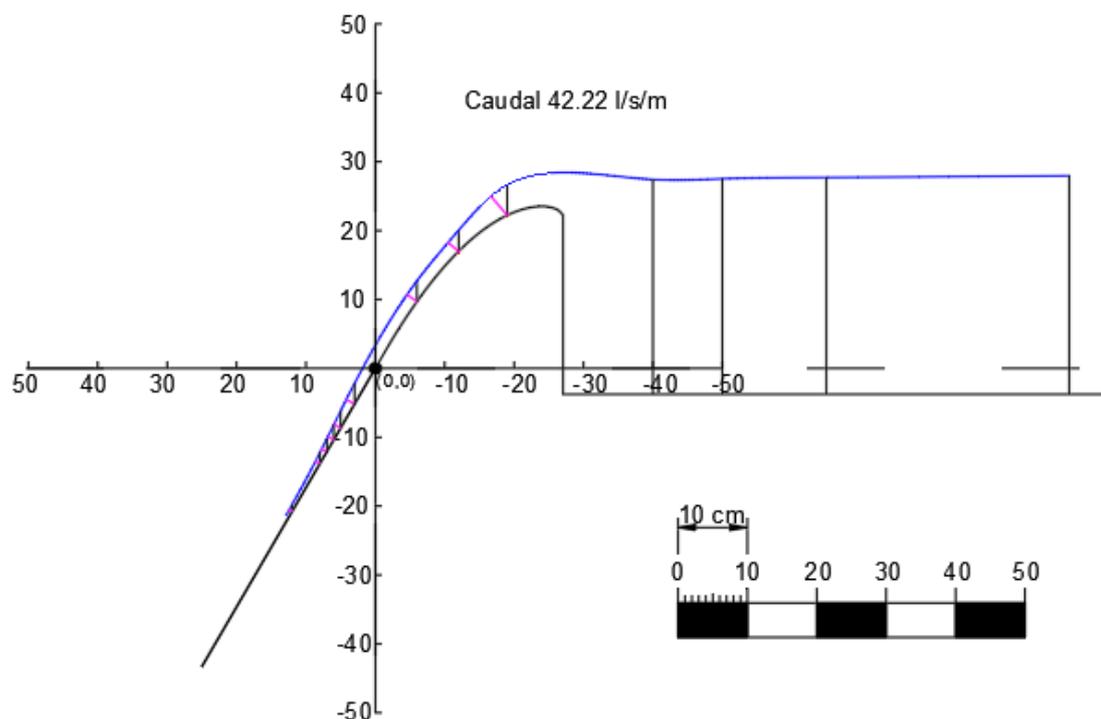


Figura 18. Representación gráfica completa de la curva de caudal 42.22 l/s/m en la reja H1

Tras la realización de las mediciones, en la Tabla 4 y Tabla 5 se recogen los valores de las velocidades y los tirantes en cada posición horizontal sobre la reja.

Tabla 4. Datos representativos de velocidad para el caudal 42.22 l/s/m en la reja H1

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0	2.49
0.03	2.69
0.05	2.81
0.06	2.87
0.07	2.93
0.08	2.98
0.12	3.20
0.15	3.36

Tabla 5. Datos representativos de tirante para el caudal 42.22 l/s/m en la reja H1

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0	0.04
0.03	0.03
0.05	0.03
0.06	0.02
0.07	0.02
0.08	0.02
0.12	0.01
0.15	0.01

Una vez calculados los datos de laboratorio, se procede a calcular los datos con el software. Para obtener estos datos del software, introducimos los datos característicos de la pantalla en el programa, además de los datos del caudal.

El programa calcula la velocidad, número de Froude, posición, tirante..., etc. Estos datos, para ser representados, deben ser referenciados sus valores a partir de la posición del plano de la reja, es decir, se debe realizar los mismos pasos que anteriormente se han explicado para la obtención de estos valores.

La Figura 19 muestra a la representación de los valores de tirante, tanto de laboratorio como los obtenidos por el programa. La curva azul corresponde a los valores del programa. La curva de color naranja corresponde a los valores obtenidos en laboratorio. Como se puede observar en la gráfica, en las posiciones horizontales centrales, situadas a $x = 0.03; 0.05; 0.06; 0.07; 0.08$ m, desde el punto de origen (0,0) tomado, los valores del tirante obtenidos en laboratorio son mayormente coincidentes con los valores del tirante generados por el programa de Tony Wahl (2014).

El valor del tirante en la posición horizontal 0, es decir en el origen, no llegaría a estar dentro de los valores de la curva ofrecida por el programa. Por su parte, los valores en las posiciones 0.12 y 0.15 m, se encuentran desplazados, por encima de los valores generados por el programa (Figura 20).

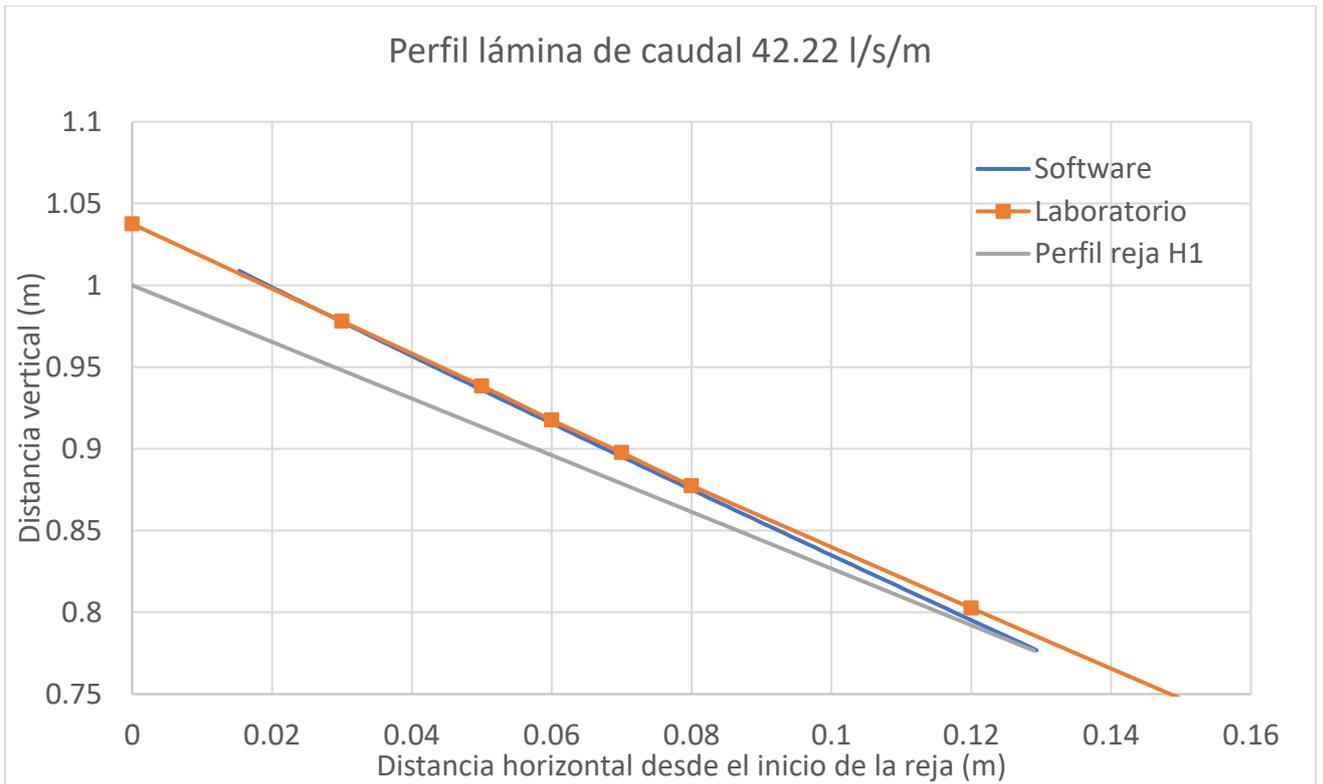


Figura 19. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 42.22 l/s/m, en la rejilla H1

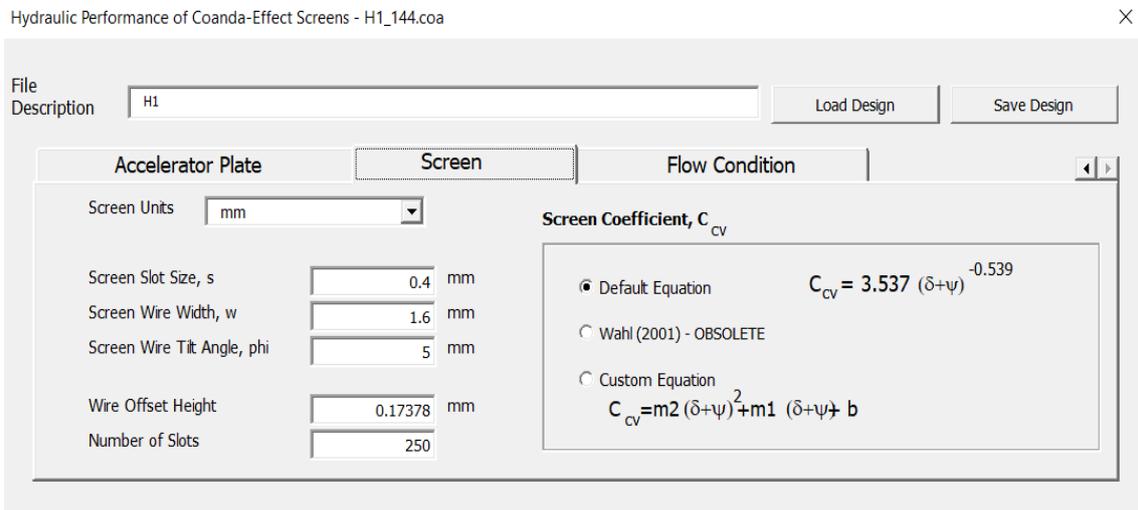


Figura 20. Entrada al software con los parámetros de la rejilla H1

La Figura 21 muestra la composición de los datos de velocidad, donde al igual que en la anterior gráfica, la curva de color azul corresponde a la proporcionada por el programa, y la curva de color naranja corresponde a los datos obtenidos en laboratorio. En esta gráfica se puede observar que los datos obtenidos en laboratorio coinciden en todas las posiciones horizontales de la rejilla con los datos calculados por el programa.

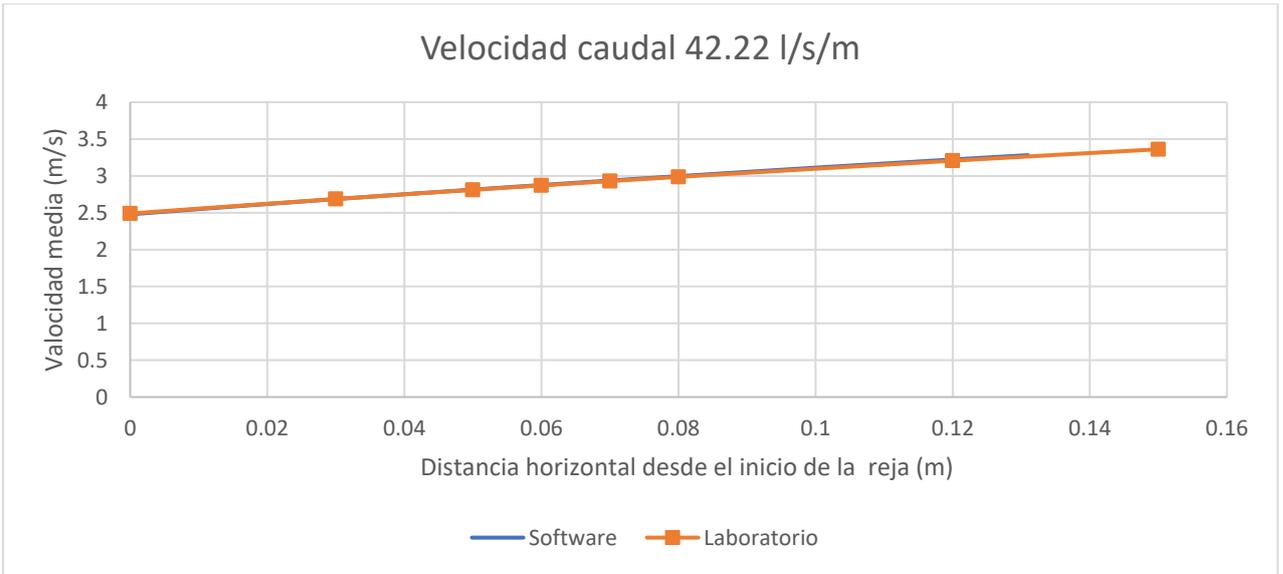


Figura 21. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 42.22 l/s/m en la reja H1

5.2.2.2. Caudal 46.66 l/s/m

Para este caudal se realizaron 2 tomas en los mismos puntos de estudio.

Estos datos fueron recogidos en la Tabla 6, en la que muestra los valores de laboratorio.

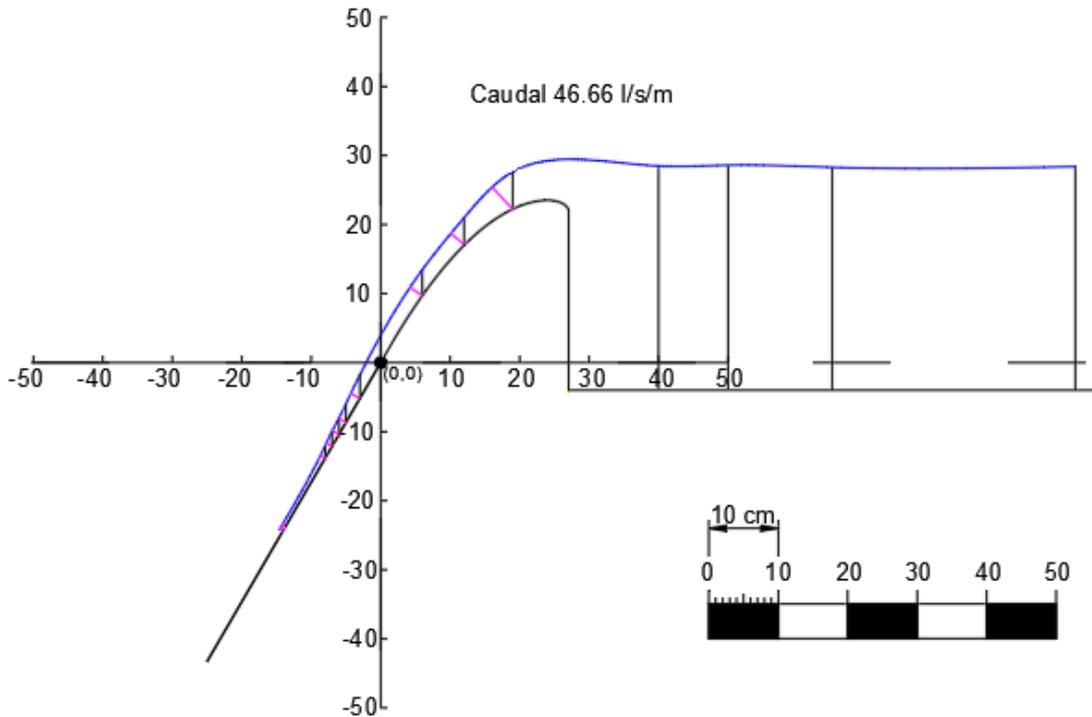


Figura 22. Representación gráfica de la curva de caudal 46.66 l/s/m en la reja H1

Tabla 6. Datos recogidos en laboratorio del caudal 46.66 l/s/m en la reja H1

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H1	60°	46.66	Sobre reja	0.18	0.3	1.86	0.3
				0.14	0.23	2.41	0.22
				0.08	0.13	3.12	0.11
				0.07	0.12	3.16	0.09
				0.06	0.1	3.2	0.08
				0.05	0.08	3.2	0.05
				0.03	0.05	3.2	0.01
			Sobre plato de aceleración	-0.06	0.09	3.13	0.12
				-0.12	0.15	3.16	0.19
				-0.19	0.21	3.18	0.26
			Sobre canal	-0.4	0.05	3.06	0.3
				-0.5	0.05	3.06	0.3
				-0.65	0.04	3.06	0.3
				-0.1	0.04	3.04	0.3

Los valores correspondientes a la zona de la reja se utilizaron para el cálculo de la velocidad, además del cálculo del tirante en la posición de cada pantalla. Tras realizar los pertinentes cálculos, obtenemos la Tabla 7 como resultado de las velocidades para cada posición de estudio, y la Tabla 8 como resultado de los valores de los tirantes.

Tabla 7. Datos representativos de velocidad para el caudal 46.66 l/s/m en la reja H1

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0	2.45
0.03	2.65
0.05	2.78
0.06	2.84
0.07	2.9
0.08	2.96
0.14	3.28
0.18	3.48

Tabla 8. Datos representativos de tirante para el caudal 46.66 l/s/m en la reja H1

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0	0.04
0.03	0.03
0.05	0.03
0.06	0.02
0.07	0.02
0.08	0.02
0.14	0.01
0.18	0.00

A continuación, se realiza la representación gráfica de estos valores junto a los resultados generados por el programa.

En la Figura 23 se diferencian 3 líneas. La línea de color gris, se refiere a la representación en el plano de la reja H1, el color azul corresponde a la representación de la curva de datos generada por el programa, y, por último, la curva naranja con puntos corresponde a la curva de datos y tomados en laboratorio.

Para este caso se consideró tomar la posición horizontal 18 cm, en vez de la de 15 cm, desde el origen de coordenadas del eje horizontal.

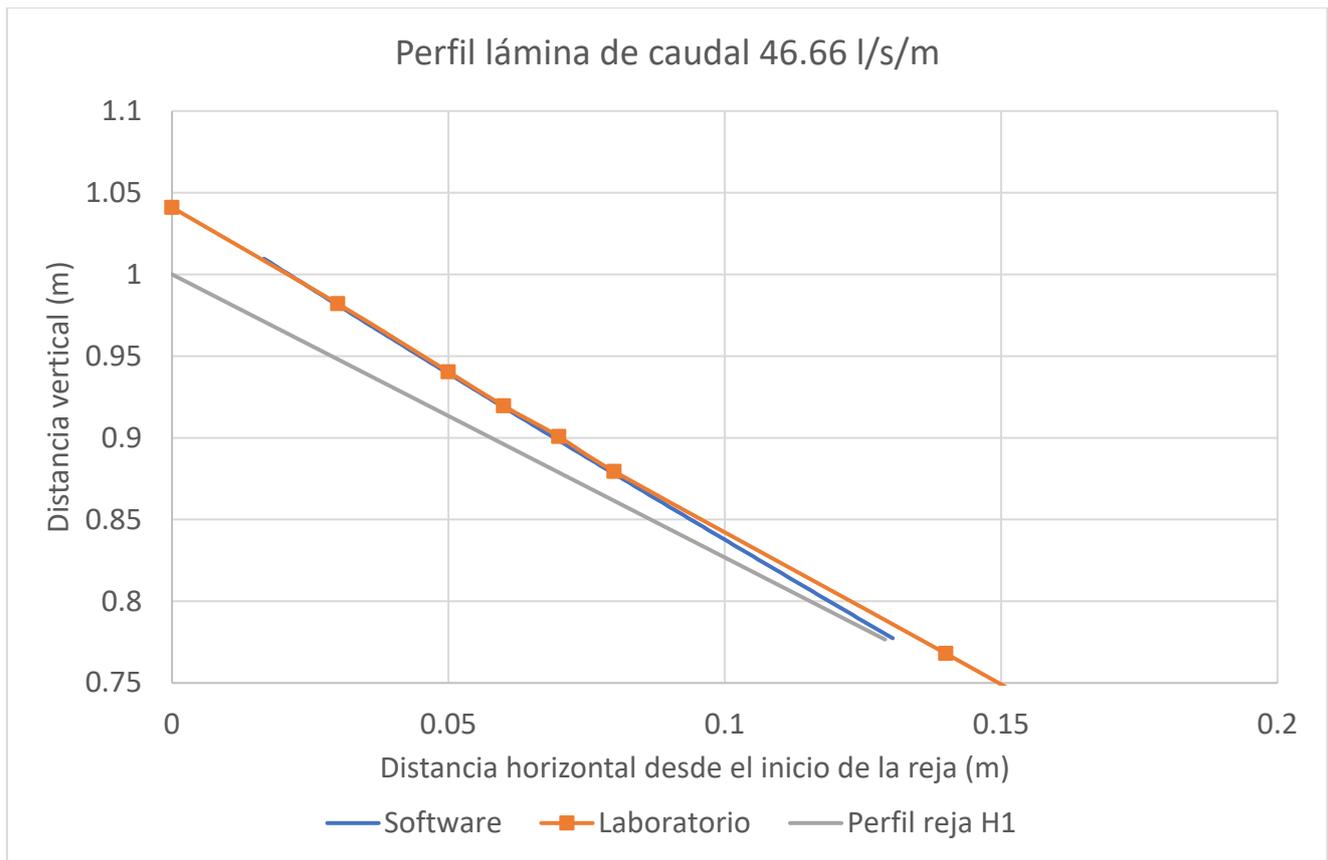


Figura 23. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 46.66 l/s/m, reja H1

Gráficamente se puede ver como el valor de tirante de la posición del origen, parece estar en una posición ligeramente inferior a la que calcula el programa.

El valor de altura de la lámina de agua en la posición 0.14 m, tiene un valor superior al calculado por el programa. El resto de posiciones muestran que los valores medidos en laboratorio son similares a los generados por el programa, es decir, si nos situamos en la gráfica se observa como los datos de laboratorio coinciden en la misma curva que los valores del programa.

Los valores de la velocidad en las posiciones horizontales de estudio se encuentran representados en la Figura 24. Los valores de ambas curvas siguen la misma tendencia. A simple vista se observa como la curva con los valores de laboratorio se encuentra ligeramente por debajo de la curva de valores generados por el software. Aun así, estos valores son aceptables debido a la complejidad del modelo.

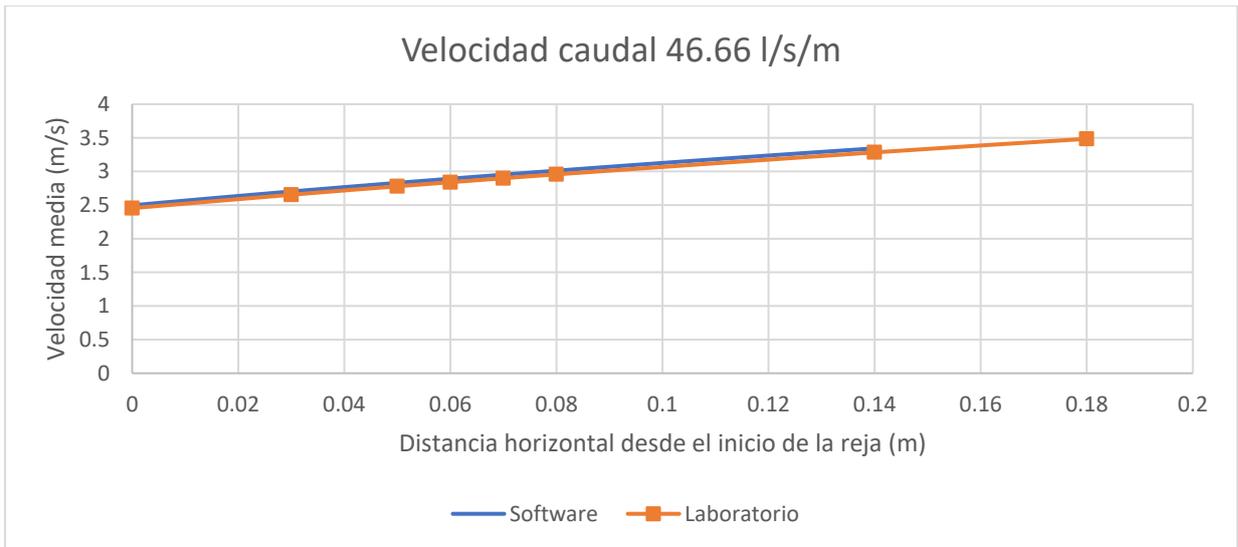


Figura 24. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 46.66 l/s/m, reja H1

5.2.2.3. Caudales 52.22 l/s/m y 55.56 l/s/m

Una vez obtenidos y recopilados estos valores de laboratorio, se realizan los cálculos mostrados en la Tabla 9 y Tabla 10, en las que se recogen los valores de tirante y de velocidad en cada posición horizontal en el caudal 52.22 l/s/m, respectivamente, y en la Tabla 11 y Tabla 12, para el caudal 55.56 l/s/m.

Se calculan los valores en el programa, con las características de la reja H1 para ambos.

Se realizan las gráficas de ambos parámetros para cada caudal, y se analizan las diferencias de los valores calculados por el programa y los recogidos en laboratorio.

Tabla 9. Datos representativos de velocidad para el caudal 52.22 l/s/m en la reja H1

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0	2.55
0.03	2.74
0.05	2.86
0.06	2.92
0.08	3.03
0.1	3.14
0.12	3.25
0.15	3.40
0.18	3.55

Tabla 10. Datos representativos de tirante para el caudal 52.22 l/s/m en la reja H1

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0	0.05
0.03	0.04
0.05	0.03
0.06	0.03
0.08	0.02
0.1	0.02
0.12	0.02
0.15	0.01
0.18	0.01

Tabla 11. Datos representativos de velocidad para el caudal 55.56 l/s/m en la reja H1

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0	2.53
0.03	2.72
0.05	2.84
0.06	2.90
0.08	3.02
0.1	3.13
0.15	3.39
0.2	3.63

Tabla 12. Datos representativos de tirante para el caudal 55.56 l/s/m en la reja H1

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0	0.05
0.03	0.04
0.05	0.03
0.06	0.03
0.08	0.03
0.1	0.02
0.15	0.01
0.2	0.00

La gráfica que muestra el tirante de la reja para el caudal de 52.22 l/s/m, (Figura 25) muestra tanto la curva de caudal de los valores generados por el programa, como los valores obtenidos en el estudio realizado. El valor del tirante en la posición horizontal 0 se aprecia como no sigue la tendencia de los valores del programa, y se encuentra ligeramente por debajo de la curva descrita por los valores del programa.

Los valores de tirante en las posiciones de 0.03 m a 0.08 m, son muy próximos a los valores generados en la simulación. Sin embargo, se observa como en las posiciones finales, los valores de tirante tienden a alejarse de los cálculos realizados por el programa.

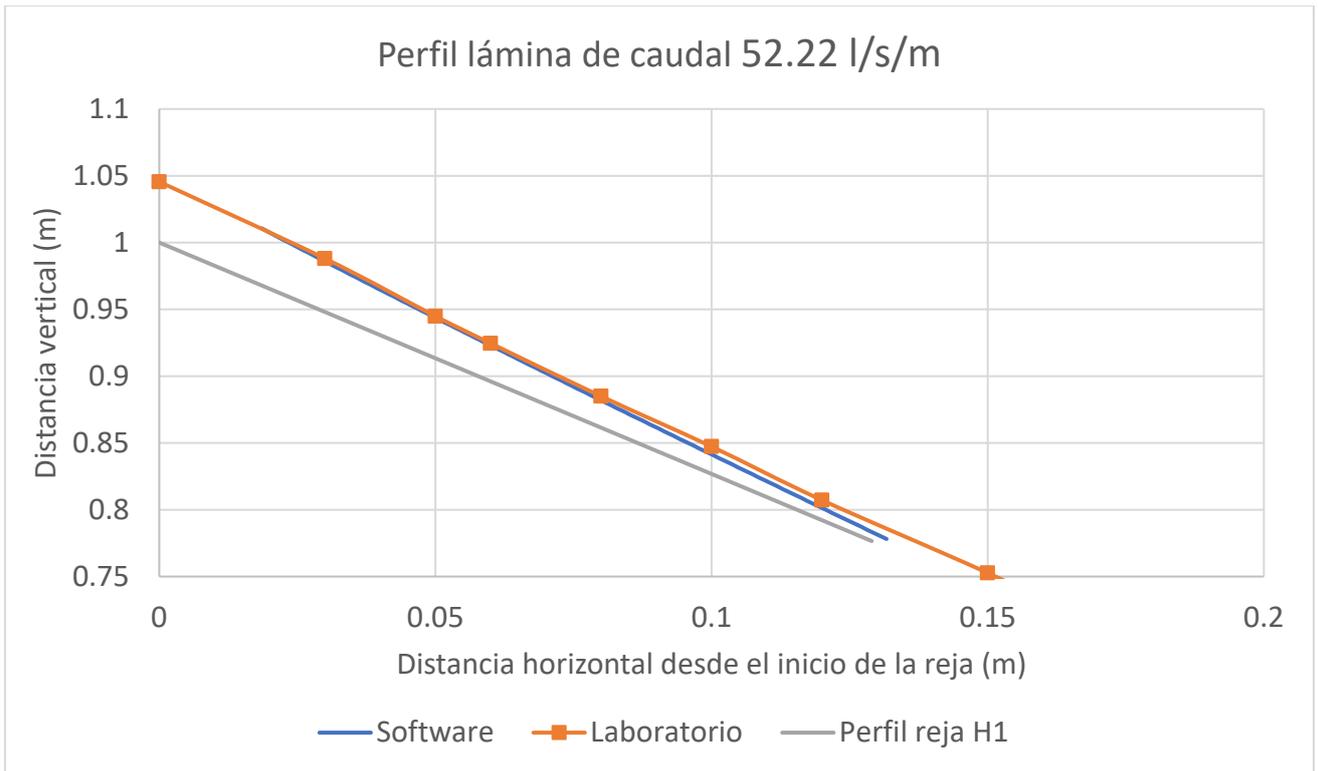


Figura 25. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 52.22 l/s/m, reja H1

La figura 26 es la comparativa con las curvas de velocidad de caudal, tanto de los valores obtenidos en laboratorio, como los valores generados. Los valores de velocidad obtenidos en laboratorio coinciden con los valores generados en el programa de simulación para esta reja, con este caudal.

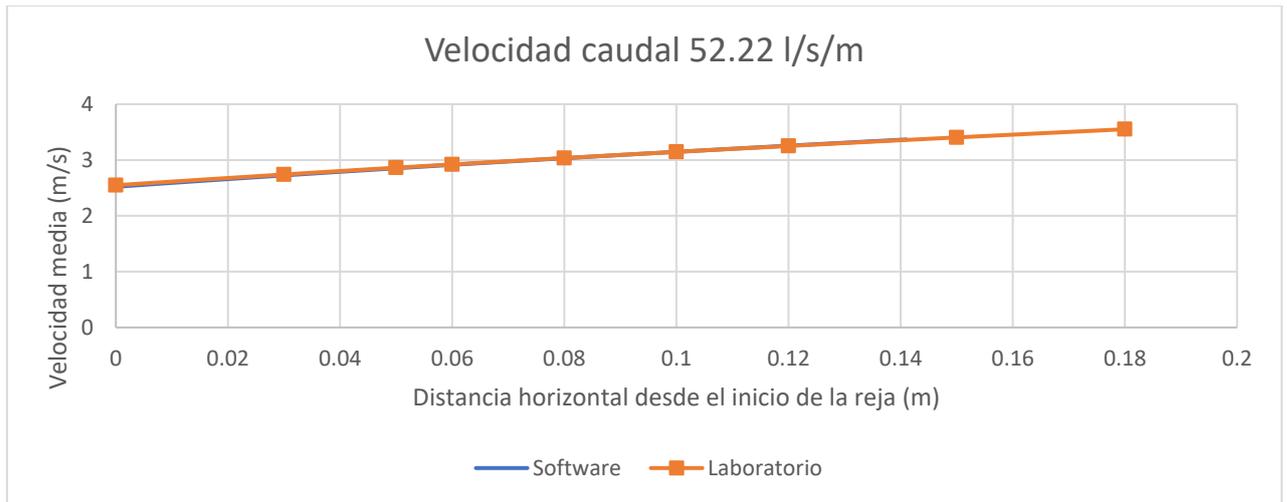


Figura 26. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 52.22 l/s/m, reja H1

La Figura 27 muestra las curvas calculadas por el programa y las realizadas en laboratorio, para el caudal 55.56 l/s/m. En las posiciones horizontales de 0 m al 0.06 m, se aprecia como los valores de tirante se encuentran ligeramente por debajo de los valores generados por el programa, mientras que los valores de tirante en las posiciones horizontales de 0.08 m a 0.15 m se encuentran ligeramente por encima. A lo largo de la curva hay un punto de inflexión en el que ambas curvas coinciden en valor de tirante, esa posición horizontal desde el origen definido, está en $x = 0.07$ m. Se considera que estos valores son aceptables a pesar de las derivaciones del inicio y el final.

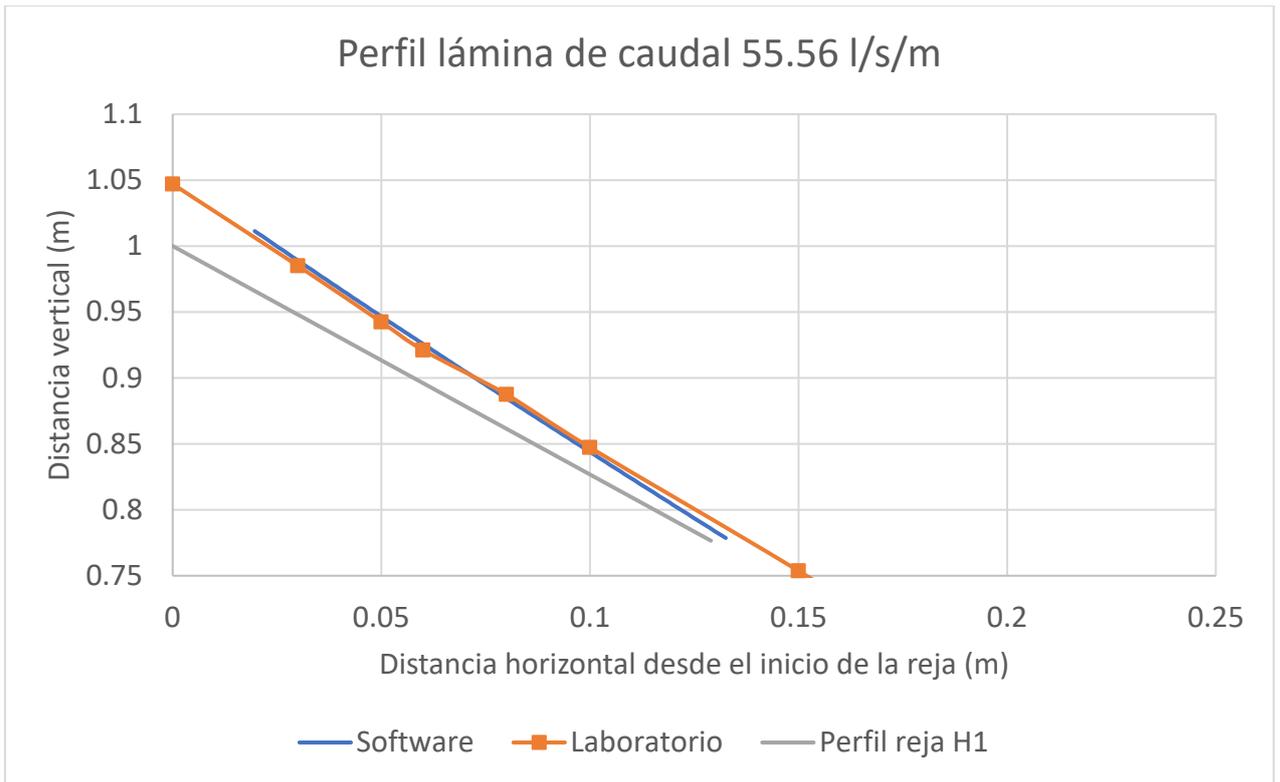


Figura 27. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 55.56 l/s/m, reja H1

Los datos de velocidad (Figura 28) para el caudal 55.56 l/s/m muestra unos valores de velocidad coincidentes con los valores calculados por el software.

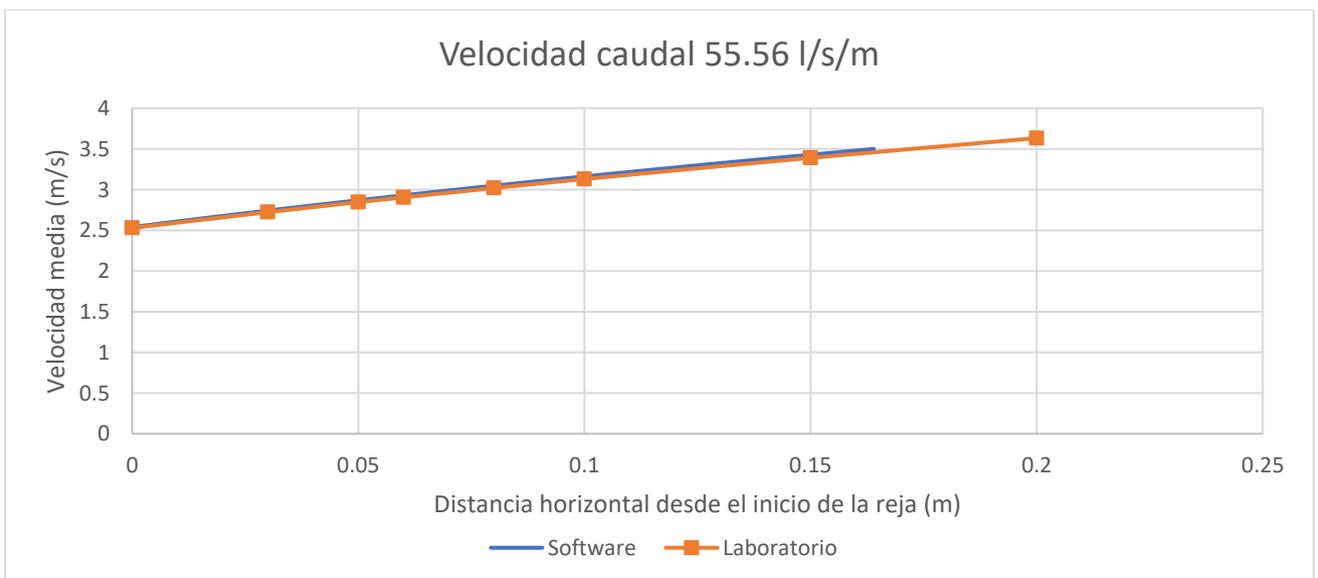


Figura 28. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 55.56 l/s/m, reja H1

5.2.2.4. Caudales 60 l/s/m y 67.22 l/s/m

Se analizan los perfiles del caudal de las tres zonas de toma, obteniendo la tabla con los valores medidos en laboratorio.

Los datos de los tirantes y velocidades para el caudal de 60 l/s/m, se muestran en la Tabla 13 y Tabla 14, respectivamente, para el caudal 67.22 l/s/m en la Tabla 15 y Tabla 16. A partir de estos datos, se realizan las representaciones gráficas para el correspondiente estudio y comparación con los datos generados por el programa simulador de las rejillas.

Tabla 13. Datos representativos de tirante para el caudal 60 l/s/m en la reja H1

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0.03	0.04
0.05	0.03
0.06	0.03
0.07	0.02
0.08	0.02
0.1	0.01
0.12	0.01
0.15	0.00

Tabla 14. Datos representativos de velocidad para el caudal 60 l/s/m en la reja H1

Posición Horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0.03	2.73
0.05	2.85
0.06	2.91
0.07	2.97
0.08	3.03
0.1	3.14
0.12	3.24
0.15	3.4

Tabla 15. Datos representativos de tirante para el caudal 67.22 l/s/m en la reja H1

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0	0.056
0.03	0.050
0.08	0.028
0.1	0.023
0.12	0.016
0.15	0.010

Tabla 16. Datos representativos de velocidad para el caudal 67.22 l/s/m en la reja H1

Posición Horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0	2.57
0.03	2.76
0.08	3.05
0.1	3.16
0.12	3.27
0.15	3.42

Se comienza graficando los valores de tirante del caudal 60 l/s/m. Como se puede ver en la Figura 29, los valores obtenidos en laboratorio se sitúan a una distancia muy cercana a los valores generados por el programa de simulación. Los datos mostrados se sitúan a una distancia ligeramente por encima de los valores del programa y el valor de tirante en la posición horizontal 0.07 m, es casi coincidente al valor mostrado en el programa.

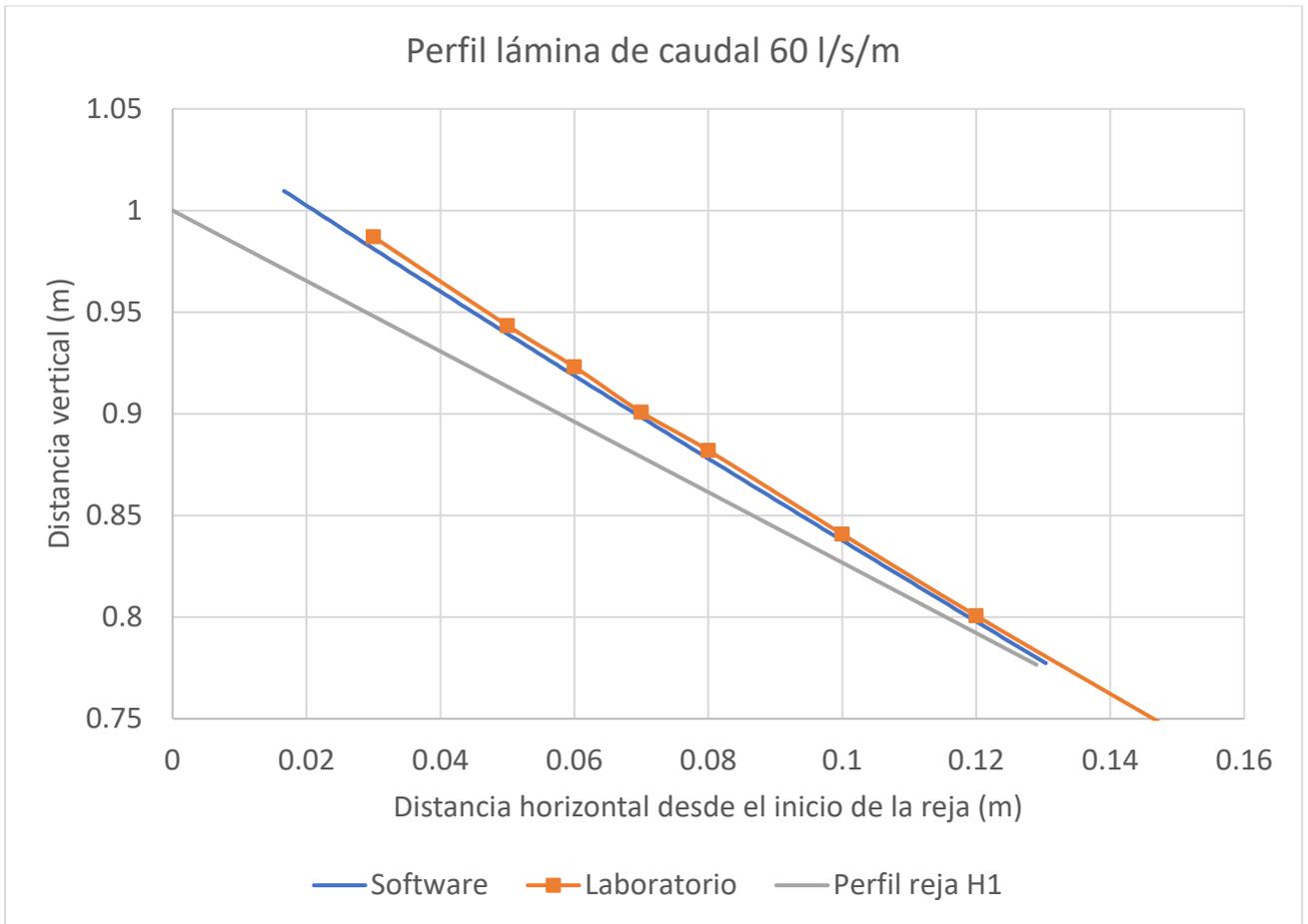


Figura 29. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 60 l/s/m, reja H1

Para el caso de los resultados de velocidad en el caudal 60 l/s/m, se aprecia en la Figura 30 como en los primeros valores la velocidad se encuentra levemente por encima de los valores dados por el software, en las siguientes posiciones los valores de velocidad son muy similares.

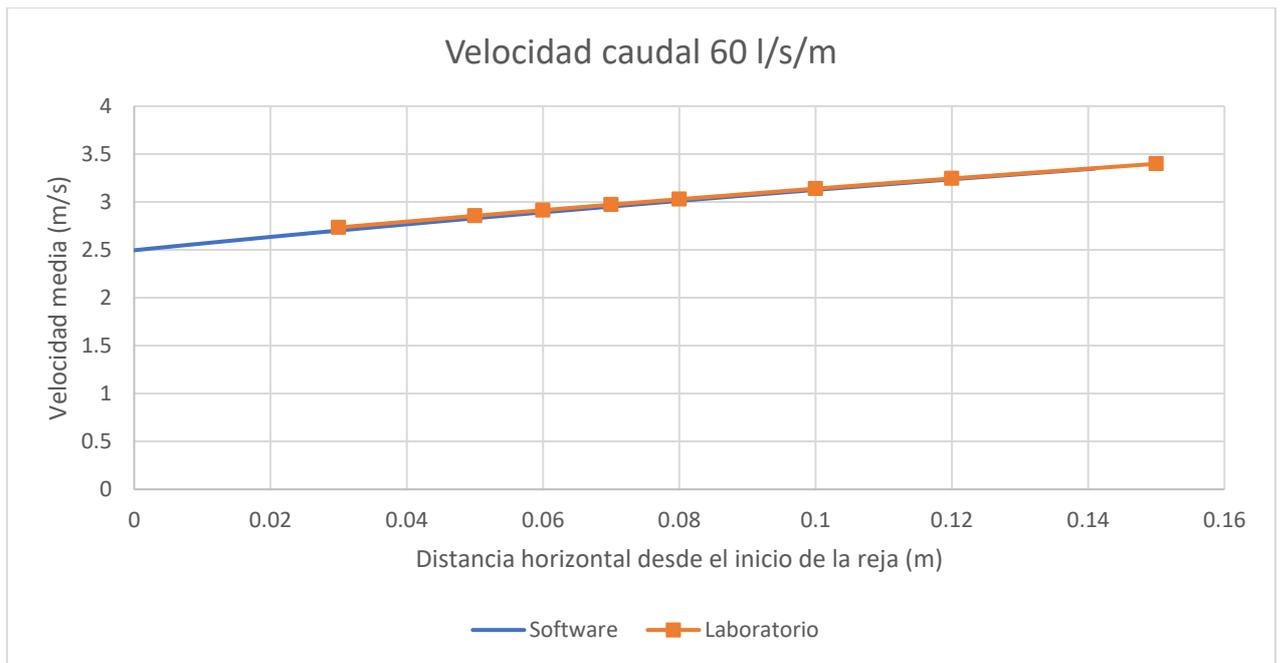


Figura 30. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 60 l/s/m, reja H1

Estas representaciones se realizaron también para el caso del caudal de 67.22 l/s/m, empezando por la gráfica de los datos de tirante. La Figura 31 muestra en la posición origen un valor de tirante por debajo del valor generado por el software. También se aprecia como la posición 0.08 m se encuentra levemente por debajo del valor dado por el programa. El resto de valores de tirante en las demás posiciones son muy similares a los datos calculados por el software.

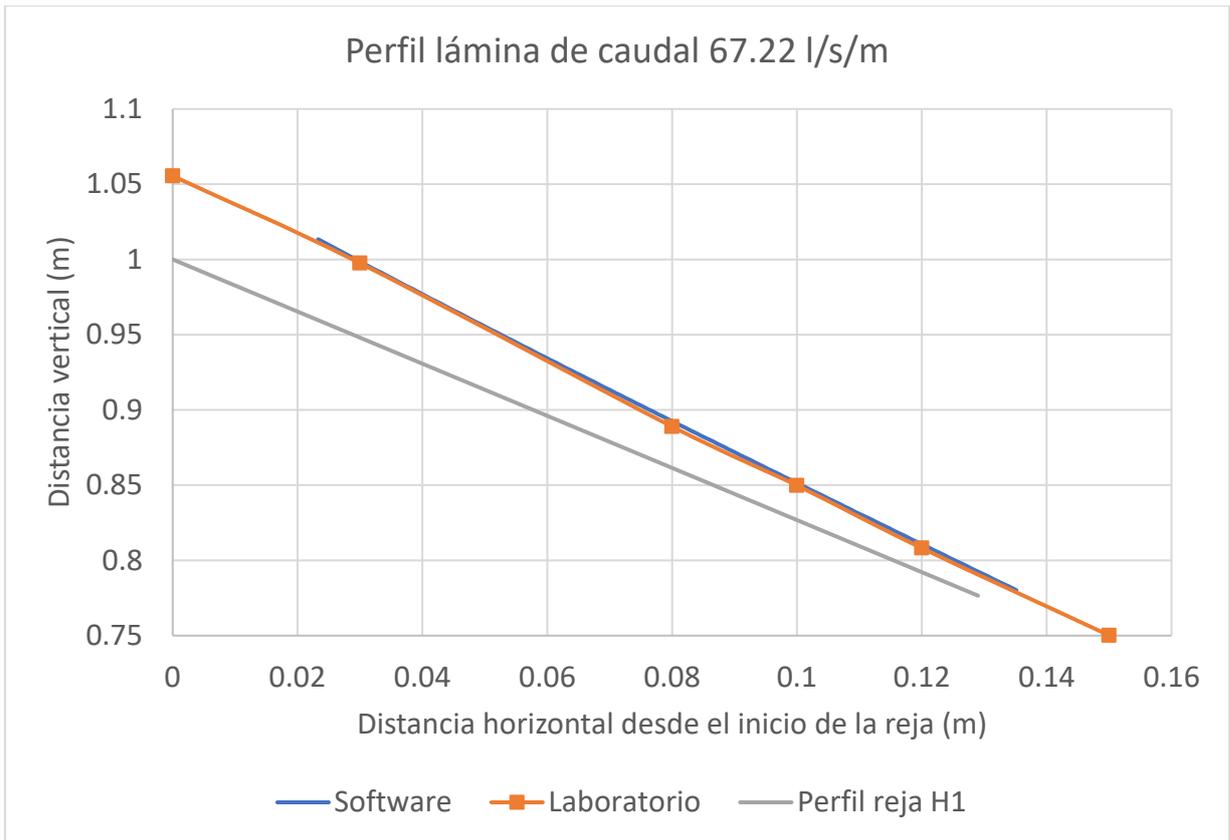


Figura 31. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 67.22 l/s/m, reja H1

Los valores de las velocidades obtenidas en laboratorio para las posiciones horizontales estudiadas, siguen la misma tendencia obteniendo valores muy similares de laboratorio con los valores de la curva de los valores de velocidad generados por el software, (Figura 32).

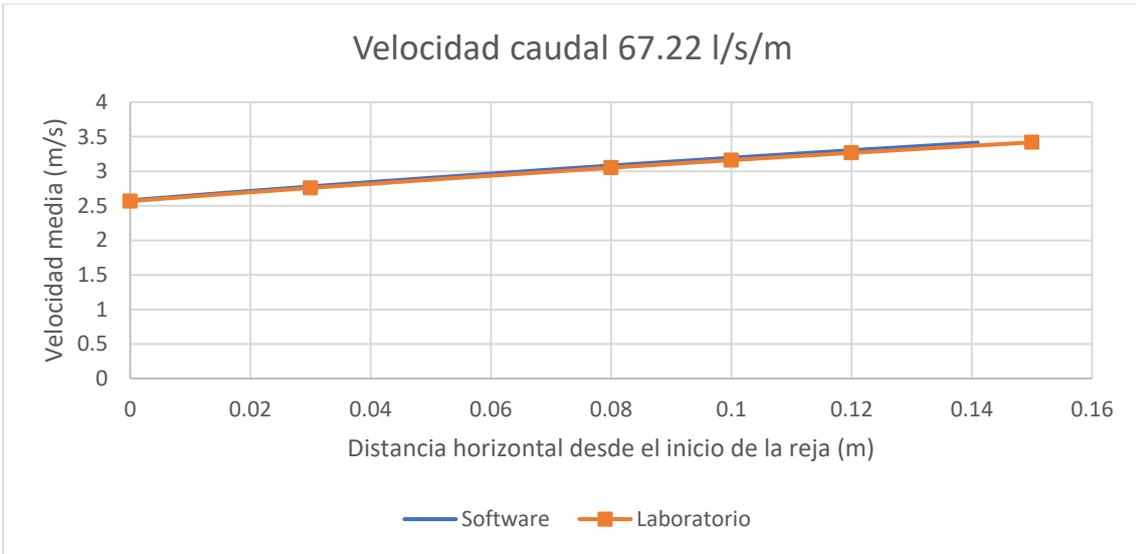


Figura 32. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 67.22 l/s/m, reja H1

La siguiente figura recopila los datos de los 6 caudales:

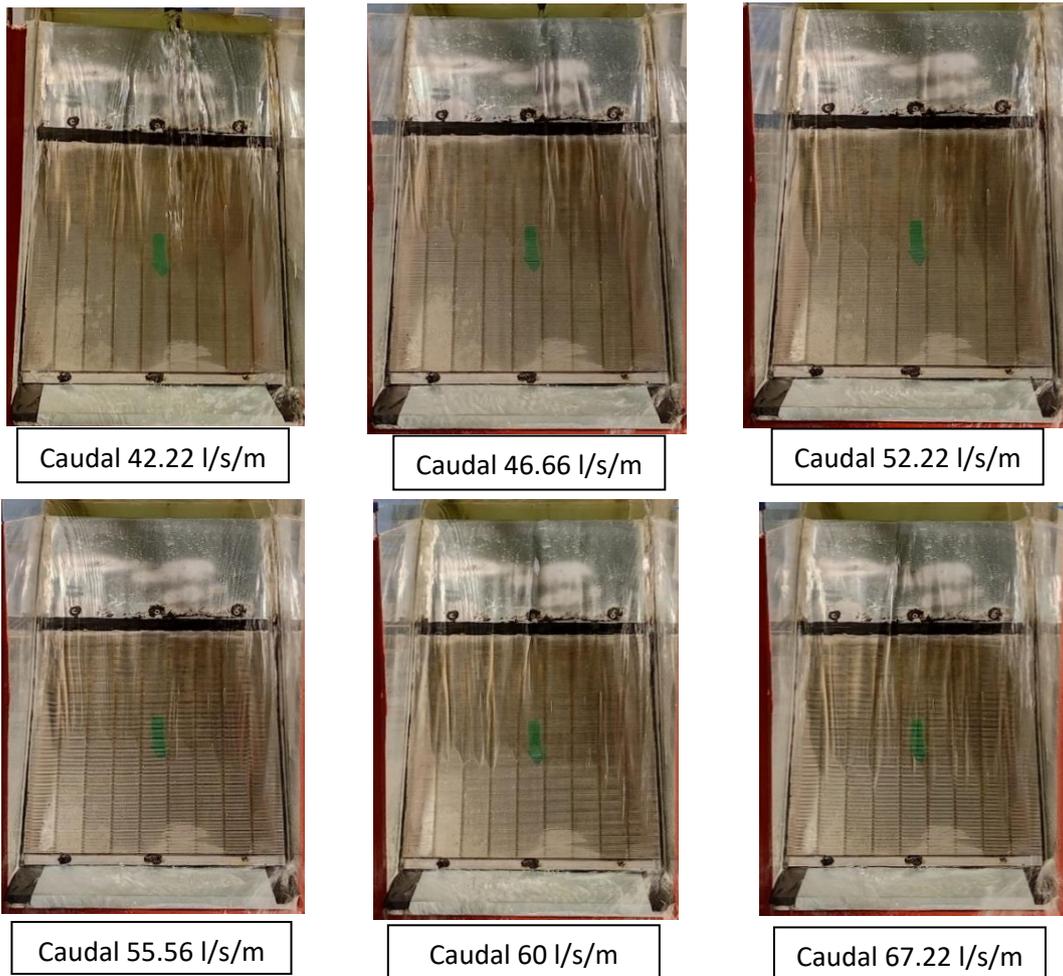


Figura 33. Comportamiento en laboratorio de los 6 caudales sobre la reja H1

5.3. Reja H2

5.3.1. Análisis del procedimiento

Para comenzar el estudio de la reja H2 se realiza la prueba de rango de caudal, para así definir los caudales de recogida de datos. El rango va de 33.34 l/s/m, a 63.88 l/s/m, donde se definen 6 caudales (36.10 l/s/m, 40 l/s/m, 46.66 l/s/m, 51.10 l/s/m, 57.22 l/s/m y 63.88 l/s/m).

Se realizaron 3 tomas de datos. En la primera toma de datos, se midieron las posiciones horizontales de las 3 diferentes zonas de la estructura. Para la segunda toma se tomaron valores únicamente de la zona de la reja, ya que se trataba de la principal zona de estudio.

Para la zona de la reja se midieron desde el punto referenciado como origen (0,0), las posiciones $x = 0.03$ m, 0.05 m, 0.07 m, 0.09 m y 0.12 m. En algunos casos, se midieron también las posiciones horizontales $x = 0.01$ m, 0.14 m y 0.18 m. Para la zona de la cresta de aceleración, se miden tres posiciones horizontales $x = -0.09$ m, -0.15 m y -0.20 m, y para la zona del canal se miden cuatro posiciones horizontales desde el punto de origen, $x = -0.45$ m, -0.60 m, -0.80 m y -1 m.

Los valores de tirante y velocidad, se repite dos veces en laboratorio para asegurar que las mediciones tomadas son correctas.

Estos resultados son representados gráficamente, al igual que en el caso anterior con la reja H1, comparándolos con los proporcionados por el programa.

5.3.2. Resultados y comparación

5.3.2.1. Caudales 36.10 l/s/m y 40 l/s/m

Se realizó la representación gráfica del perfil de lámina de caudal a partir del tirante obtenido, de las tres zonas medidas.

Se realizaron los cálculos pertinentes para la obtención de los valores de velocidad y del tirante, dispuestos para su representación gráfica. Los datos son recogidos en la Tabla 17, donde se muestran los valores del tirante para el caudal de 36.10 l/s/m y la Tabla 18 que muestra los valores de velocidad. Los valores de tirante para el caudal de 40 l/s/m,

se pueden observar en la Tabla 19, y los obtenidos para la representación de velocidad se muestran en la Tabla 20.

Tabla 17. Datos representativos de tirante para el caudal 36.10 l/s/m en la reja H2

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0.03	0.02
0.05	0.02
0.07	0.01
0.09	0.00
0.12	0.00

Tabla 18. Datos representativos de velocidad para el caudal 36.10 l/s/m en la reja H2

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0.03	2.63
0.05	2.76
0.07	2.88
0.09	3
0.12	3.16

Tabla 19. Datos representativos de tirante para el caudal 40 l/s/m en la reja H2

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0.03	0.03
0.05	0.02
0.07	0.01
0.09	0.01
0.12	0.00

Tabla 20. Datos representativos de velocidad para el caudal 40 l/s/m en la reja H2

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0.03	2.64
0.05	2.77
0.07	2.89
0.09	3.01
0.12	3.17

Se realizan las representaciones gráficas, comparando resultados con los datos calculados por el programa para el caudal 36.10 l/s/m (Figura 34 y Figura 35 para el

tirante y velocidad, respectivamente) y el caudal 40 l/s/m (Figura 36 y Figura 37, respectivamente para tirante y velocidad).

La Figura 34 muestra el valor de tirante. Todos los valores representados, son coincidentes con los valores calculados y representados por el programa. El valor obtenido en $x = 0.05$ m, es ligeramente superior. Aun así, este resultado es muy aceptable.

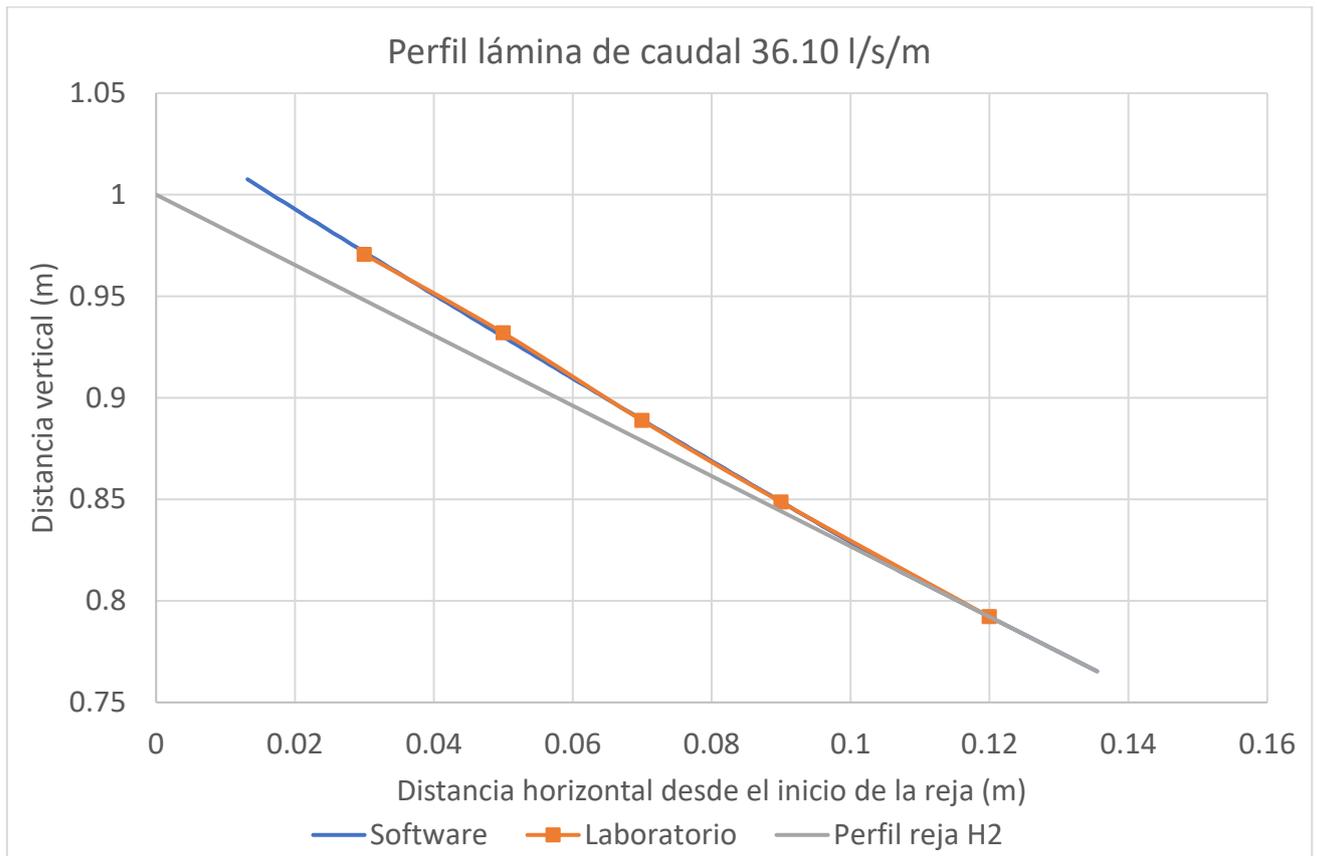


Figura 34. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 36.10 l/s, reja H2

Los datos mostrados en la gráfica de la velocidad (Figura 35), tienen la misma tendencia., además de observarse como la curva de laboratorio coincide con la curva de datos del programa, considerándose así curvas coincidentes.

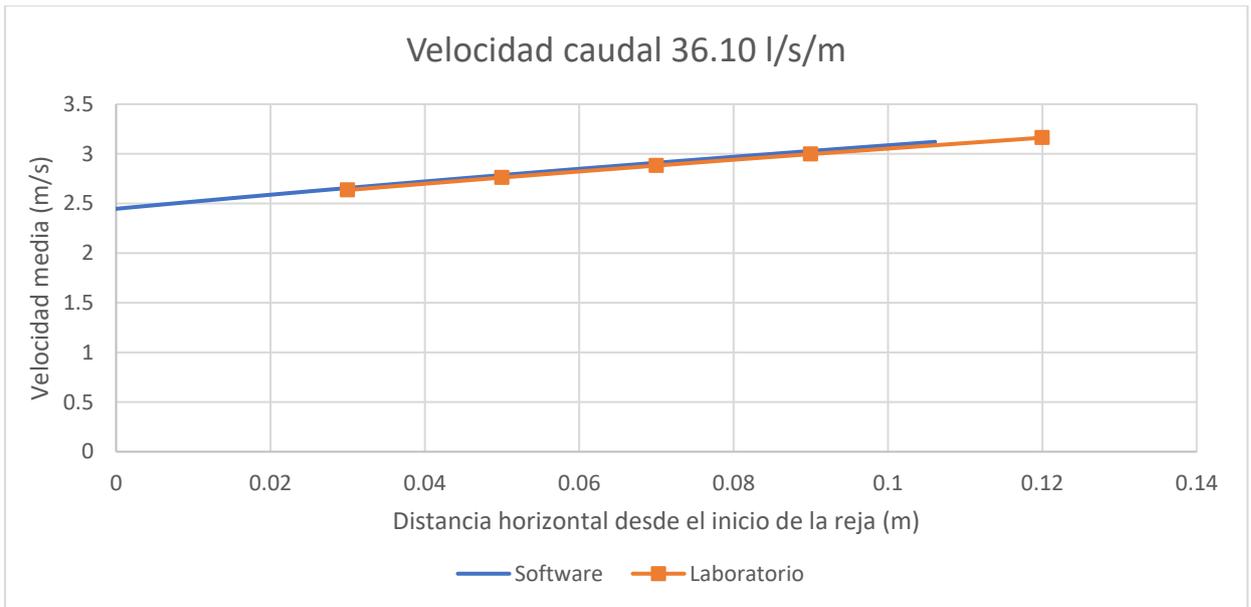


Figura 35. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 36.10 l/s/m, reja H2

La Figura 36 y Figura 37 muestran los valores de tirante y de velocidad respectivamente, obteniendo generalmente, valores similares a los calculados con el programa que en el caudal 36.10 l/s/m.

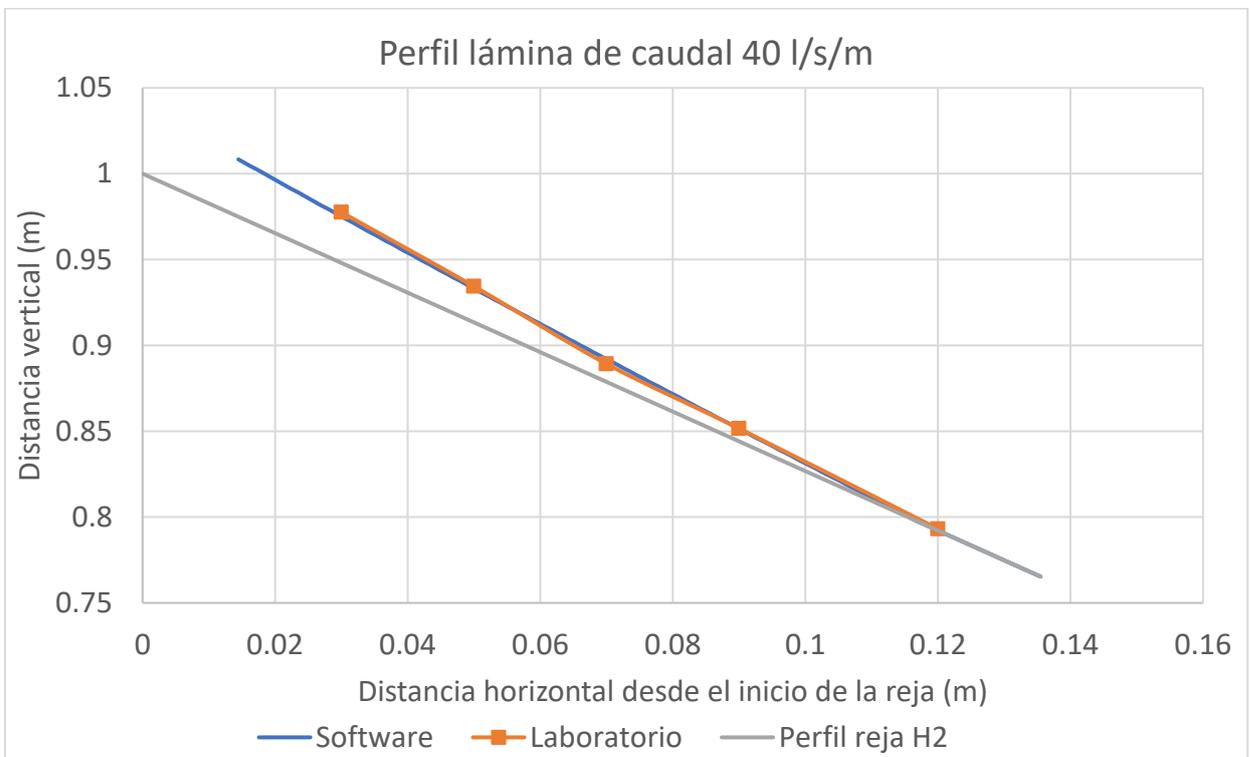


Figura 36. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 40 l/s/m, reja H2

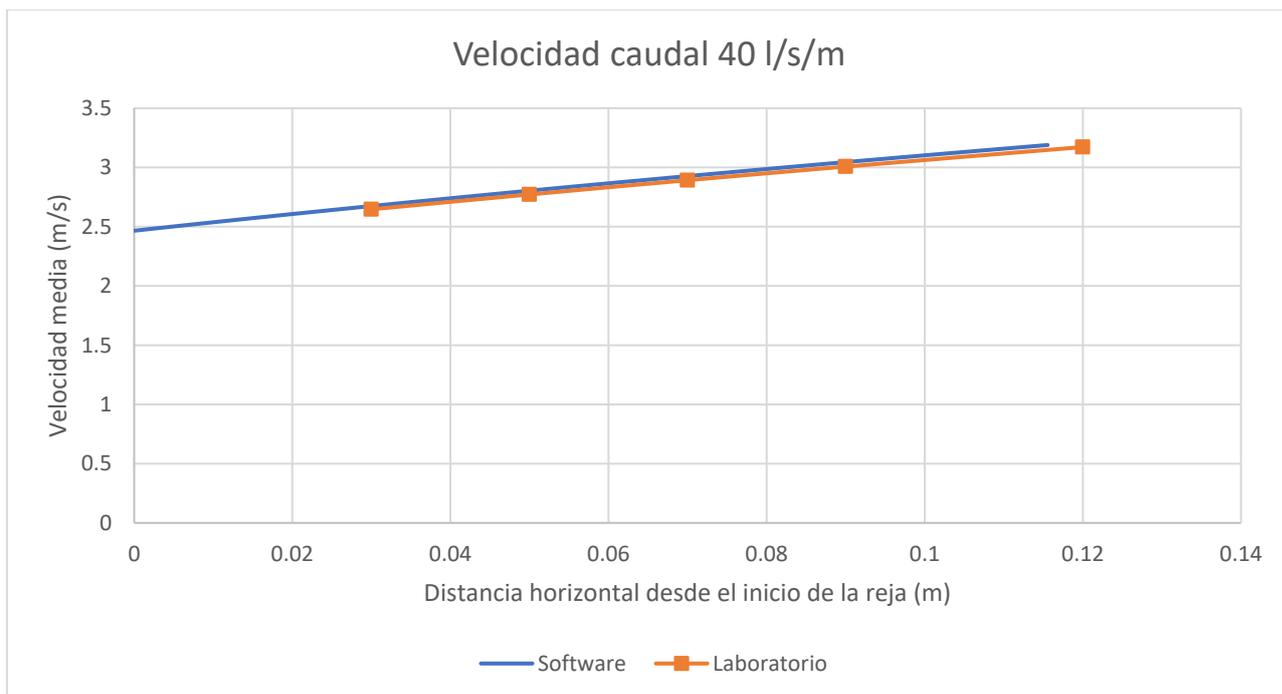


Figura 37. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 40 l/s/m, reja H2

5.3.2.2. Caudales 46.66 l/s/m y 51.10 l/s/m

Tras los cálculos realizados, las Tabla 21, Tabla 22, Tabla 23 y Tabla 24, recogen los resultados del tirante, y de la velocidad en cada posición horizontal.

Las medidas tomadas en laboratorio para el caudal 46.66 l/s/m, se realizaron en las posiciones horizontales, desde el punto de origen (0,0) escogido, situadas a $x = 0.01$ m, 0.03 m, 0.05 m, 0.07 m, 0.09 m y 0.12 m. Para el caudal 51.10 l/s/m se tomó el punto horizontal 0.18 m, además de los dichos para el caudal anterior.

Tabla 21. Datos representativos de tirante para el caudal 46.66 l/s/m en la reja H2

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0.01	0.03
0.03	0.03
0.05	0.02
0.07	0.02
0.09	0.01
0.12	0.01

Tabla 22. Datos representativos de velocidad para el caudal 46.66 l/s/m en la reja H2

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0.01	2.54
0.03	2.67
0.05	2.79
0.07	2.91
0.09	3.03
0.12	3.19

Tabla 23. Datos representativos de tirante para el caudal 51.10 l/s/m en la reja H2

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0.01	0.04
0.03	0.04
0.05	0.03
0.07	0.02
0.09	0.01
0.12	0.01
0.18	0.00

Tabla 24. Datos representativos de velocidad para el caudal 51.10 l/s/m en la reja H2

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0.01	2.54
0.03	2.67
0.05	2.80
0.07	2.92
0.09	3.03
0.12	3.20
0.18	3.50

En el perfil de la lámina de caudal 46.66 l/s/m mostrado en la Figura 38 se observa como el valor en la primera posición de $x = 0.01$ m no sigue la tendencia descrita por el programa. Aun así, los valores del resto de posiciones sí que se muestran acorde a esa tendencia descrita. Los valores obtenidos en las posiciones 0.05 y 0.07 m se sitúan ligeramente por debajo del perfil mostrado por el programa.

La Figura 39 muestra la tendencia de la curva de laboratorio, similar a la mostrada por el programa, aunque los valores de laboratorio se encuentran ligeramente por debajo de esta.

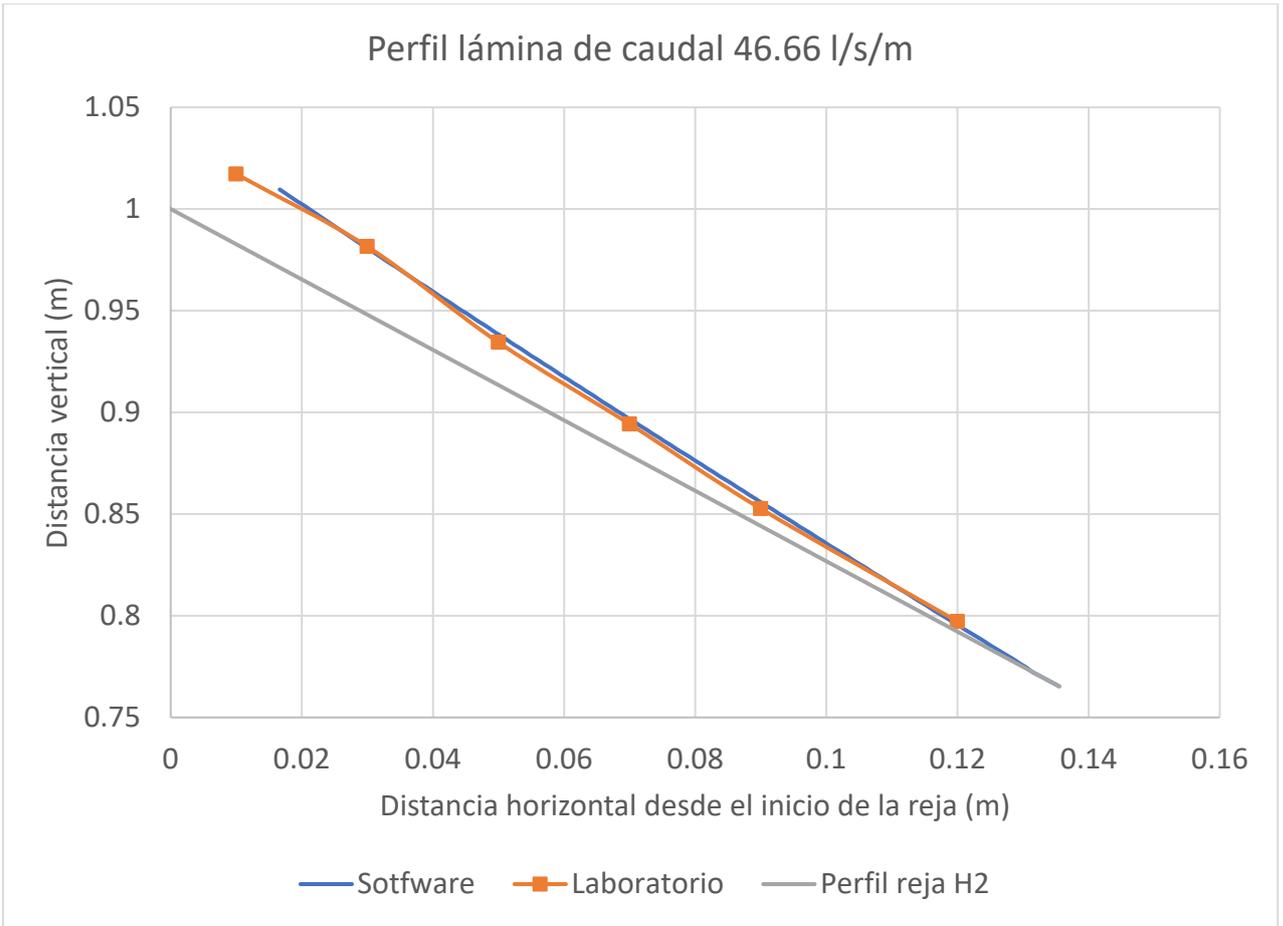


Figura 38. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 46.66 l/s/m, reja H2

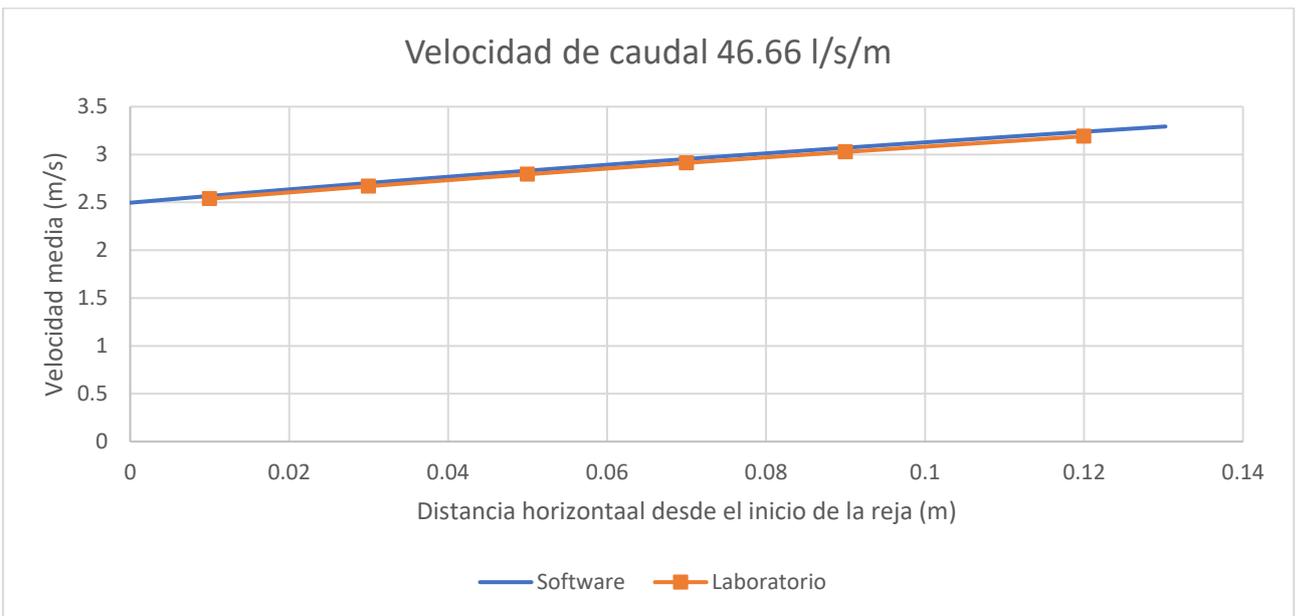


Figura 39. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 46.66 l/s/m, reja H2

La Figura 40 muestra los valores del tirante para el caudal 51.10 l/s/m. La posición horizontal de 0.01 m no sigue la tendencia definida por el perfil del programa. El resto de valores se encuentran en posiciones ligeramente próximas a los datos calculados por el programa, por lo que, aunque no sean totalmente coincidentes, son muy similares.

La tendencia de la curva de velocidad para el caudal 51.10 l/s/m (Figura 41) sigue la misma tendencia que la curva calculada por el programa, con unos valores levemente inferiores a los proporcionados por el programa.

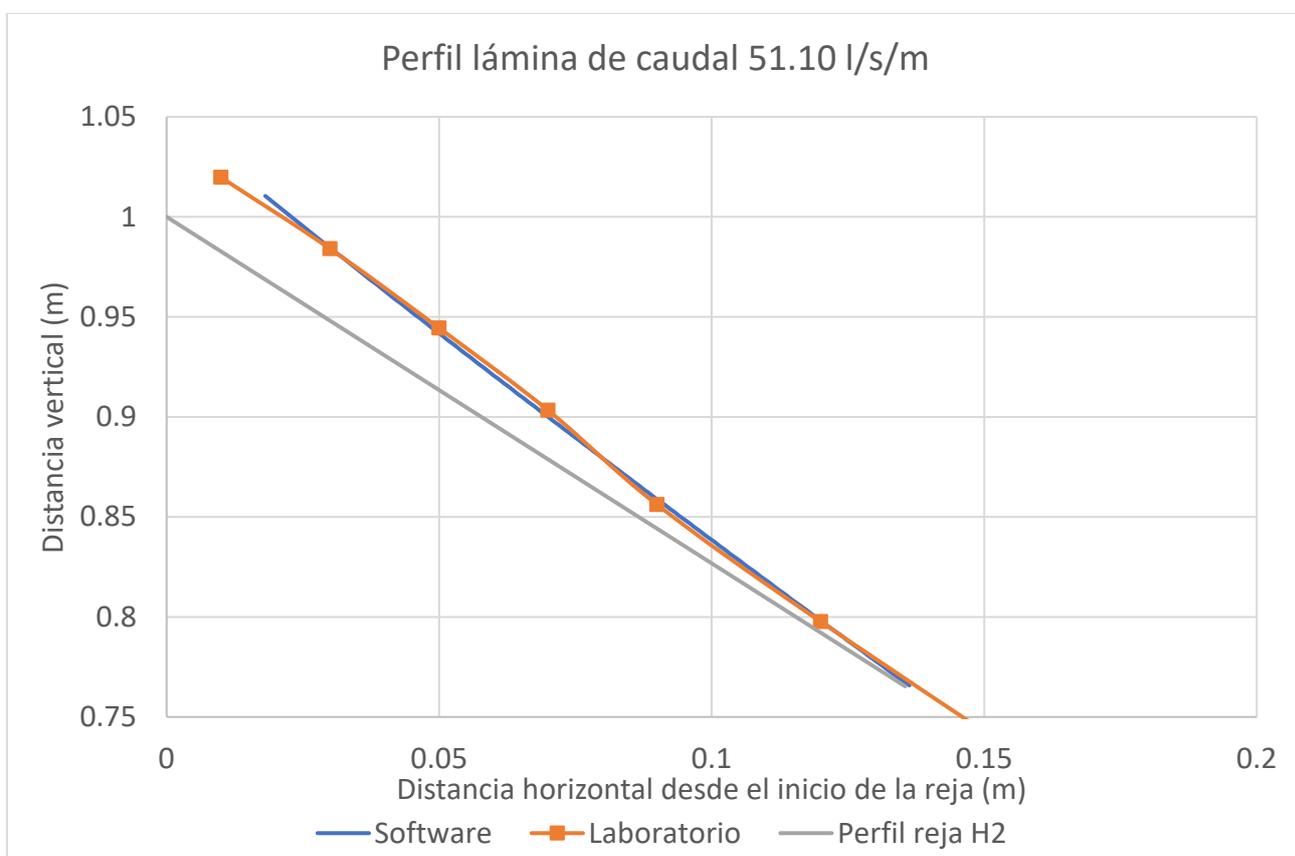


Figura 40. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 51.10 l/s/m, reja H2

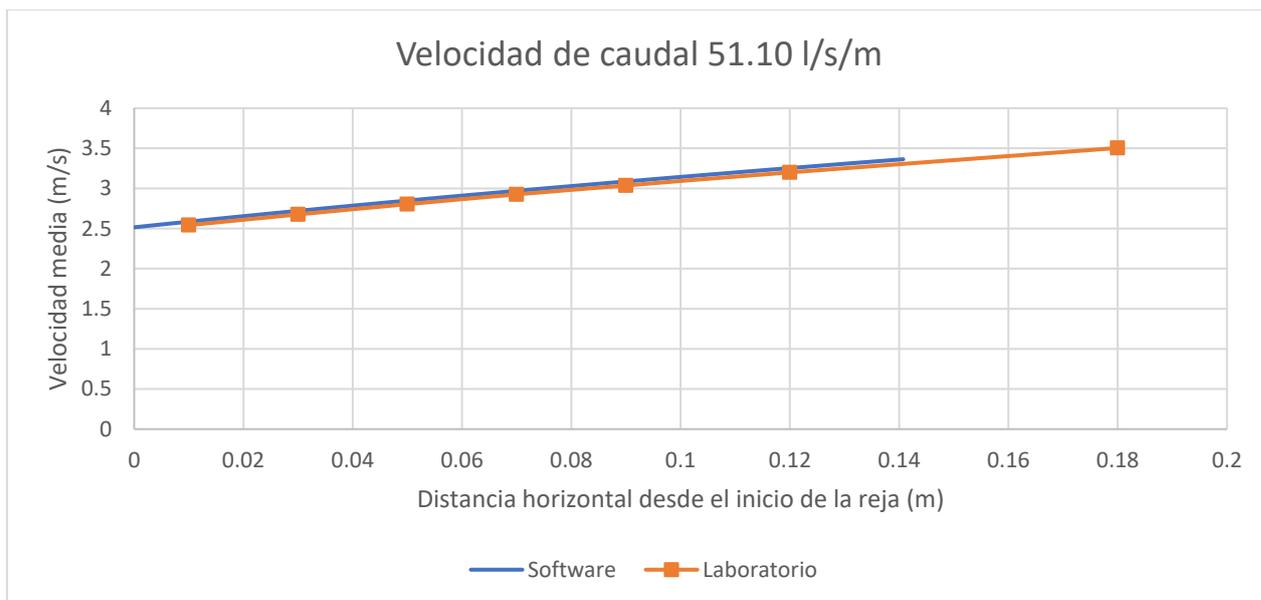


Figura 41. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 51.10 l/s/m, reja H2

5.3.2.3. Caudales 57.22 l/s/m y 63.88 l/s/m

Para este caudal se realiza los pertinentes cálculos al igual que la representación completa del perfil en las tres zonas.

Los valores calculados del tirante y de la velocidad para cada posición horizontal se reúnen en las Tabla 25, Tabla 26, Tabla 27 y Tabla 28.

Las medidas tomadas en laboratorio para los caudales 57.22 l/s/m y 63.88 l/s/m se realizaron en las posiciones horizontales $x = 0.01$ m, 0.03 m, 0.05 m, 0.07 m, 0.09 m, 0.12 m y 0.14 m.

Tabla 25. Datos representativos de tirante para el caudal 57.22 l/s/m en la reja H2

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0.01	0.042
0.03	0.044
0.05	0.037
0.07	0.029
0.09	0.015
0.12	0.007
0.14	0.004

Tabla 26. Datos representativos de velocidad para el caudal 57.22 l/s/m en la reja H2

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0.01	2.57
0.03	2.70
0.05	2.83
0.07	2.94
0.09	3.06
0.12	3.22
0.14	3.32

Tabla 27. Datos representativos de tirante para el caudal 63.88 l/s/m en la reja H2

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0.01	0.05
0.03	0.05
0.05	0.04
0.07	0.03
0.09	0.02
0.12	0.01
0.14	0.01

Tabla 28. Datos representativos de velocidad para el caudal 63.88 l/s/m en la reja H2

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0.01	2.59
0.03	2.71
0.05	2.84
0.07	2.95
0.09	3.07
0.12	3.23
0.14	3.33

La Figura 42 muestra la representación de los valores de tirante para cada posición horizontal de caudal 57.22 l/s/m, y la Figura 44 para el caudal 63.88 l/s/m.

En ambas representaciones los valores situados en las primeras posiciones se encuentran desplazados de manera leve por encima de los datos calculados por el programa. De forma contraria ocurre para el resto de puntos, ya que se sitúan por debajo de los datos del programa.

En la representación de la curva de velocidad en los dos caudales, Figura 43 y Figura 45, los valores de velocidad son ligeramente inferiores a los observados en la representación de la simulación del programa, que se podrían considerar como casi coincidentes.

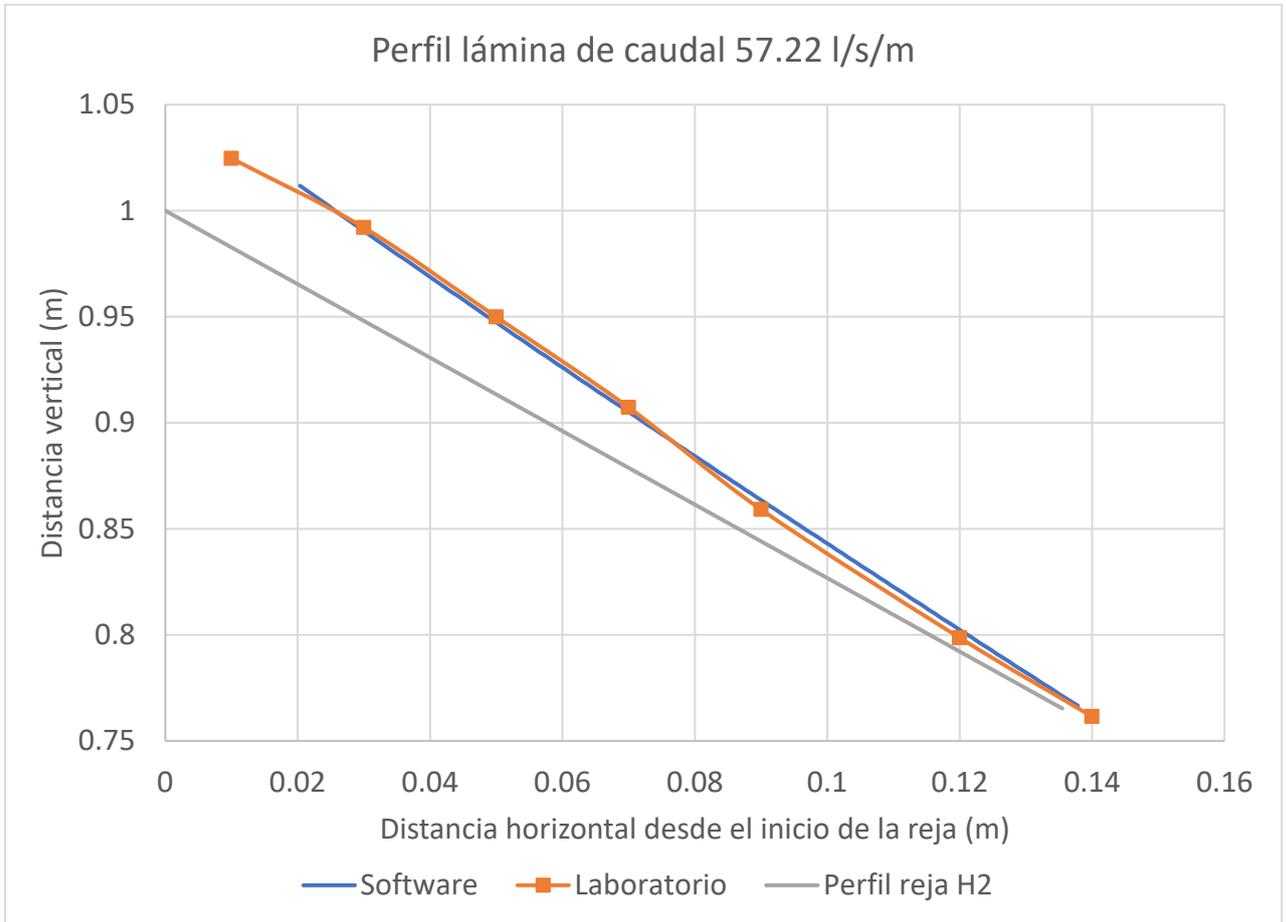


Figura 42. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 57.22 l/s/m, reja H2

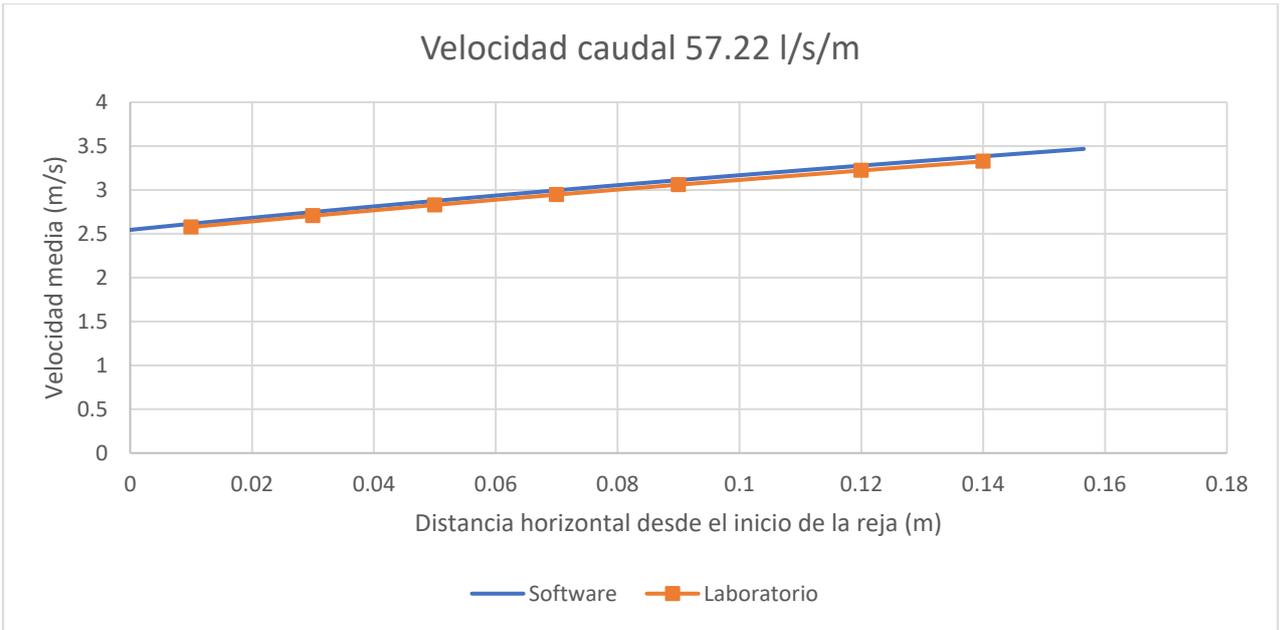


Figura 43. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 57.22 l/s/m, reja H2

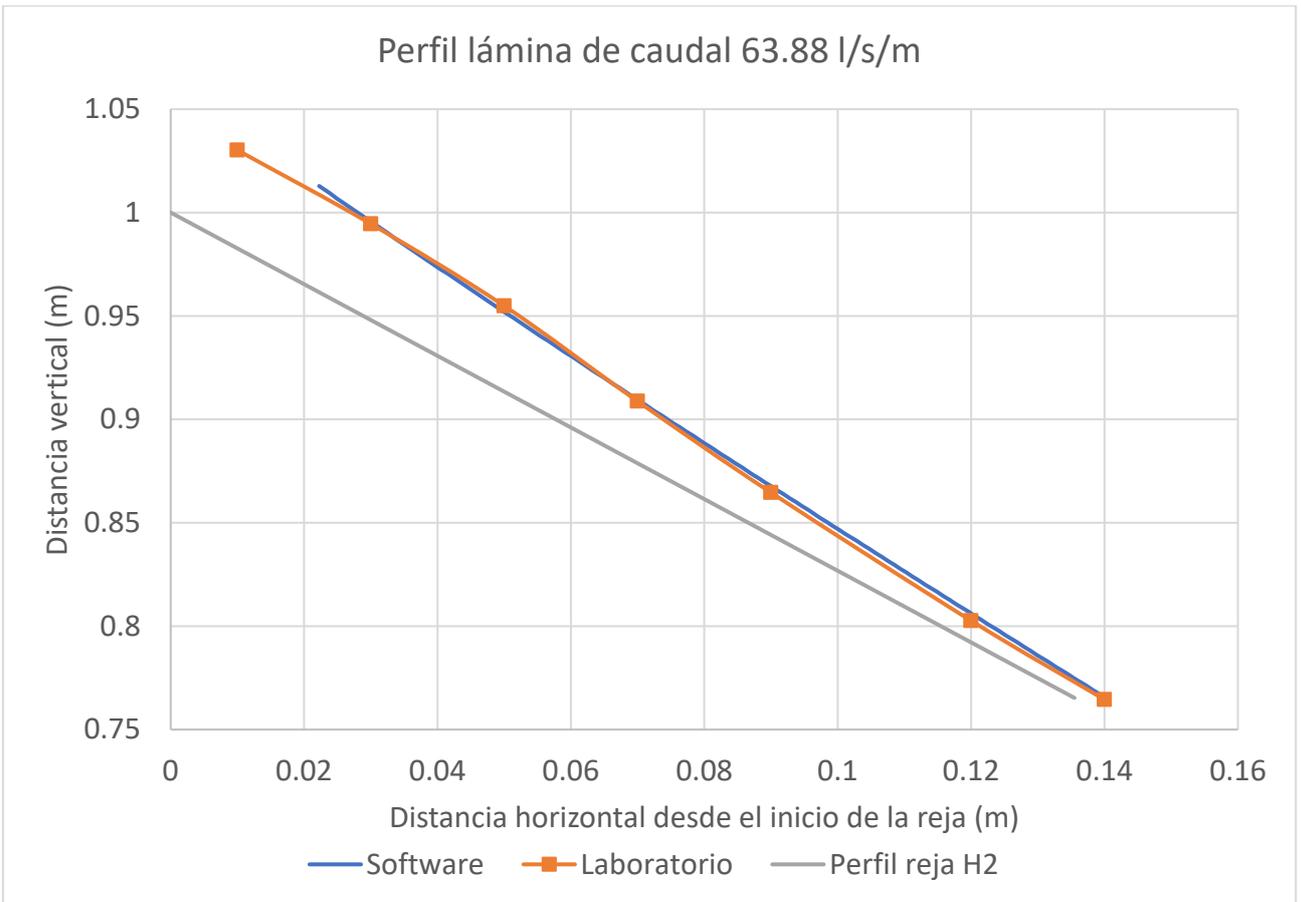


Figura 44. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 63.88 l/s/m, reja H2

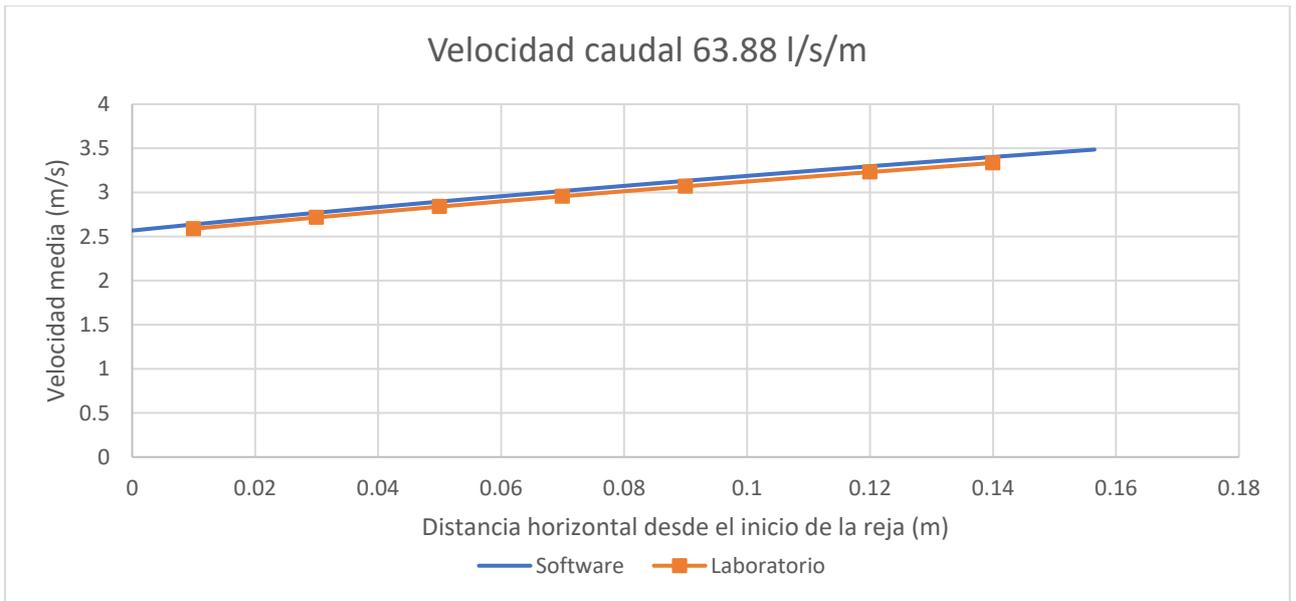


Figura 45. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 63.88 l/s/m, reja H2

La siguiente figura recopila los datos de los 6 caudales:



Caudal 36.10 l/s/m



Caudal 40 l/s/m



Caudal 46.66 l/s/m



Caudal 51.10 l/s/m



Caudal 57.22 l/s/m



Caudal 63.88 l/s/m

Figura 46. Comportamiento en laboratorio de los 6 caudales sobre la reja H2

5.4. Reja H3

5.4.1. Análisis del procedimiento

Los valores de caudal de aproximación oscilaban entre 38.88 l/s/m a 70.56 l/s/m. Los valores variables específicos de los caudales estudiados son, 40 l/s/m, 44.44 l/s/m, 51.10 l/s/m, 57.22 l/s/m, 63.34 l/s/m y 67.22 l/s/m.

Los valores fijos de las posiciones horizontales, desde el punto de referencia (0,0), donde se tomaron los valores de tirantes y de la presión en la zona de la reja son $x = 0.03$ m, 0.05 m, 0.07 m, 0.09 m y 0.12 m. Estos mismos valores se van a analizar para todos los caudales. En algunos casos, se mide también la posición $x = 0.14$ m.

Para la zona de la cresta de aceleración, se miden tres posiciones horizontales situadas a $- 0.06$ m, $- 0.12$ m y -0.20 m, y para la zona del canal se miden cuatro posiciones horizontales desde el punto de origen situadas a; $- 0.50$ m, $- 0.65$ m, -0.80 m y $- 1$ m.

Después de dos tomas, los resultados son representados gráficamente, al igual que en el caso anterior con la reja H1 y la reja H2, comparándolos con los proporcionados por el programa software.

5.4.2. Resultados y comparación

5.4.2.1. Caudales 40 l/s/m y 44.44 l/s/m

Se realizan los cálculos expuestos en apartados anteriores, para obtener las representaciones y así analizar los resultados. Los valores del tirante y velocidad se recogen en las Tabla 29, Tabla 30, Tabla 31 y Tabla 32.

Tabla 29. Datos representativos de tirante para el caudal 40 l/s/m en la reja H3

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0	0.03
0.03	0.02
0.05	0.02
0.07	0.01
0.09	0.00
0.12	0.00

Tabla 30. Datos representativos de velocidad para el caudal 40 l/s/m en la reja H3

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0	2.45
0.03	2.65
0.05	2.77
0.07	2.89
0.09	3.00
0.12	3.17

Tabla 31. Datos representativos de tirante para el caudal 44.44 l/s/m en la reja H3

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0	0.04
0.03	0.03
0.05	0.02
0.07	0.01
0.09	0.01
0.12	0.00

Tabla 32. Datos representativos de velocidad para el caudal 44.44 l/s/m en la reja H3

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0	2.47
0.03	2.67
0.05	2.79
0.07	2.91
0.09	3.02
0.12	3.19

La Figura 47 muestra los valores de tirante representados en las posiciones horizontales del caudal 40 l/s/m, y la Figura 48 los valores del caudal 44.44 l/s/m. La posición horizontal 0 m muestra un valor de tirante que no es acorde a los valores calculados por el software, ya que se muestra levemente inferior, igual que el valor obtenido en la posición a 0.05 m aparece en una posición superior. Aun así, los valores representados son aceptables.

Las curvas de velocidad (Figura 49 y Figura 50) muestran que la curva formada por los valores de velocidad obtenidos en laboratorio tiene un valor inferior, por lo que se

encuentran representados por debajo de la curva de valores generados por el software, siguiendo tendencia de estos.

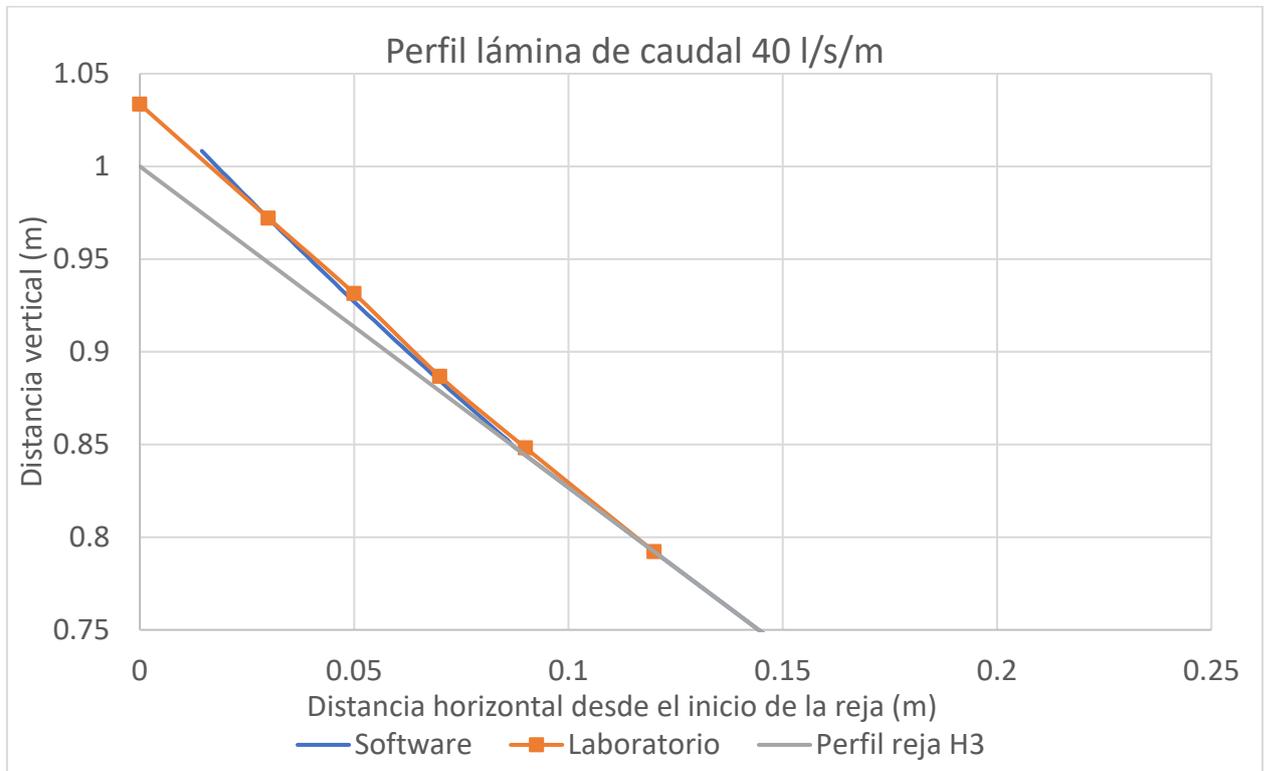


Figura 47. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 40 l/s/m, reja H3

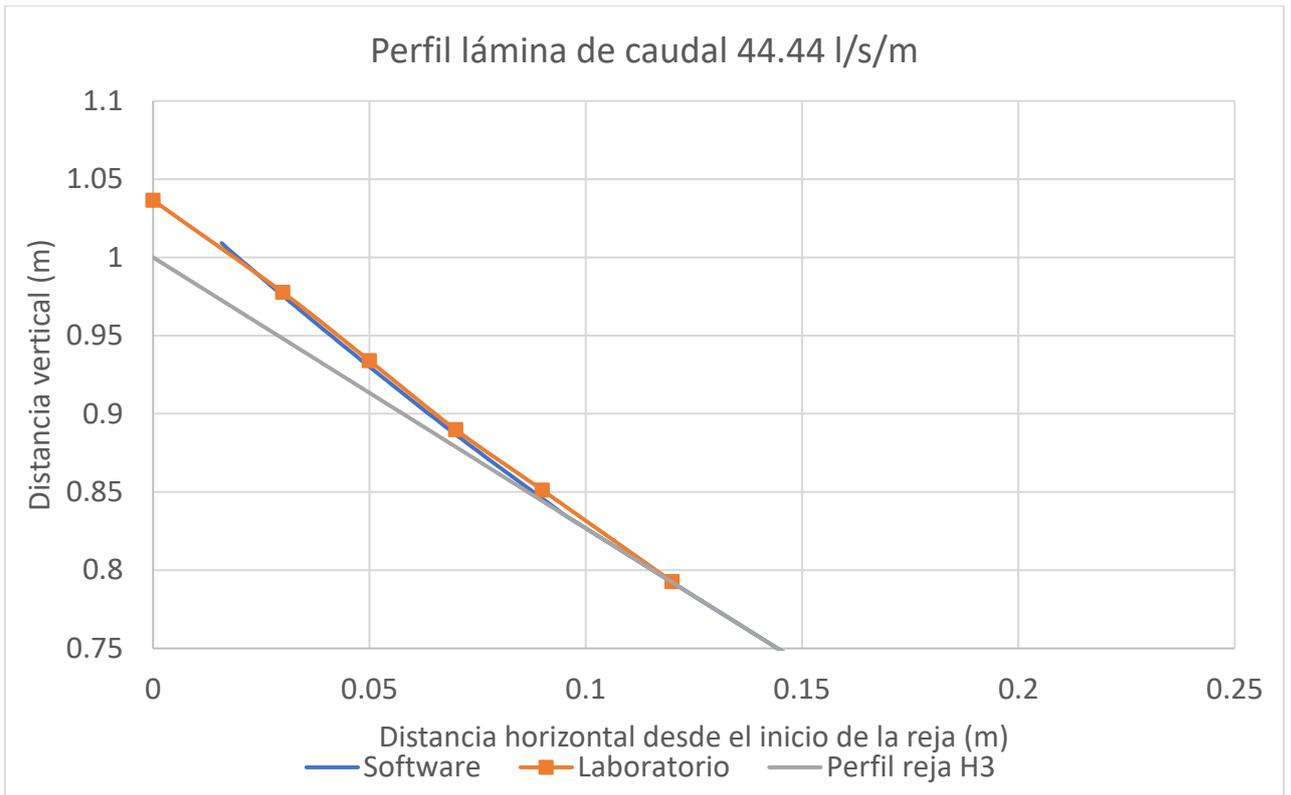


Figura 48. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 44.44 l/s/m, reja H3

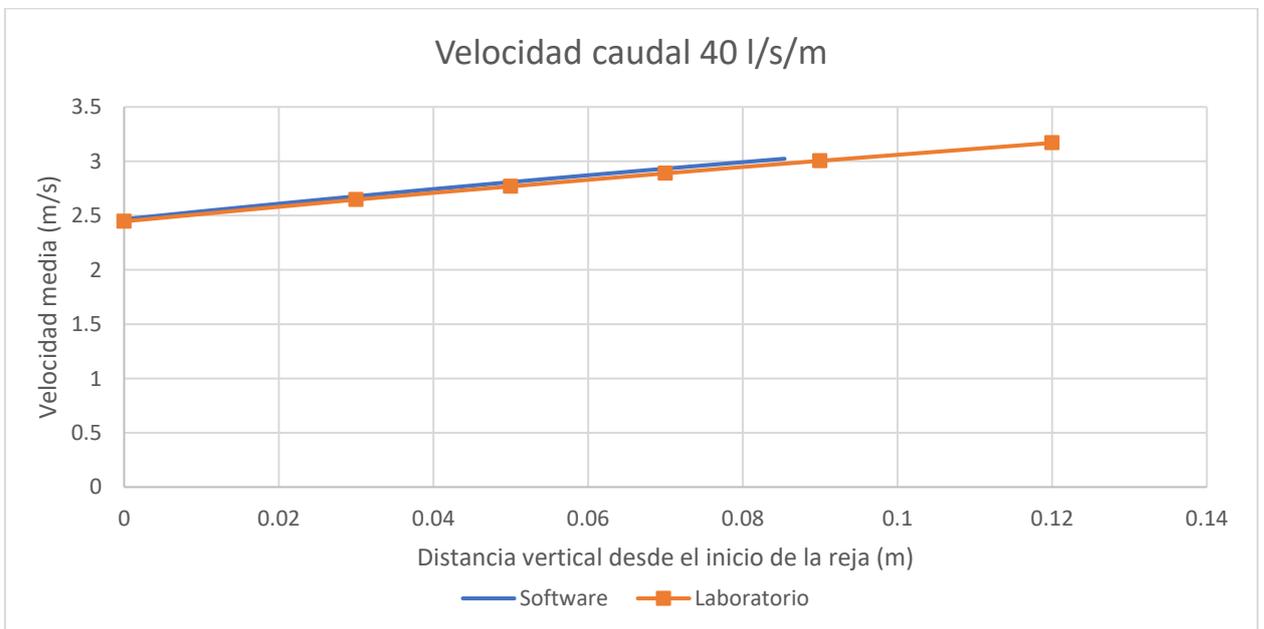


Figura 49. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 40 l/s/m, reja H3

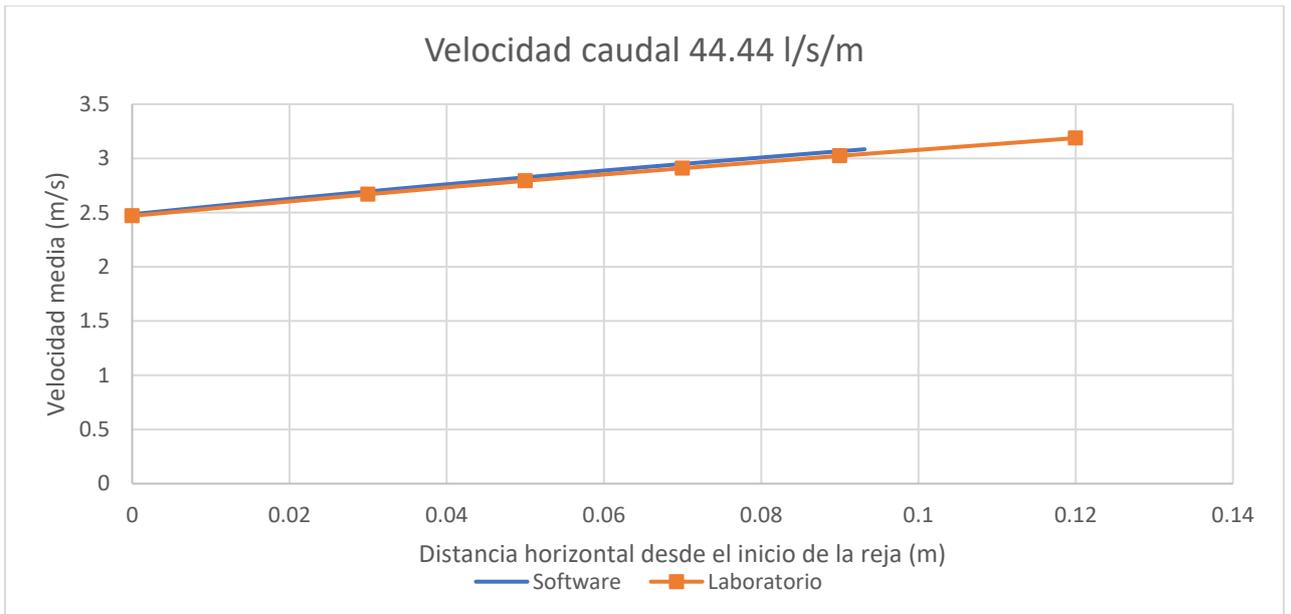


Figura 50. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 44.44 l/s/m, reja H3

5.4.2.2. Caudales 51.10 l/s/m y 57.22 l/s/m

Se realizan los cálculos para los caudales 51.10 l/s/m y 57.22 l/s/m. Se llega a los valores finales de representación, reunidos en la Tabla 33 y Tabla 35, para los valores de tirante para ambos caudales respectivamente, y la Tabla 34 y Tabla 36, para los valores de velocidad.

Tabla 33. Datos representativos de tirante para el caudal 51.10 l/s/m en la reja H3

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0	0.04
0.03	0.03
0.05	0.02
0.07	0.01
0.09	0.01
0.12	0.00

Tabla 34. Datos representativos de velocidad para el caudal 51.10 l/s/m en la reja H3

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0	2.48
0.03	2.68
0.05	2.81
0.07	2.92
0.09	3.04
0.12	3.20

Tabla 35. Datos representativos de tirante para el caudal 57.22 l/s/m en la reja H3

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0	0.04
0.03	0.04
0.05	0.03
0.07	0.02
0.09	0.01
0.12	0.01

Tabla 36. Datos representativos de velocidad para el caudal 57.22 l/s/m en la reja H3

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0	2.50
0.03	2.70
0.05	2.82
0.07	2.94
0.09	3.03
0.12	3.2

La Figura 51 muestra como la curva comienza en el punto de origen con un valor de tirante por debajo del calculado por el programa. El resto de valores de laboratorio se sitúan muy próximos a los calculados por el programa, lo que significa que los resultados del programa son muy aceptables.

En la Figura 52 con el caudal 57.22 l/s/m ocurre la misma situación que para el caudal 51.10 l/s/m, aunque el valor de tirante mostrado en la última posición se encuentra en una posición ligeramente superior al calculado por el programa. Se consideran valores muy próximos el resto de datos en las posiciones horizontales.

Los valores de tirante en la posición del origen muestran en ambos caudales con un valor inferior al generado por el programa.

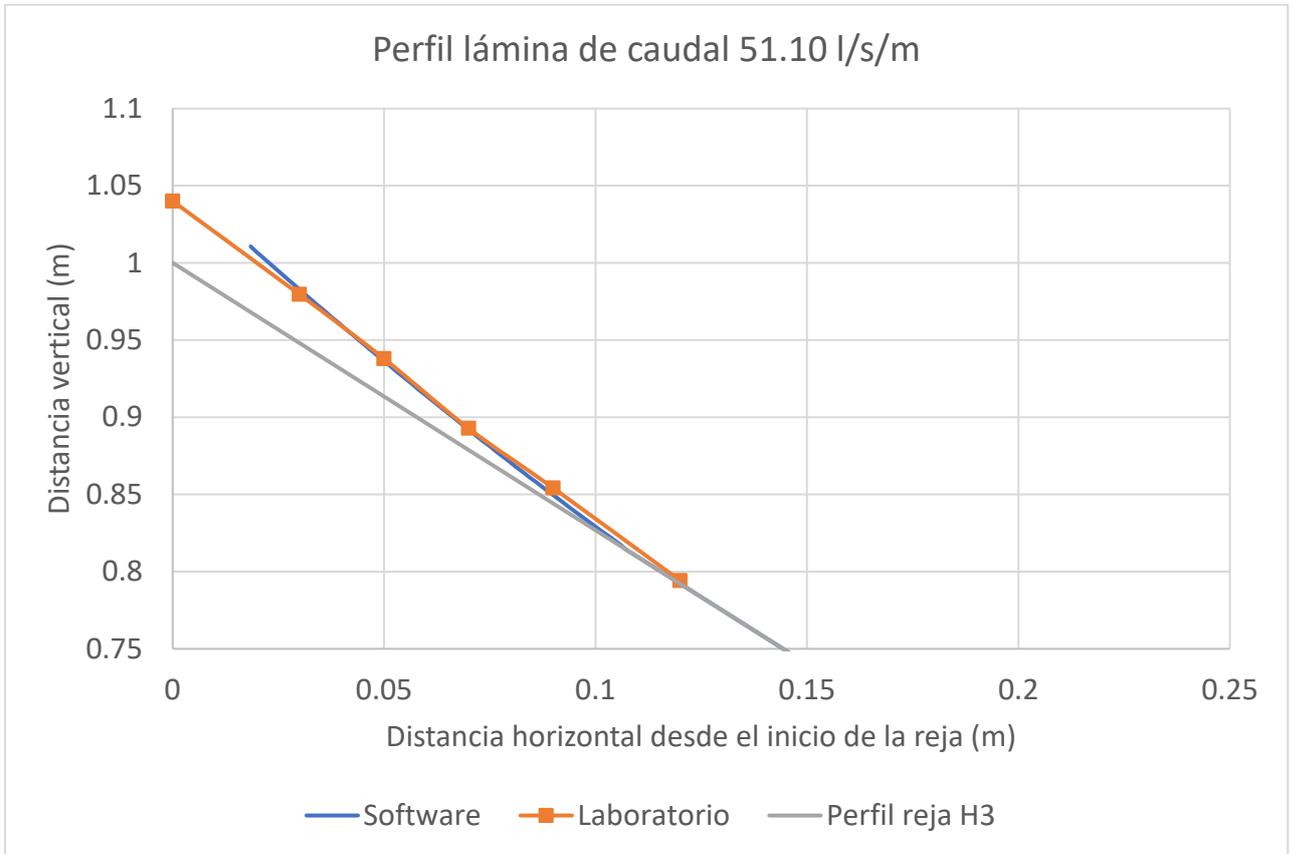


Figura 51. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 51.10 l/s/m, reja H3

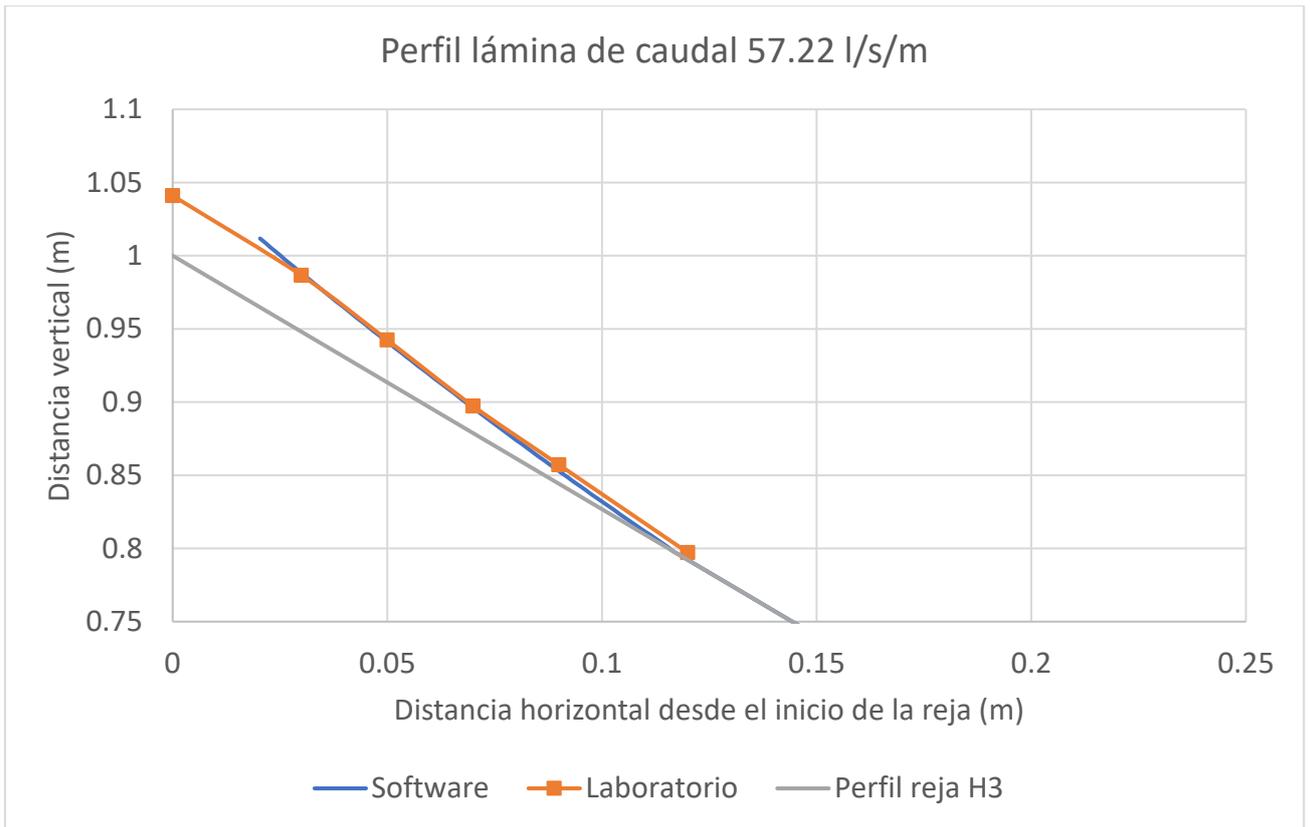


Figura 52. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 57.22 l/s/m, reja H3

Los valores mostrados en la Figura 53 y en la Figura 54 corresponden a las velocidades para ambos caudales. Estas curvas de valores recogidas en laboratorio se sitúan ligeramente por debajo de los valores calculados por el software, porque se consideran aceptables estos datos mostrados.

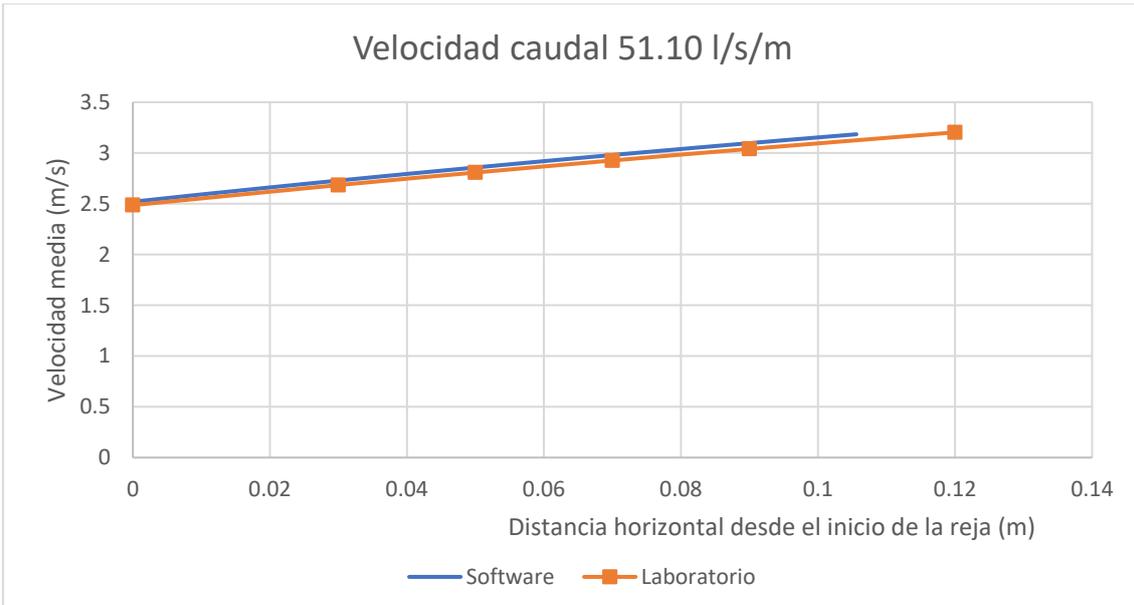


Figura 53. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 51.10 l/s/m, reja H3

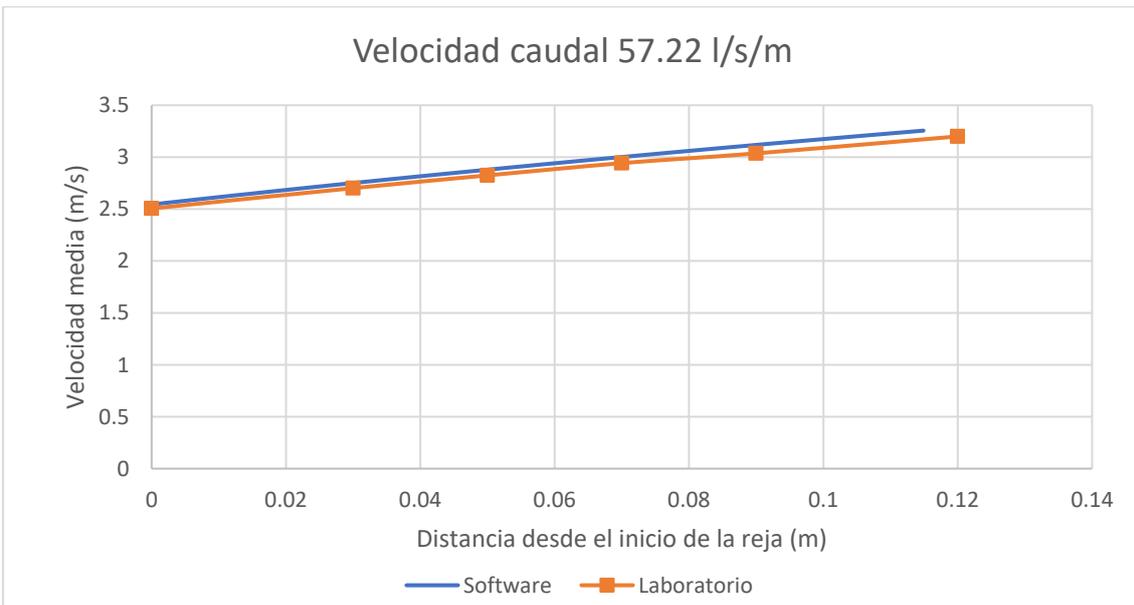


Figura 54. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 57.22 l/s/m, reja H3

5.4.2.3. Caudales 63.34 l/s/m y 67.22 l/s/m

Se realizan los cálculos pertinentes y se obtienen los siguientes resultados finales. La Tabla 37 y Tabla 39 corresponden a los valores del tirante y las Tabla 38 y Tabla 40

corresponden a los valores de velocidad en las posiciones horizontales, para los caudales 63.34 l/s/m y 67.22 l/s/m, respectivamente.

Tabla 37. Datos representativos de tirante para el caudal 63.34 l/s/m en la reja H3

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0	0.04
0.03	0.05
0.05	0.03
0.07	0.02
0.09	0.02
0.12	0.01
0.14	0.00

Tabla 38. Datos representativos de velocidad para el caudal 63.34 l/s en la reja H3

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0	2.52
0.03	2.71
0.05	2.84
0.07	2.96
0.09	3.07
0.12	3.23
0.14	3.33

Tabla 39. Datos representativos de tirante para el caudal 67.22 l/s/m en la reja H3

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0	0.05
0.03	0.05
0.05	0.04
0.07	0.03
0.09	0.02
0.12	0.01
0.14	0.01

Tabla 40. Datos representativos de velocidad para el caudal 67.22 l/s/m en la reja H3

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0	2.54
0.03	2.73
0.05	2.85
0.07	2.97
0.09	3.08
0.12	3.24
0.14	3.34

La Figura 55 muestra el perfil de la lámina de la reja H3 para el caudal 63.34 l/s/m. Los valores obtenidos en las tres últimas posiciones muestran unos valores ligeramente superiores a los calculados por el programa. Los valores en las posiciones 3 cm, 5 cm y 7 cm son coincidentes con los valores generados en el programa. En la posición origen se tiene un valor de tirante inferior al dato del programa.

Los valores del tirante para el caudal 67.22 l/s/m se recogen en la Figura 56. Los valores de las posiciones finales de la curva son ligeramente superiores a los valores calculados por el programa. Los valores de las posiciones 0.03 m, 0.05 m y 0.07 m son muy similares respecto a los calculados por el programa.

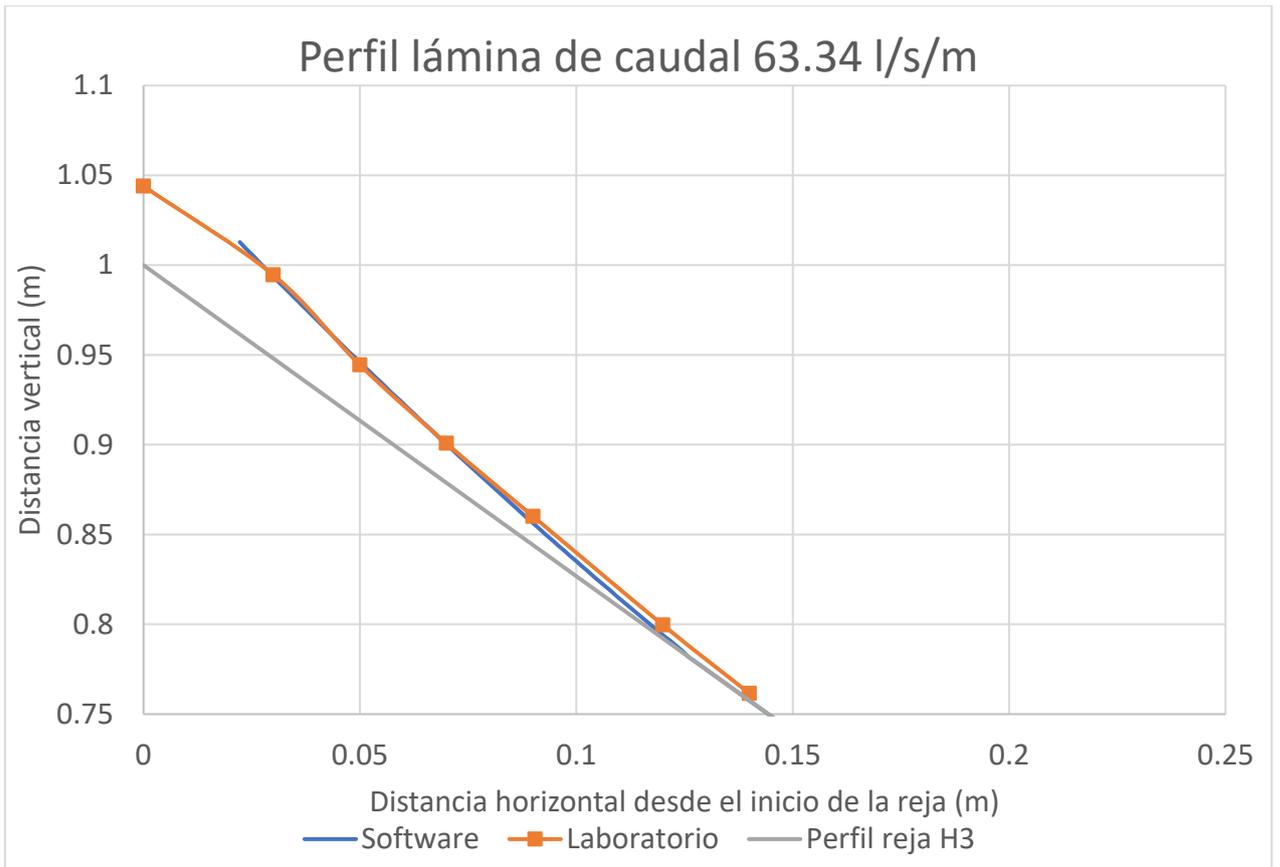


Figura 55. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 63.34 l/s/m, reja H3

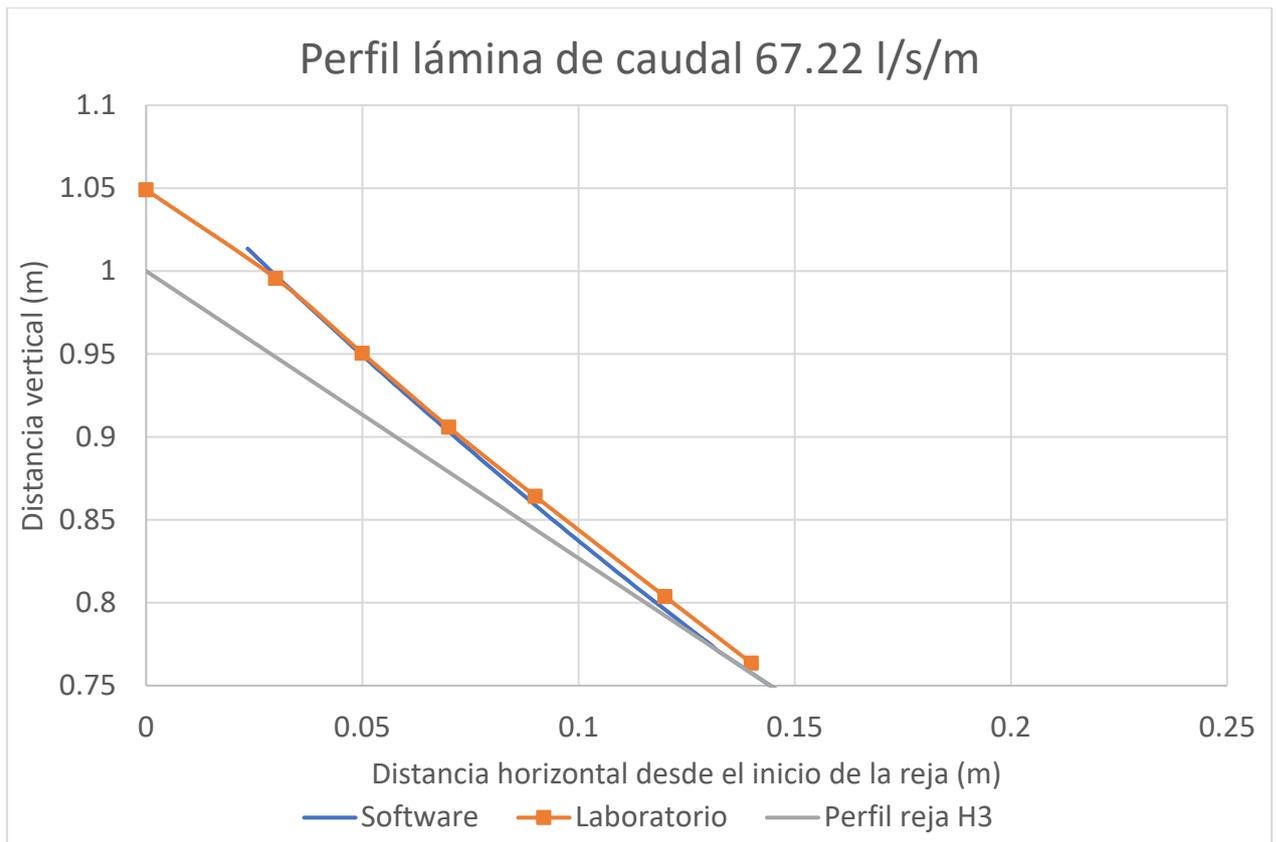


Figura 56. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 67.22 l/s/m, reja H3

Los valores de velocidad observados en las Figura 57 y Figura 58 para cada caudal son ligeramente inferiores a los valores calculados por el software, considerándose unos resultados muy aceptables de velocidad.

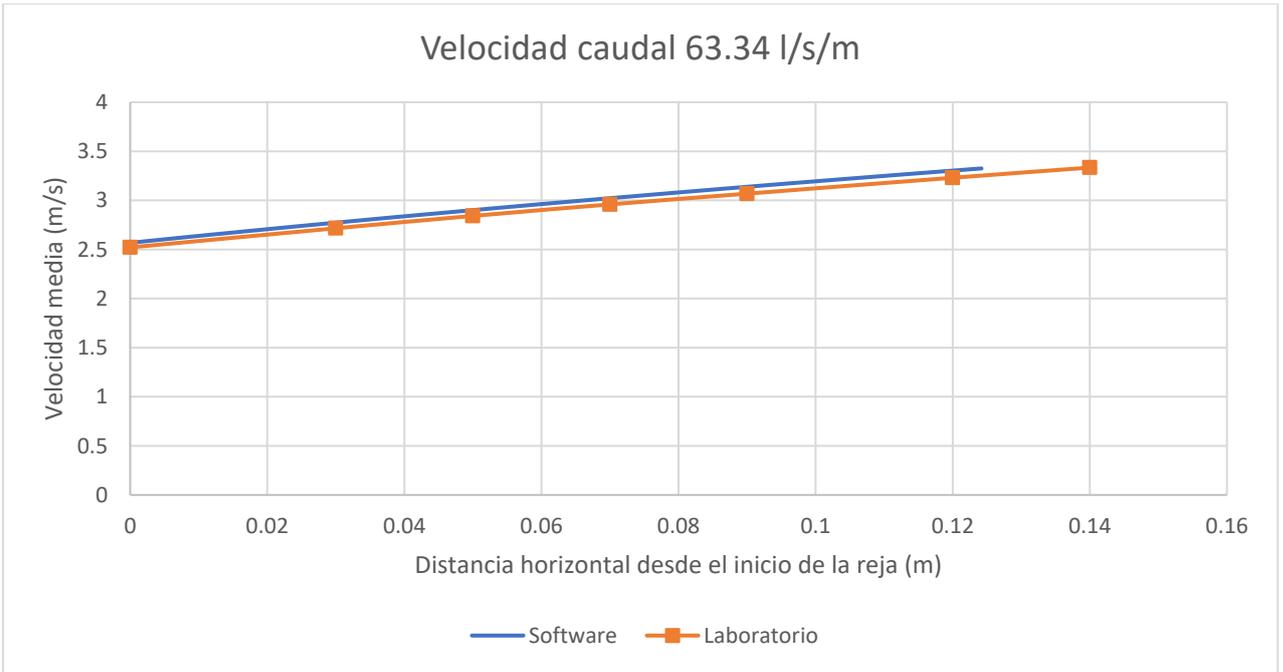


Figura 57. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 63.34 l/s/m reja H3

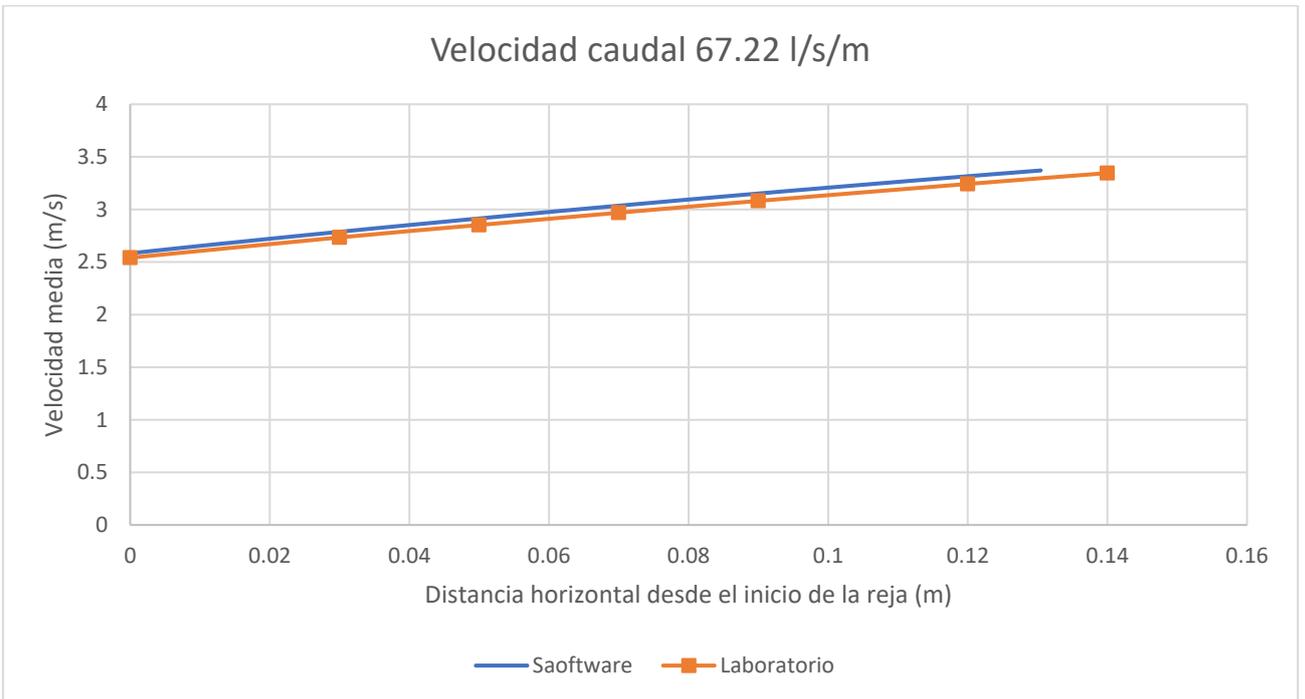


Figura 58. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 67.22 l/s/m, reja H3

La siguiente figura recopila los datos de los 6 caudales:

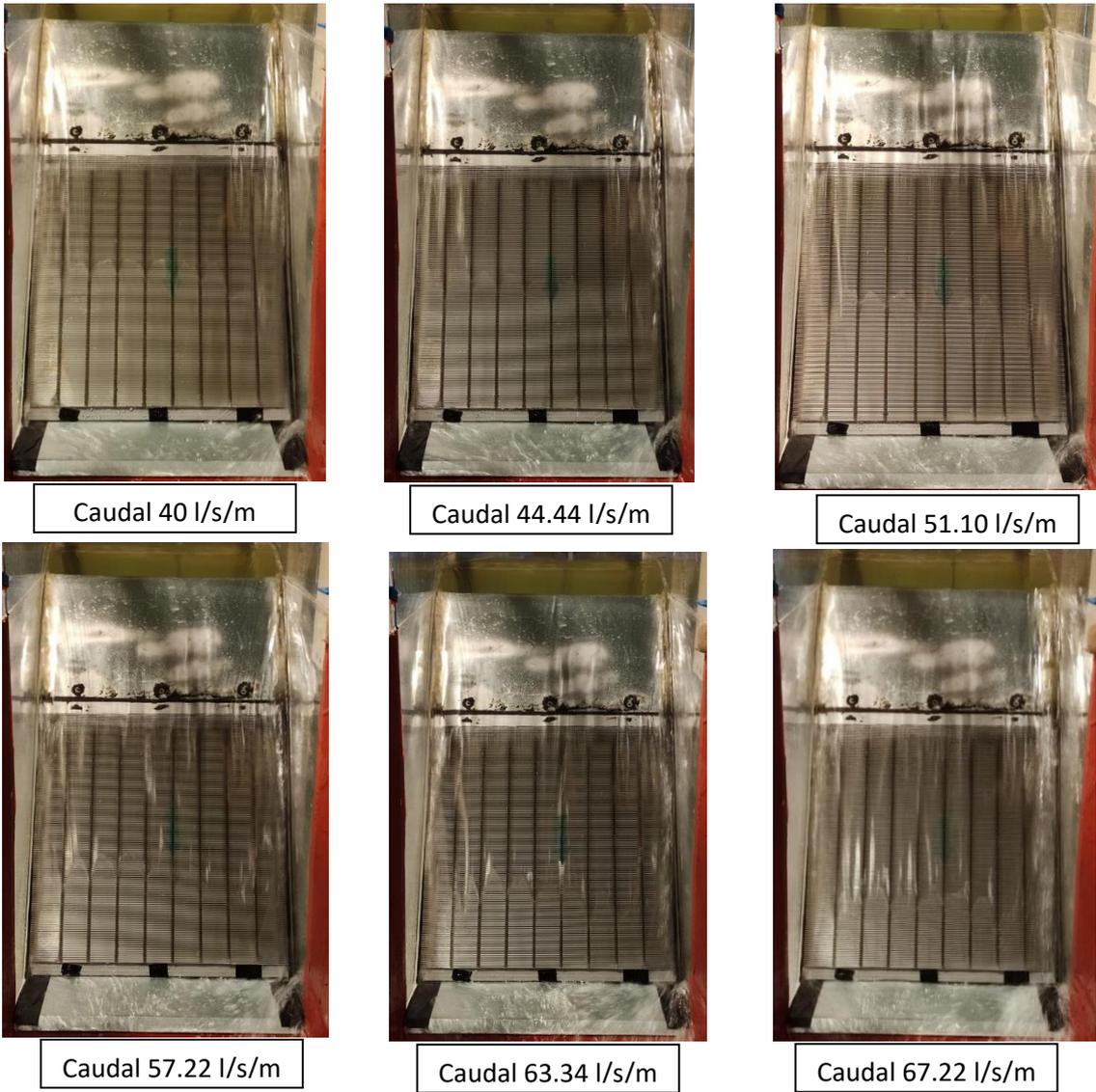


Figura 59. Comportamiento en laboratorio de los 6 caudales sobre la reja H3

5.5. Reja H4

5.5.1. Análisis del procedimiento

Se obtiene un intervalo de caudal aproximado, el cual oscila entre 41.12 l/s/m a 74.44 l/s/m. Los 6 caudales que se llevarán a estudio son los siguientes; 45.56 l/s/m, 50 l/s/m, 55.56 l/s/m, 61.12 l/s/m, 66.66 l/s/m y 72.22 l/s/m.

Los valores medidos de las posiciones horizontales, a partir del punto de origen (0,0) definido, en la zona de la reja son $x = 0.03$ m, 0.05 m, 0.07 m, 0.09 m y 0.12 m. En la segunda toma se tomaron valores en posiciones horizontales distintas para mejorar el análisis de la reja. Estas posiciones horizontales son $x = 0.13$ m, 0.14 m, 0.15 m, 0.16 m, 0.17 m y 0.19 m.

En la zona de la cresta de aceleración se midieron posiciones horizontales situadas a -0.06 m, -0.12 m y -0.20 cm, y en la zona del canal se midieron cuatro posiciones horizontales desde el punto de origen de coordenadas situados a -0.50 m, -0.70 m, -0.80 m y -1 m.

Después de cada toma, los resultados son representados gráficamente, al igual que en las rejas anteriores, comparándolos al mismo tiempo con los proporcionados por el software de rejas efecto Coanda.

5.5.2. Resultados y comparaciones

5.5.2.1. Caudales 45.56 l/s/m, 50 l/s/m y 55.56 l/s/m

Se realizan los cálculos para obtener los valores de velocidad y del tirante. Estos son clasificados en tablas, dependiendo del valor de caudal y si se refiere al parámetro de velocidad o tirante. Los valores de tirante y velocidad para el caudal 45.56 l/s/m son mostrados en las Tabla 41, y Tabla 42, para el caudal 50 l/s/m en las Tabla 43 y la Tabla 44, y para el caudal 55.56 l/s/m se recogen en las Tabla 45 y Tabla 46.

En el caudal 50 l/s/m se tomaron muestras también la posición 0.14 m, y en el caudal 55.56 l/s/m en las posiciones 0.13 m y 0.14 m.

Tabla 41. Datos representativos de tirante para el caudal 45.56 l/s/m en la reja H4

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0.03	0.03
0.05	0.02
0.07	0.02
0.09	0.01
0.12	0.00

Tabla 42. Datos representativos de velocidad para el caudal 45.56 l/s/m en la reja H4

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0.03	2.66
0.05	2.78
0.07	2.91
0.09	2.99
0.12	3.15

Tabla 43. Datos representativos de tirante para el caudal 50 l/s/m en la reja H4

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0.03	0.03
0.05	0.02
0.07	0.02
0.09	0.01
0.12	0.00
0.14	0.00

Tabla 44. Datos representativos de velocidad para el caudal 50 l/s/m en la reja H4

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0.03	2.68
0.05	2.80
0.07	2.92
0.09	3.02
0.12	3.19
0.14	3.29

Tabla 45. Datos representativos de tirante para el caudal 55.56 l/s/m en la reja H4

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0.03	0.04
0.05	0.03
0.07	0.02
0.09	0.02
0.12	0.01
0.13	0.00
0.14	0.00

Tabla 46. Datos representativos de velocidad para el caudal 55.56 l/s/m en la reja H4

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0.03	2.70
0.05	2.82
0.07	2.94
0.09	3.05
0.12	3.21
0.13	3.27
0.14	3.32

Las representaciones graficas de los valores del tirante en cada posición horizontal se muestran en a la Figura 60, la Figura 61 y la Figura 62 para los tres caudales. Los valores observados en las representaciones son muy similares a los valores calculados por el programa. Estos valores son totalmente aceptables.

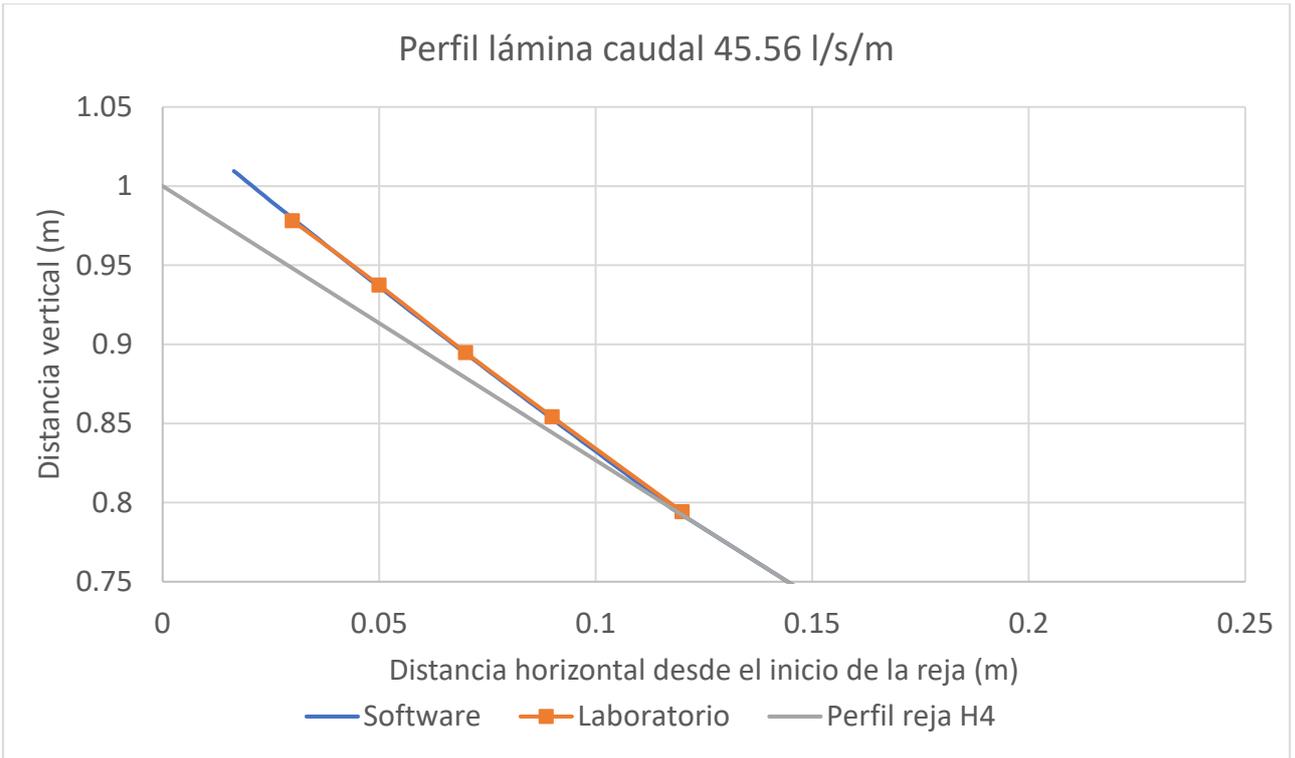


Figura 60. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 45.56 l/s/m, reja H4

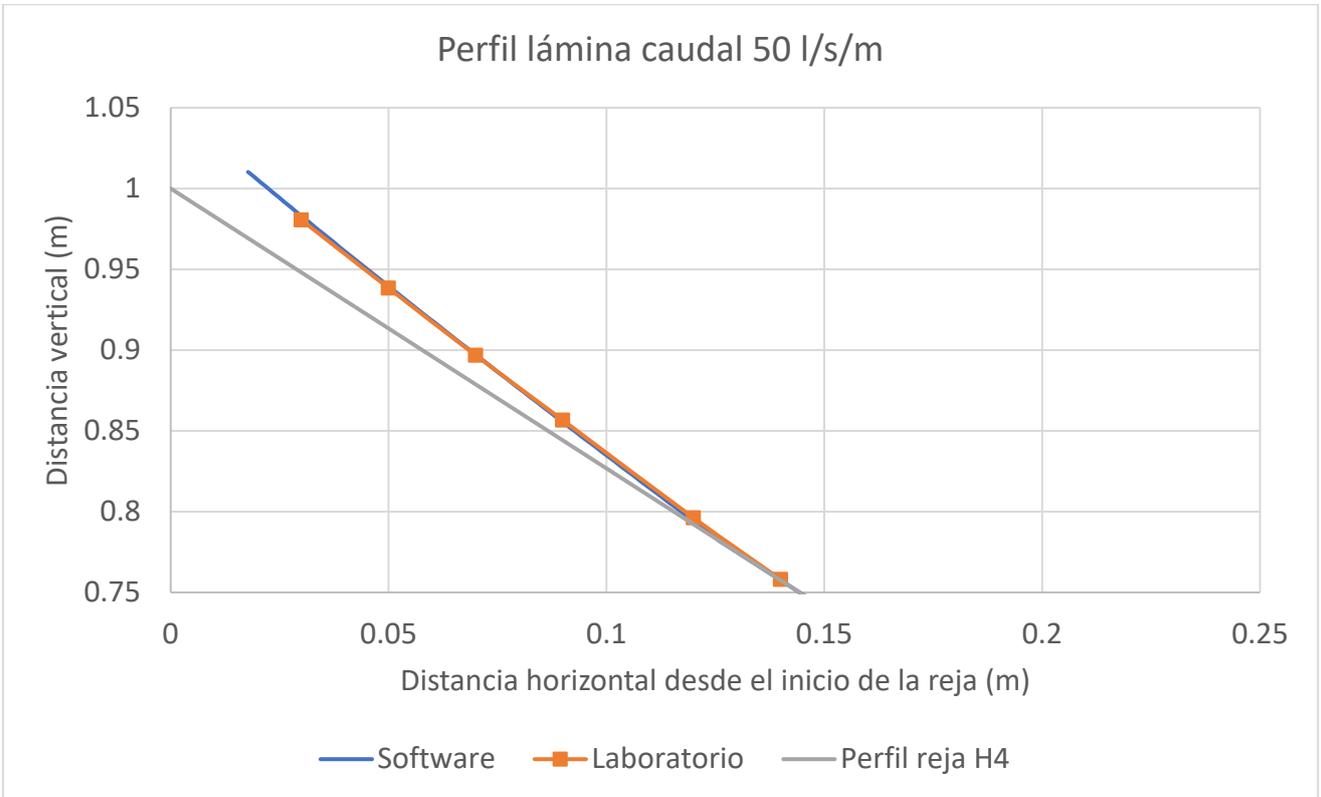


Figura 61. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 50 l/s/m, reja H4

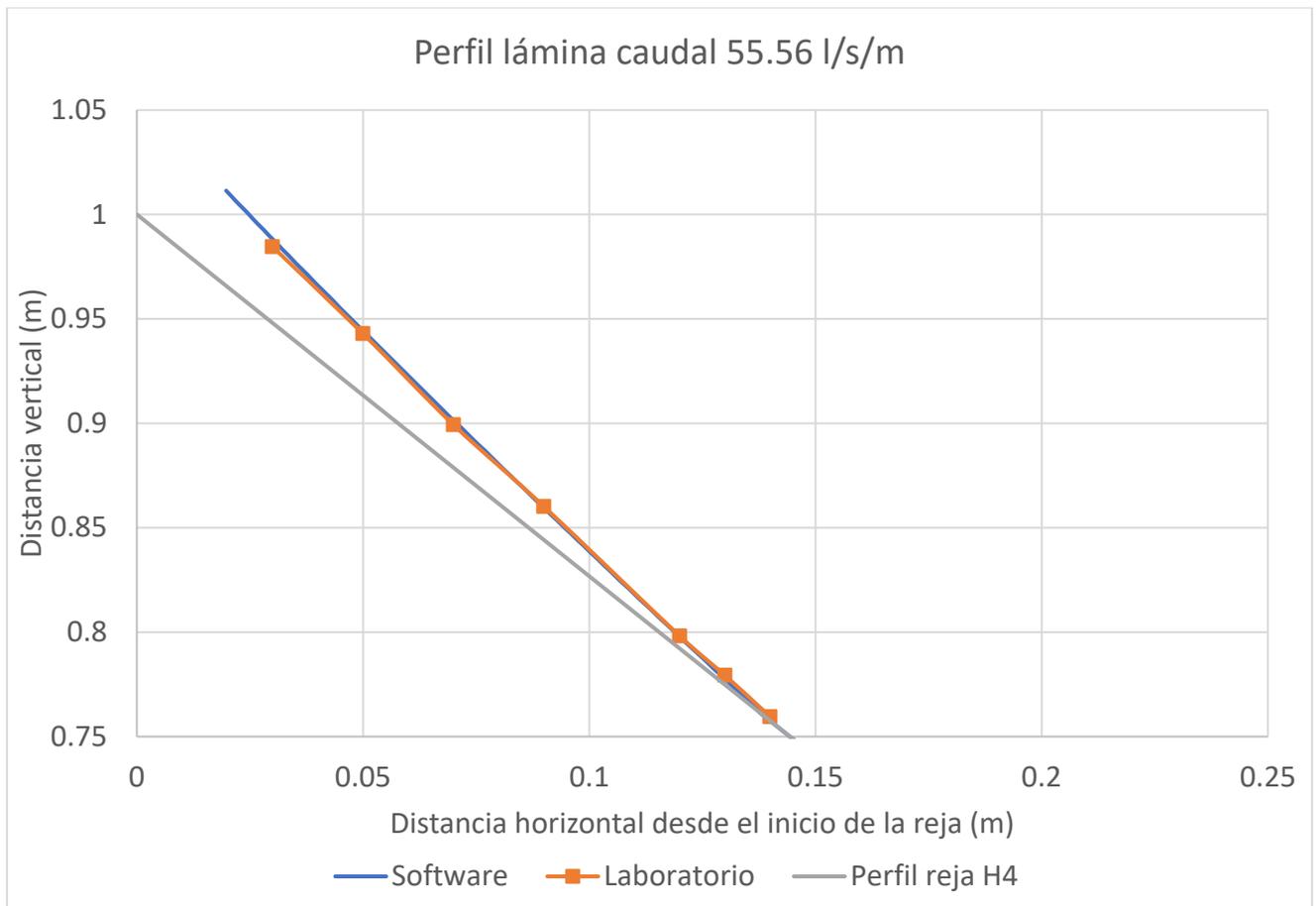


Figura 62. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 55.56 l/s/m, reja H4

Los valores de velocidad representados en la Figura 63, Figura 64 y Figura 65 para cada caudal, no son totalmente coincidentes ya que se sitúan levemente por debajo de los datos proporcionados por el software. Al ser esta diferencia mínima se consideran aceptables.

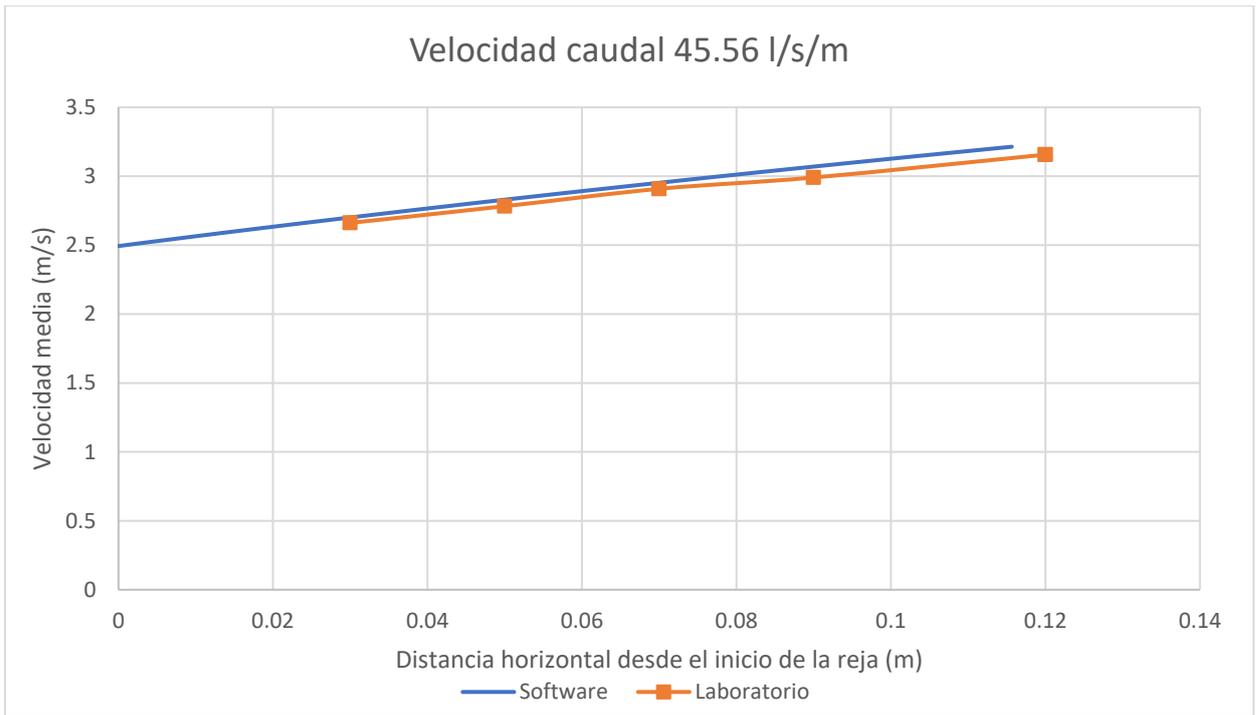


Figura 63. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 45.56 l/s/m, reja H4

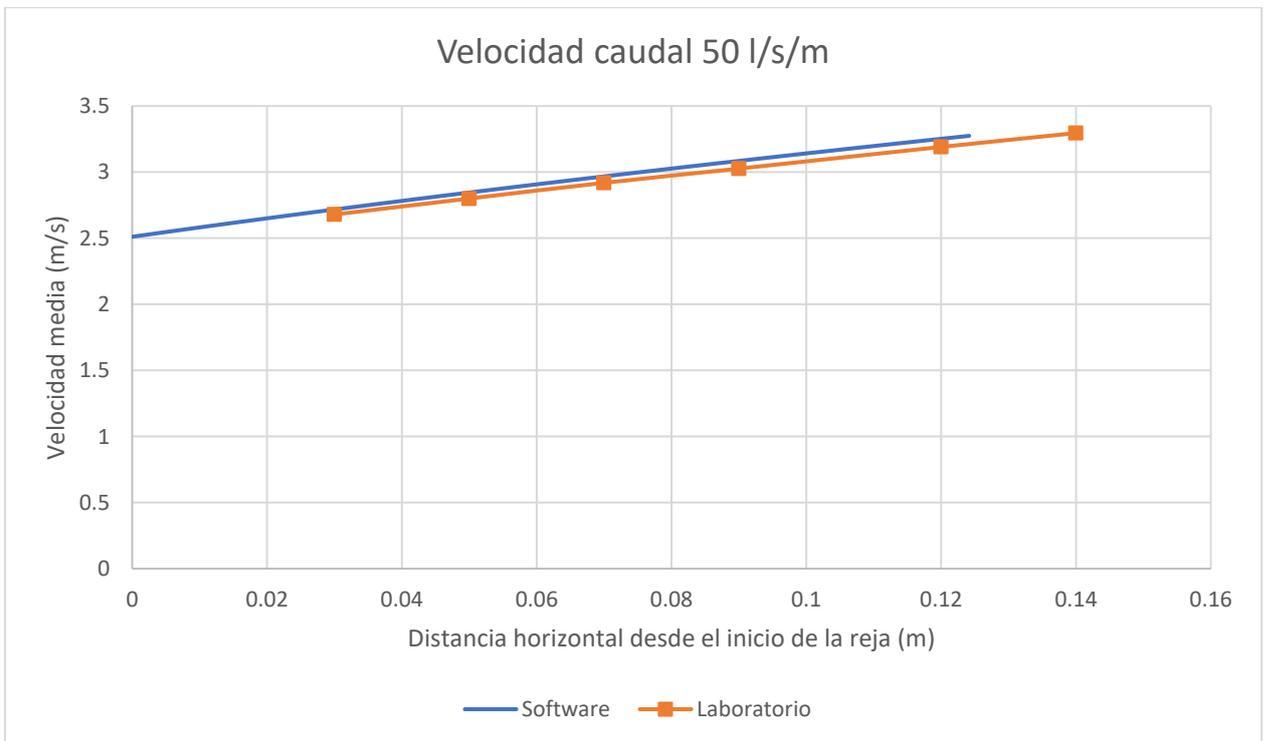


Figura 64. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 50 l/s/m, reja H4

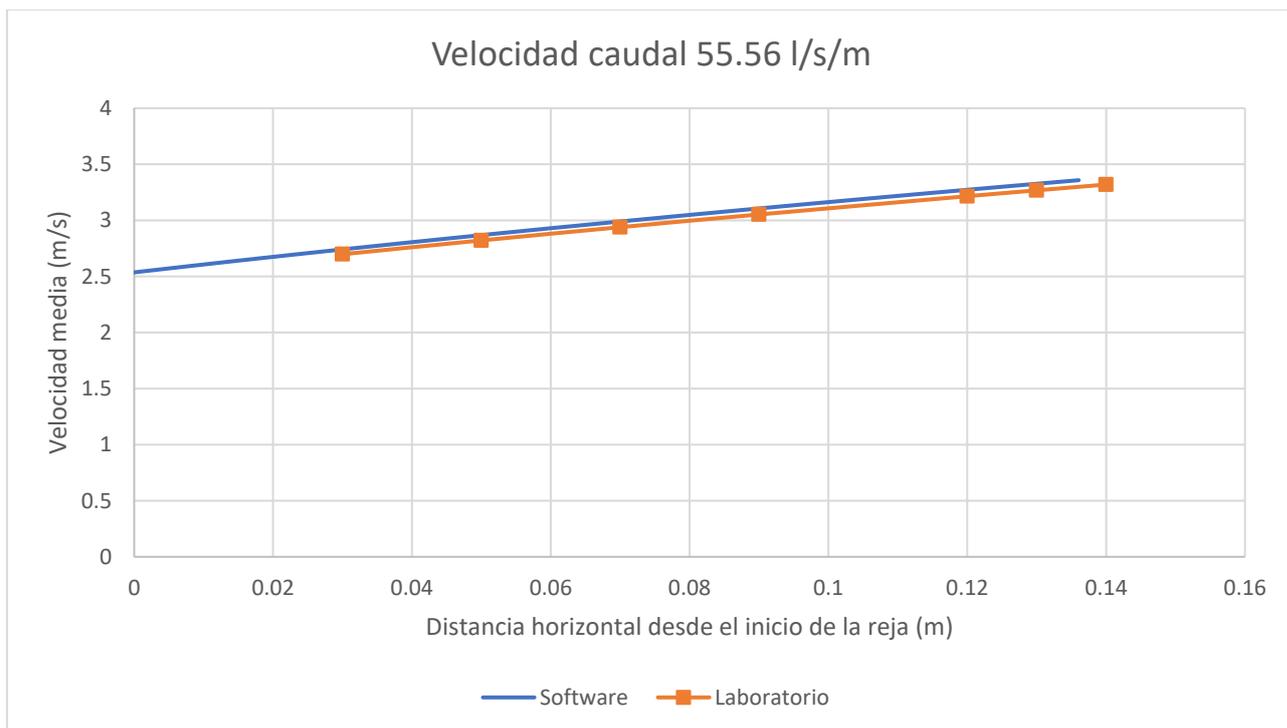


Figura 65. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 55.56 l/s/m, reja H4

5.5.2.2. Caudales 61.12 l/s/m, 66.66 l/s/m y 72.22 l/s/m

Se realizan los cálculos y se obtienen las Tabla 47, Tabla 49, Tabla 51 para los valores del tirante de los caudales 61.12 l/s/m, 66.66 l/s/m y 72.22 l/s/m, respectivamente, y los valores de velocidad se recogen en las Tabla 48, Tabla 50 y Tabla 52.

Las posiciones adicionales tomadas en la segunda toma para el caudal 61.12 l/s/m son 0.14 m y 0.15 m, para el caudal 66.66 l/s/m son 0.14 m, 0.16 m y 0.17 m, y para el caudal 72.22 l/s/m son de 0.14 m, 0.17 m y 0.19 m.

Tabla 47. Datos representativos de tirante para el caudal 61.12 l/s/m en la reja H4

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0.03	0.04
0.05	0.03
0.07	0.02
0.09	0.02
0.12	0.01
0.14	0.00
0.15	0.00

Tabla 48. Datos representativos de velocidad para el caudal 61.12 l/s/m en la reja H4

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0.03	2.71
0.05	2.83
0.07	2.94
0.09	3.06
0.12	3.22
0.14	3.32
0.15	3.37

Tabla 49. Datos representativos de tirante para el caudal 66.66 l/s/m en la reja H4

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0.03	0.05
0.05	0.04
0.07	0.03
0.09	0.02
0.12	0.01
0.14	0.01
0.16	0.00
0.17	0.00

Tabla 50. Datos representativos de velocidad para el caudal 66.66 l/s/m en la reja H4

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0.03	2.73
0.05	2.85
0.07	2.96
0.09	3.08
0.12	3.23
0.14	3.34
0.16	3.44
0.17	3.49

Tabla 51. Datos representativos de tirante para el caudal 72.22 l/s/m en la reja H4

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0.03	0.05
0.05	0.04
0.07	0.04
0.09	0.02
0.12	0.02
0.14	0.01
0.17	0.00
0.19	0.00

Tabla 52. Datos representativos de velocidad para el caudal 72.22 l/s/m en la reja H4

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0.03	2.75
0.05	2.87
0.07	2.98
0.09	3.09
0.12	3.25
0.14	3.35
0.17	3.50
0.19	3.6

La Figura 66 muestra los valores de tirante obtenidos en las posiciones de estudio en el caudal 61.12 l/s/m. Los tres valores iniciales son ligeramente inferiores hasta colocarse justo por debajo de la curva de valores calculados por el programa. Los otros tres valores de la parte final se son similares a los valores del software.

Los valores de tirante en el caudal 66.66 l/s/m se representan en la Figura 67. Los valores mostrados en las posiciones 0.03 m y 0.09 m son ligeramente inferiores a los calculados con el programa. El resto de valores de tirante son valores muy similares a los calculados por el programa.

La Figura 68 muestra el tirante para el caudal 72.22 l/s. Se observa en las posiciones 0.07 m y 0.12 m valores ligeramente superiores a los valores del software. El resto de valores observados son muy similares.

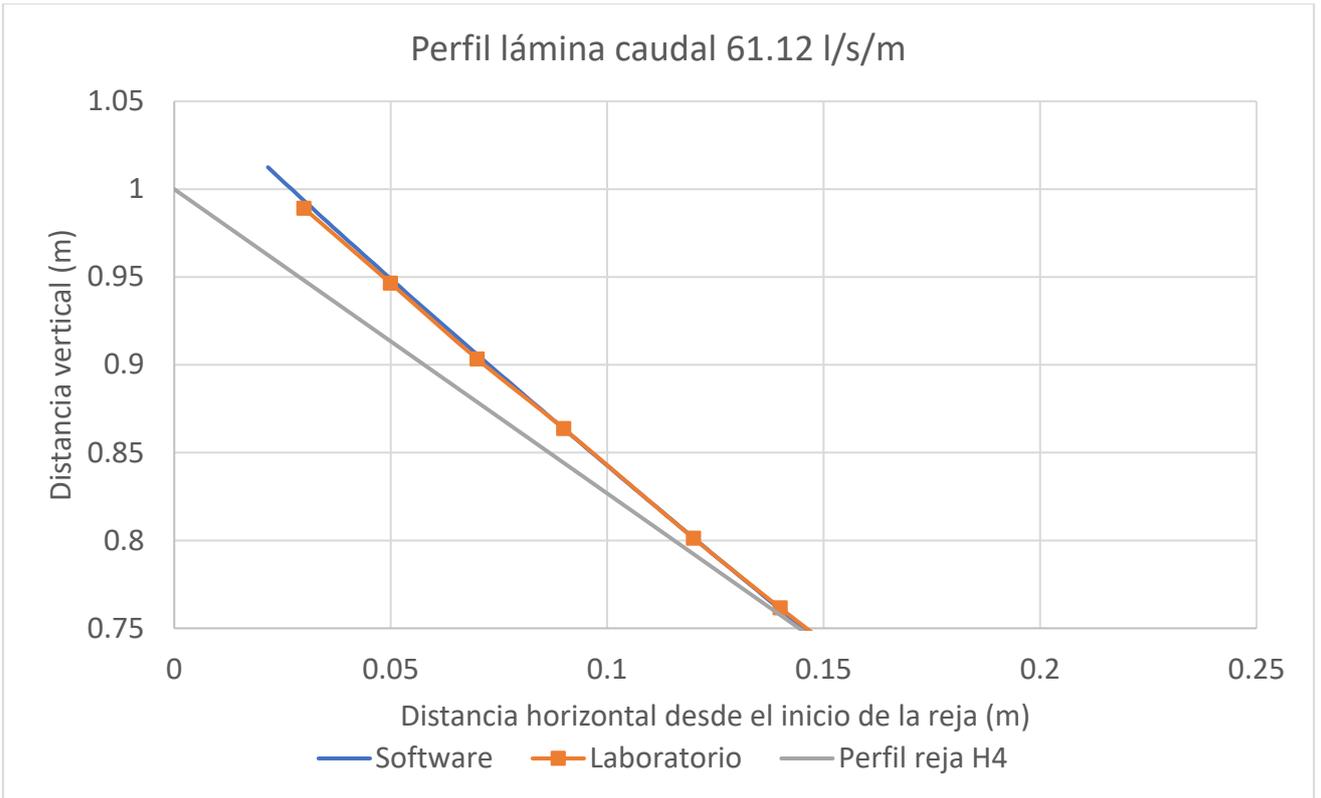


Figura 66. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 61.12 l/s/m, reja H4

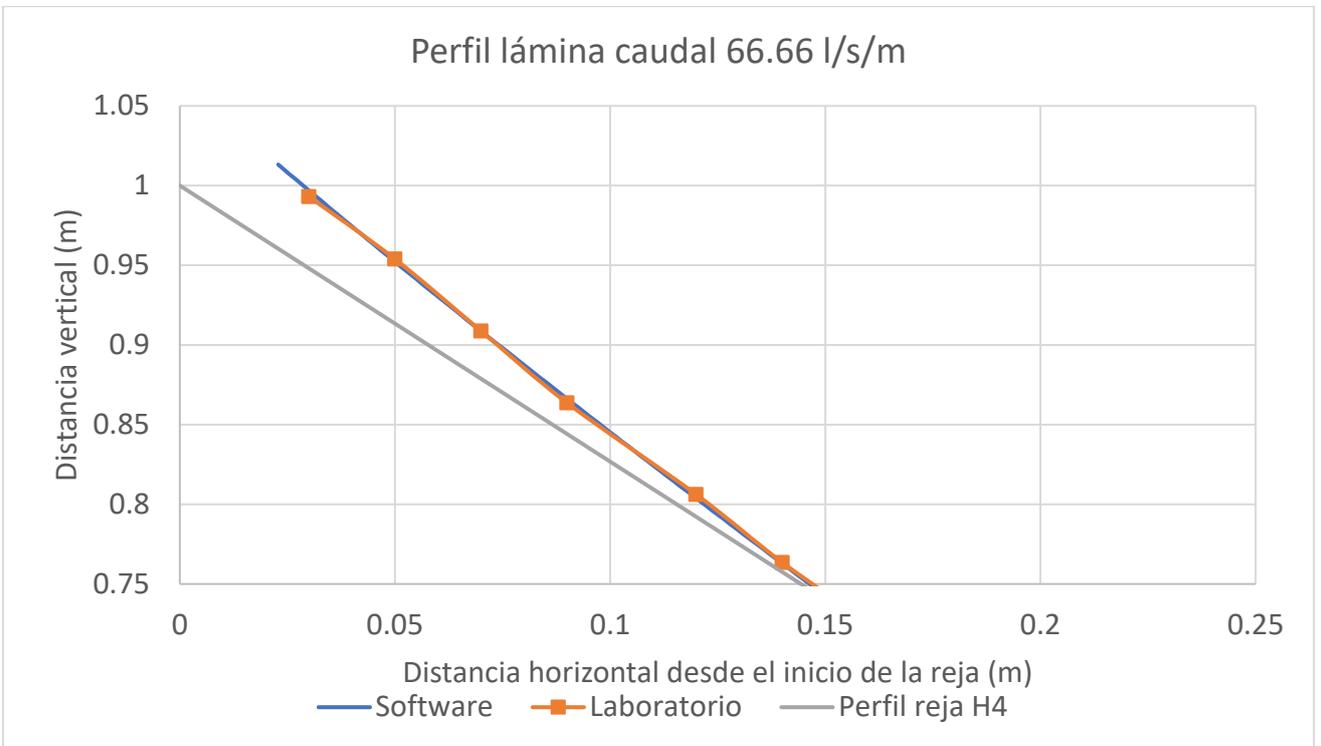


Figura 67. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 66.66 l/s/m, reja H4

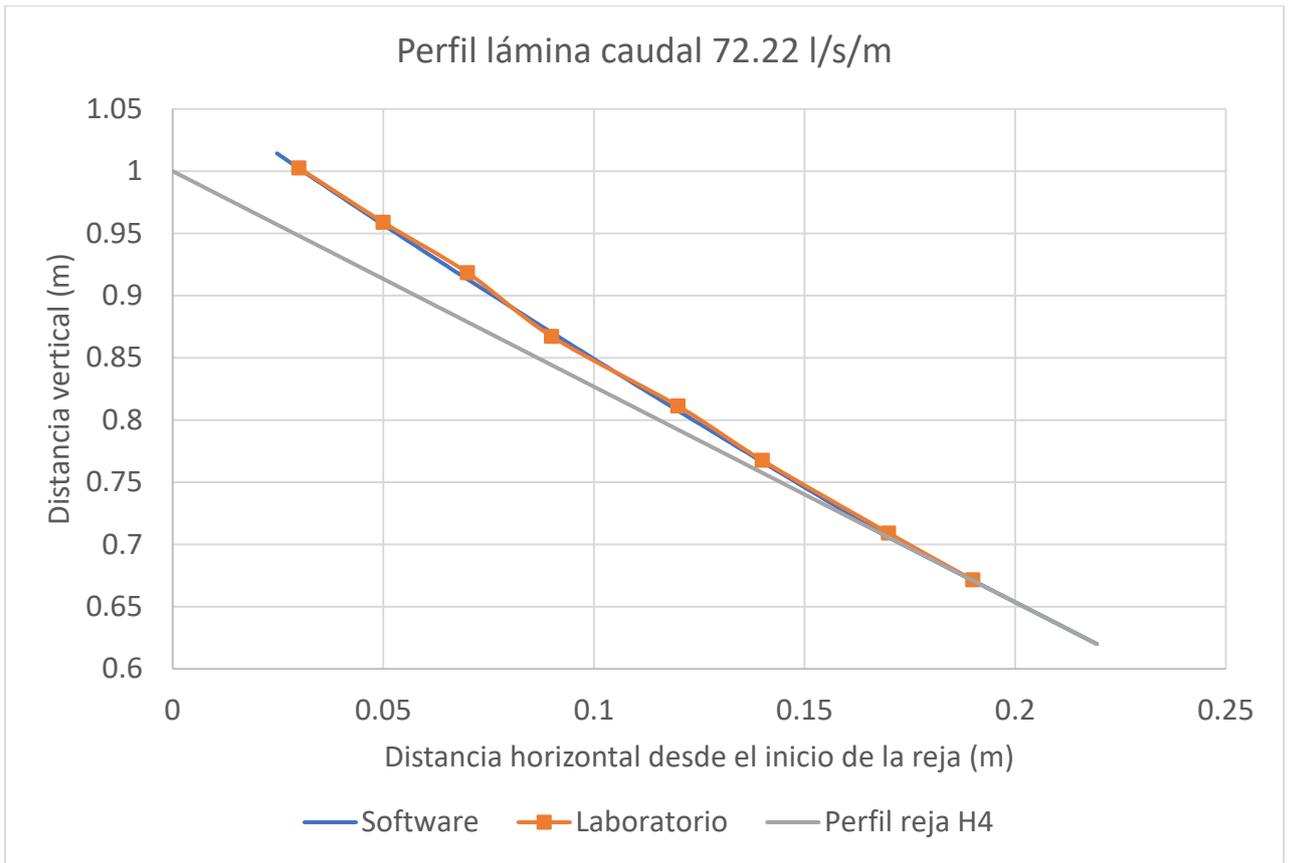


Figura 68. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 72.22 l/s/m, reja H4

Las representaciones de las velocidades de los caudales se grafican en la Figura 69, Figura 70, y Figura 71. Los gráficos muestran unos valores ligeramente inferiores a los calculados por el programa, por lo que son unos datos aceptables.

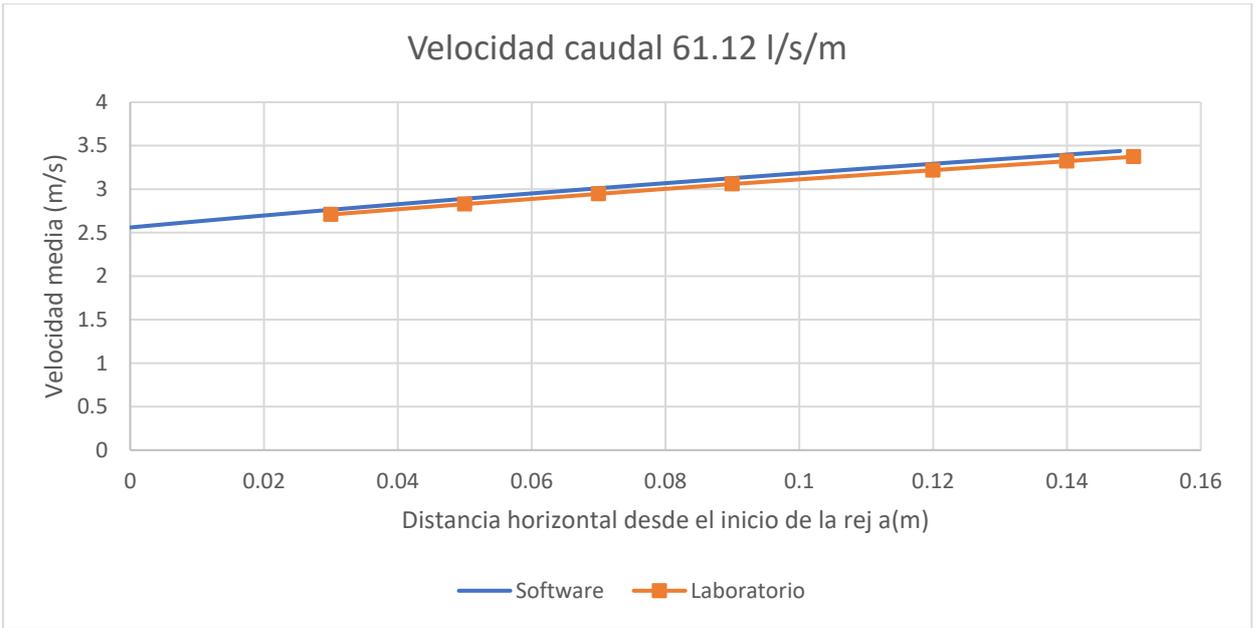


Figura 69. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 61.12 l/s/m, reja H4

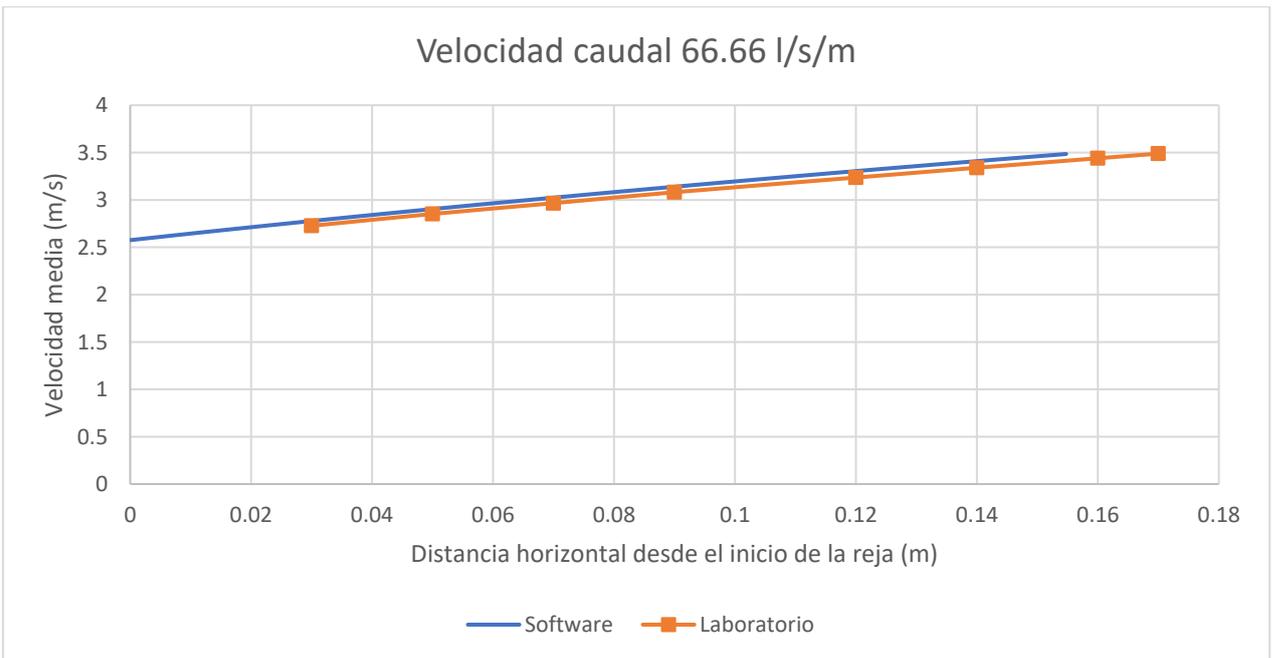


Figura 70. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 66.66 l/s/m, reja H4

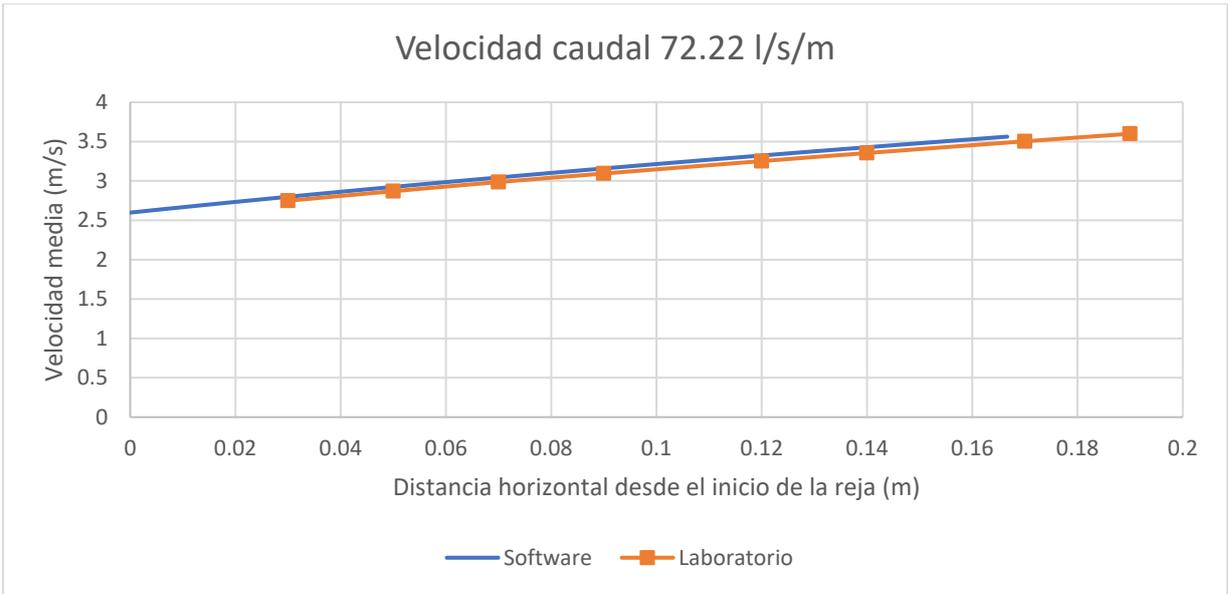


Figura 71. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 72.22 l/s/m, reja H4

La siguiente figura recopila los datos de los 6 caudales:



Caudal 45.56 l/s/m



Caudal 50 l/s/m



Caudal 55.56 l/s/m



Caudal 61.12 l/s/m



Caudal 66.66 l/s/m



Caudal 72.22 l/s/m

Figura 72. Comportamiento en laboratorio de los 6 caudales sobre la reja H4

5.6. Reja Noche y Día

5.6.1. Análisis del procedimiento

La Reja Noche y Día es una reja ligeramente diferente a las estudiadas, y pertenece a otro fabricante, sus características se recogen en la Tabla 2.

El software utilizado no contiene datos recogidos de estudios realizados para esta reja, por lo que, en este caso, se comparan los resultados obtenidos de laboratorio con los datos generados por el software para una reja de características similares. Aun así, se lleva a cabo la correspondiente toma de muestras, en laboratorio, con dos mediciones en este caso.

Se midieron 6 caudales, que son; 13.88 l/s/m, 18.34 l/s/m, 20.56 l/s/m, 23.88 l/s/m, 27.80 l/s/m y 30.54 l/s/m.

Una vez realizadas las tomas, se lleva a cabo la misma metodología utilizada en las anteriores rejas, en las que, tras la toma de datos, se realizan los cálculos pertinentes para la correcta representación gráfica teniendo en cuenta la referencia de la reja.

Los valores medidos de las posiciones horizontales, donde se tomaron los valores de tirantes, y de la presión, en la zona de la reja son $x = 0.03$ m, 0.05 m, 0.07 m, 0.09 m y 0.12 m. Estas posiciones se refieren desde el punto de origen (0,0) definido.

En la zona de la cresta de aceleración se midieron posiciones horizontales situadas a -0.06 m, -0.12 m y -0.20 m, y en la zona del canal se fijan cuatro posiciones horizontales desde el punto de origen de coordenadas situadas a -0.45 m, -0.60 m, -0.80 m y -1 m.

Después de cada toma, estos resultados son representados gráficamente, al igual que en las rejas anteriores, y comparados con el software para una reja de características similares, aunque de distinto fabricante.

5.6.2. Resultados y comparaciones

5.6.2.1. Caudales 13.88 l/s/m, 18.34 l/s/m y 20.56 l/s/m

Se obtienen los cálculos necesarios para realizar las correspondientes representaciones gráficas de los datos del tirante y velocidad. Estos datos finales son recogidos en distintas

tablas: la Tabla 53 y Tabla 54 para el caudal 13.88 l/s/m, la Tabla 55 y Tabla 56 para el caudal 18.34 l/s/m, y la Tabla 57 y la Tabla 58 para el caudal 20.56 l/s/m.

Tabla 53. Datos representativos de tirante para el caudal 13.88 l/s/m en la reja Noche y Día

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0.03	0.01
0.05	0.01
0.07	0.00
0.09	0.00
0.12	0.00

Tabla 54. Datos representativos de velocidad para el caudal 13.88 l/s/m en la reja Noche y Día

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0.03	2.53
0.05	2.64
0.07	2.75
0.09	2.86
0.12	3.03

Tabla 55. Datos representativos de tirante para el caudal 18.34 l/s/m en la reja Noche y Día

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0.03	0.01
0.05	0.00
0.07	0.00
0.09	0.00
0.12	0.00

Tabla 56. Datos representativos de velocidad para el caudal 18.34 l/s/m en la reja Noche y Día

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0.03	2.54
0.05	2.58
0.07	2.70
0.09	2.82
0.12	3.00

Tabla 57. Datos representativos de tirante para el caudal 20.56 l/s/m en la reja Noche y Día

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0.03	0.01
0.05	0.01
0.07	0.00
0.09	0.00
0.12	0.00

Tabla 58. Datos representativos de velocidad para el caudal 20.56 l/s/m en la reja Noche y Día

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0.03	2.56
0.05	2.69
0.07	2.82
0.09	2.93
0.12	3.10

La representación gráfica correspondiente a la Tabla 53, referida a los valores de tirante para el caudal 13.88 l/s/m se muestra en la Figura 73. Del mismo modo, la Tabla 54 corresponde a la Figura 74, que muestra los valores de tirante para el caudal 18.34 l/s/m, y la Tabla 55, corresponde a la Figura 75, que representa los valores de tirante para el caudal de 20.56 l/s/m.

Todos los valores del tirante mostrados para cada posición de los tres caudales son muy similares a los valores calculados por el programa.

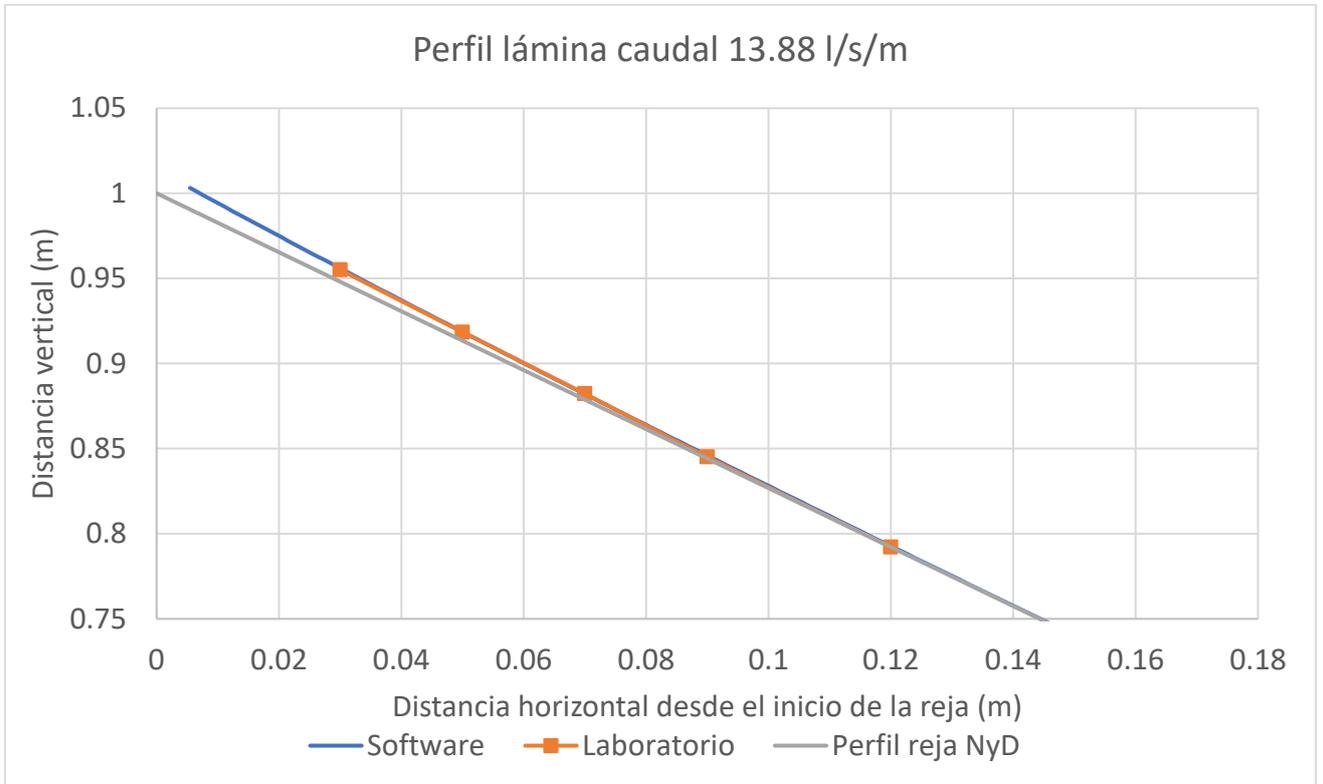


Figura 73. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 13.88 l/s/m, reja Noche y Día

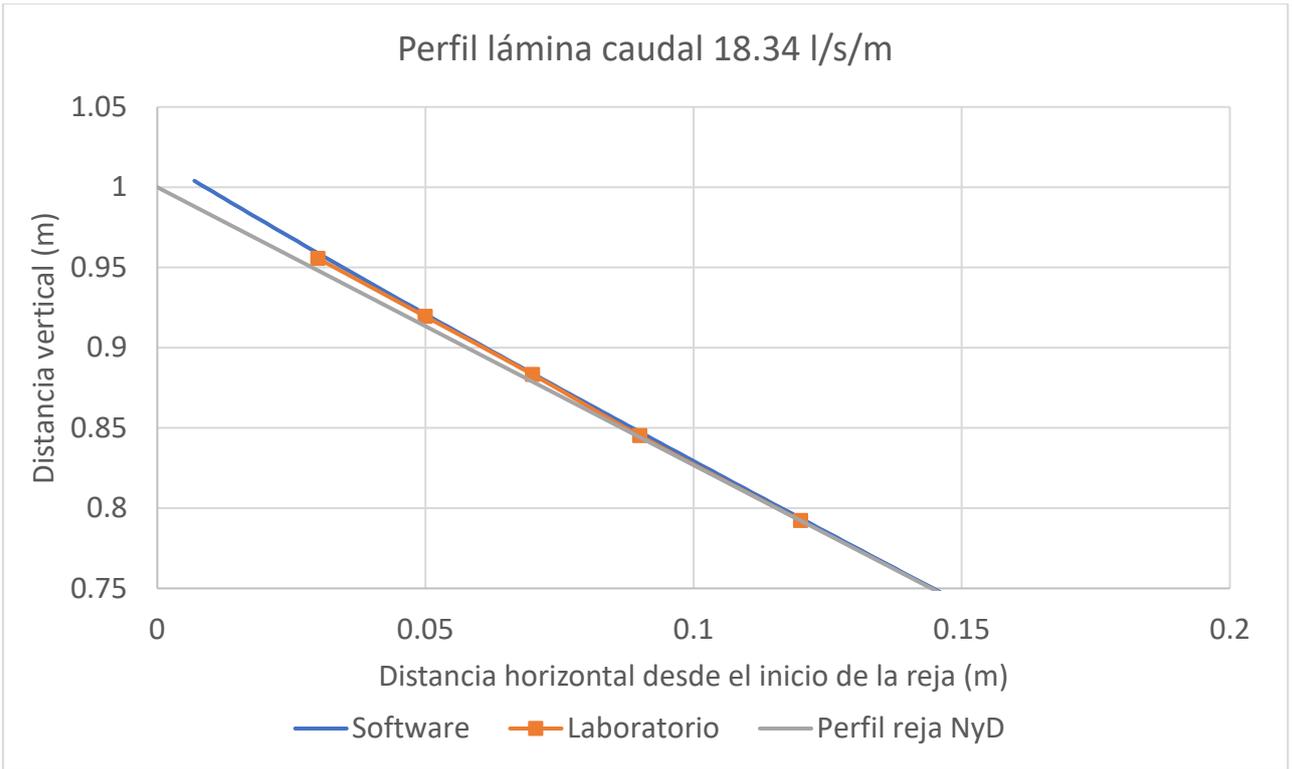


Figura 74. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 18.34 l/s/m, reja Noche y Día

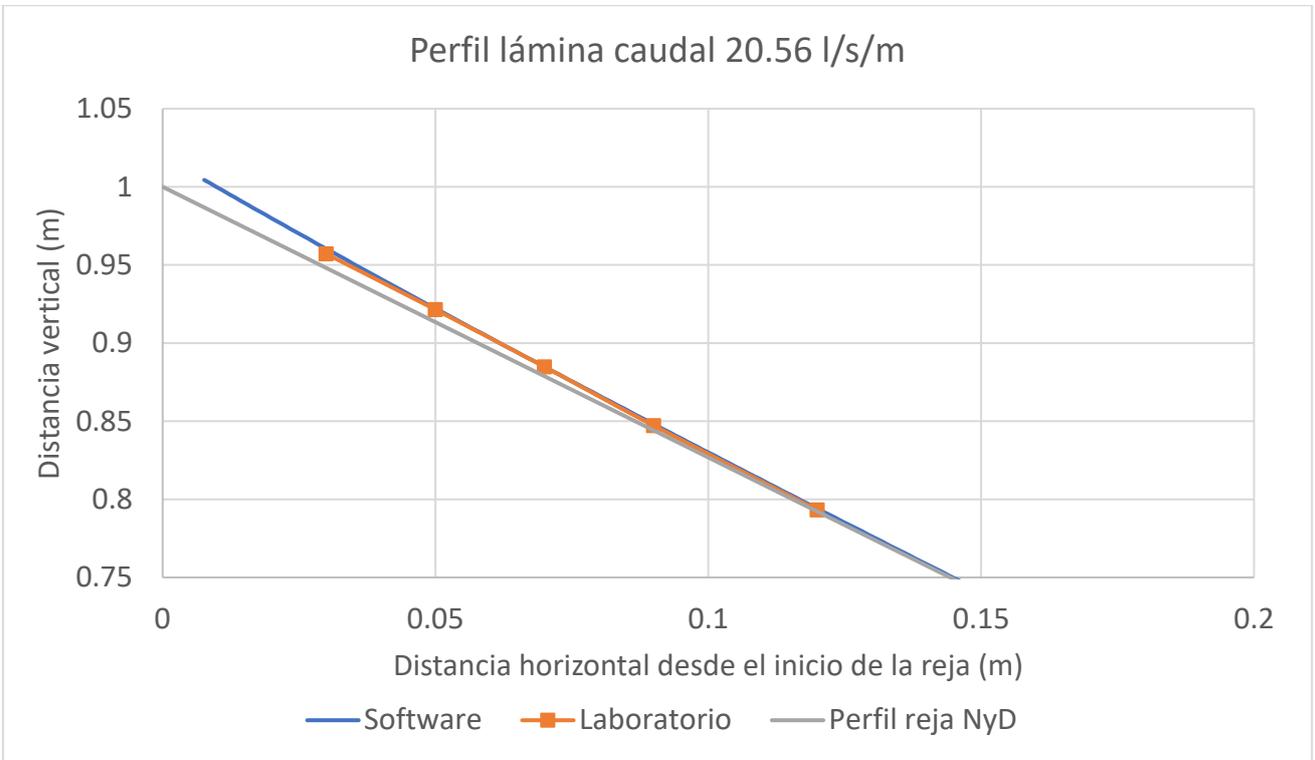


Figura 75. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 20.56 l/s/m, reja Noche y Día

Las representaciones correspondientes a los valores de velocidad se muestran en la Figura 76 para el caudal 13.88 l/s/m, la Figura 77 para el caudal 18.34 l/s/m, y la Figura 78 para el caudal 20.56 l/s./m

En estas representaciones se observa como los valores de velocidad son notablemente inferiores a los datos generados por el software. Esto se puede deber a que se están empleando características similares en el programa, puesto que este fabricante no se incluye en su catálogo. La Figura 76 muestra como tan solo el valor de la velocidad en la posición 0.03 m coincide con la curva simulada por el programa, mientras el resto se colocan muy por debajo de esta. En la Figura 77 se observa como coincide el valor de la posición 0.03 m, pero a partir de la posición 0.05 m se muestra que los datos de laboratorio son inferiores a los valores del programa. En la Figura 78 los valores de velocidad en las posiciones 0.03 m y 0.05 m son coincidentes con la curva velocidad generada, y el resto de datos muestran valores inferiores.

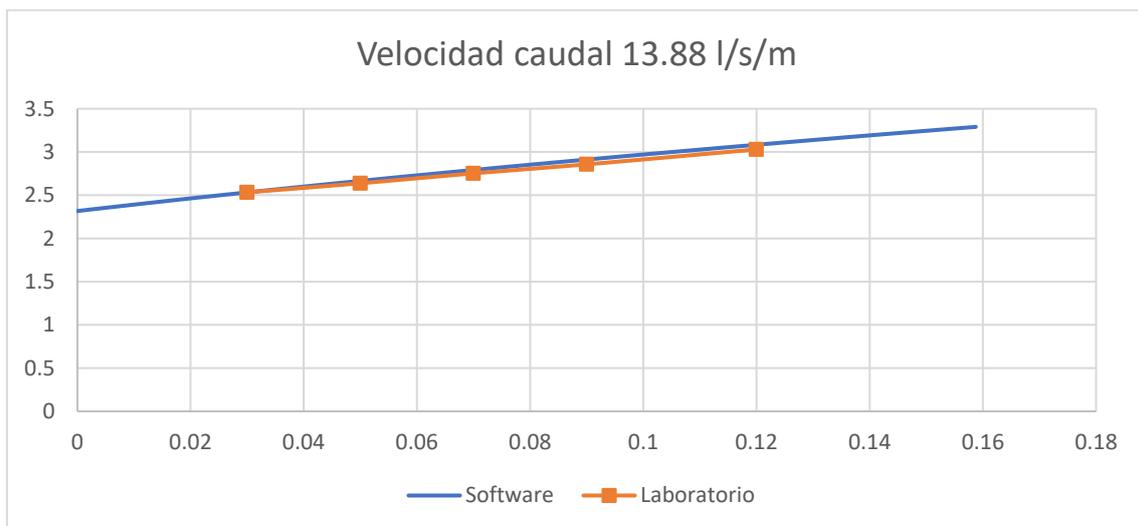


Figura 76. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 13.88 l/s/m, reja Noche y Día

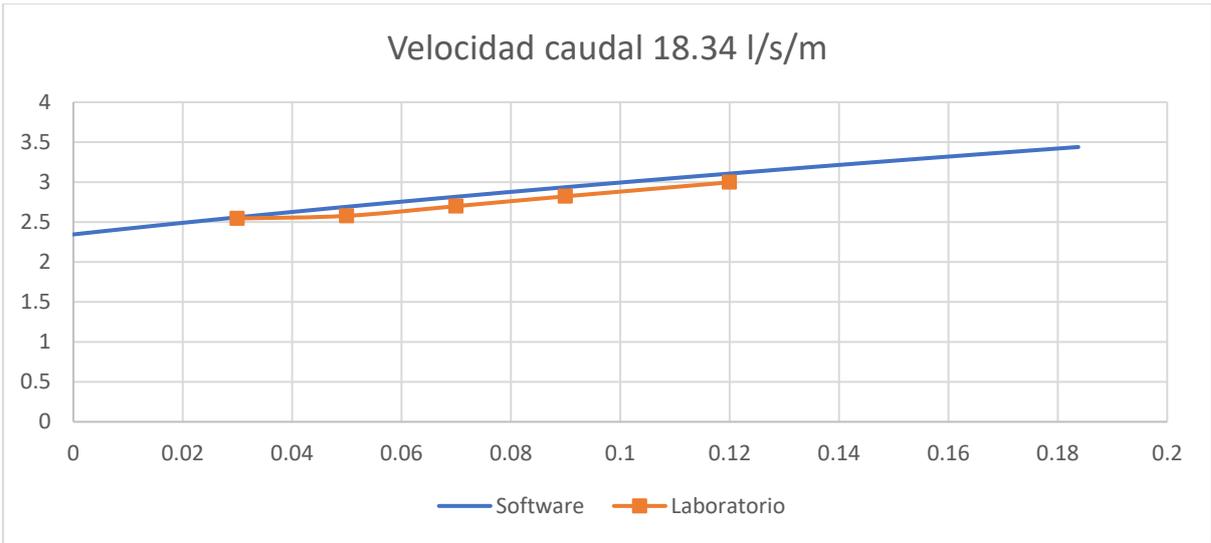


Figura 77. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 18.34 l/s/m, reja Noche y Día

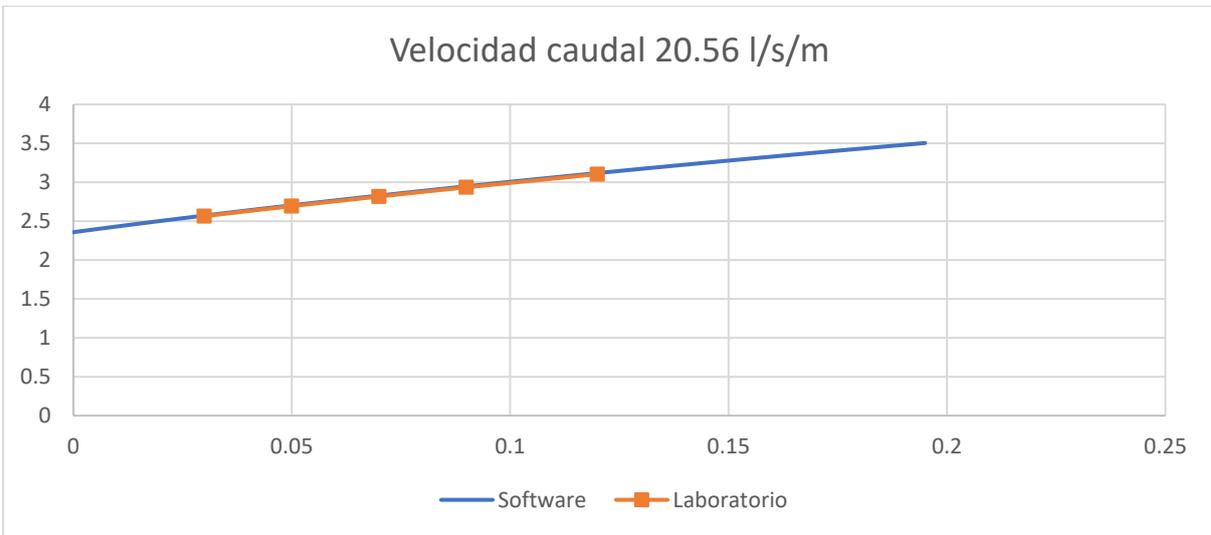


Figura 78. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 20.56 l/s/m, reja Noche y Día

5.6.2.2. Caudales 23.88 l/s/m, 27.80 l/s/m y 30.54 l/s/m

Se clasifican los resultados de los valores del tirante y de velocidad por tablas. Las Tabla 60 y Tabla 61 se refieren a los valores del tirante y velocidad, respectivamente, para el caudal 23.88 l/s/m, las Tabla 62 y Tabla 63 a los valores de los parámetros para el caudal 27.80 l/s/m, y las Tabla 64 y Tabla 65 a los valores en el caudal 30.54 l/s/m.

Tabla 60. Datos representativos de tirante para el caudal 23.88 l/s/m en la reja Noche y Día

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0.03	0.01
0.05	0.01
0.07	0.01
0.09	0.00
0.12	0.00

Tabla 61. Datos representativos de velocidad para el caudal 23.88 l/s/m en la reja Noche y Día

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0.03	2.58
0.05	2.70
0.07	2.79
0.09	2.82
0.12	3.00

Tabla 62. Datos representativos de tirante para el caudal 27.80 l/s/m en la reja Noche y Día

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0.03	0.02
0.05	0.01
0.07	0.01
0.09	0.01
0.12	0.00

Tabla 63. Datos representativos de velocidad para el caudal 27.80 l/s/m en la reja Noche y Día

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0.03	2.59
0.05	2.72
0.07	2.83
0.09	2.90
0.12	2.98

Tabla 64. Datos representativos de tirante para el caudal 30.54 l/s/m en la reja Noche y Día

Posición horizontal (m)	Tirante (m)
0.03	0.02
0.05	0.02
0.07	0.01
0.09	0.01
0.12	0.01

Tabla 65. Datos representativos de velocidad para el caudal 30.54 l/s/m en la reja Noche y Día

Posición horizontal (m)	Velocidad (m/s)
0.03	2.61
0.05	2.74
0.07	2.86
0.09	2.96
0.12	3.13

Las representaciones de los datos de tirante de los tres caudales de estudio (Figura 79, Figura 80 y Figura 81) son muy similares a los valores calculados y representados por el programa en los tres caudales.

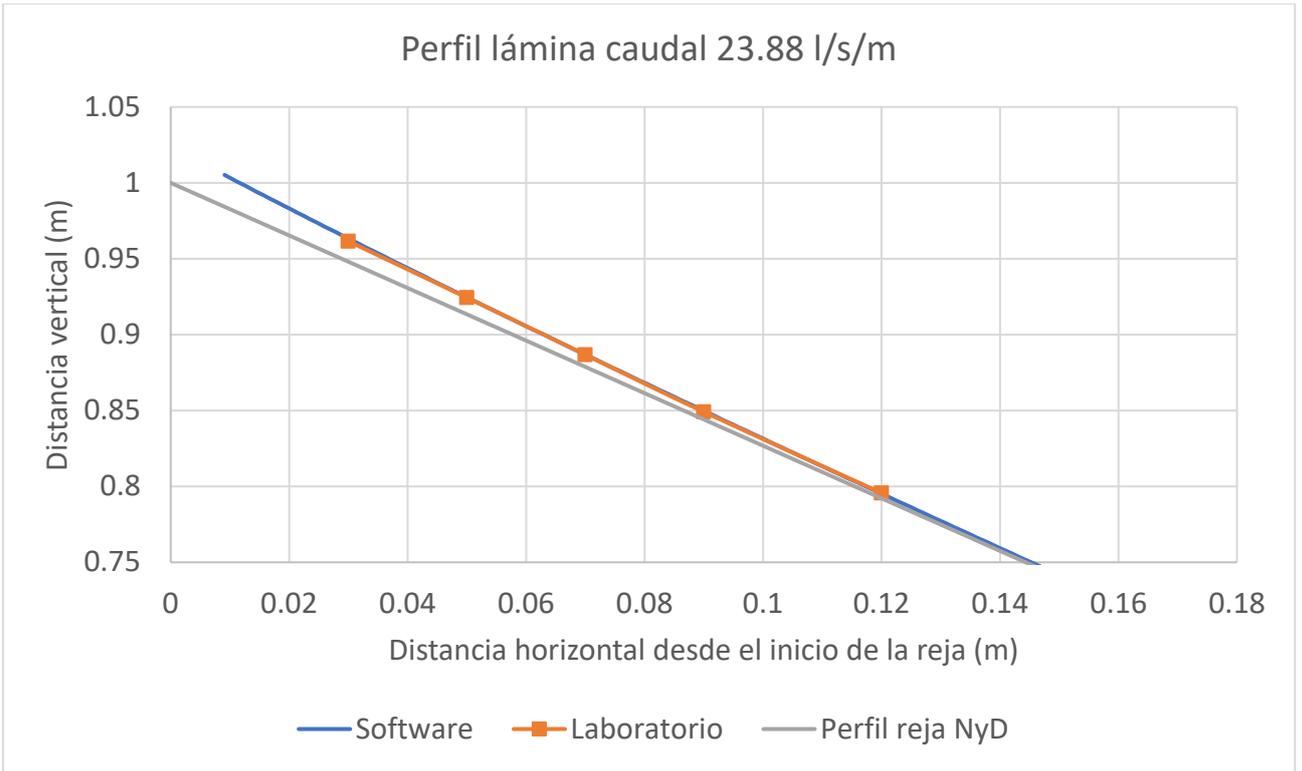


Figura 79. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 23.88 l/s/m, reja Noche y Día

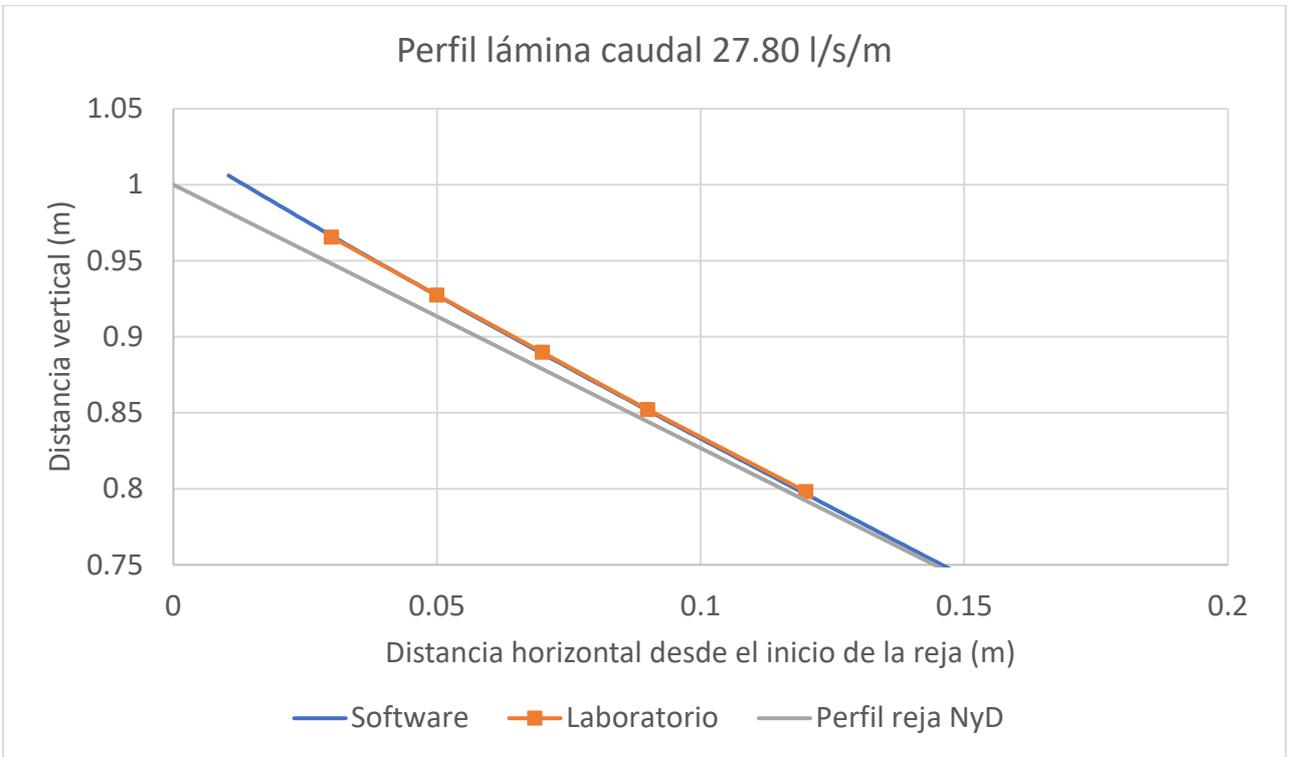


Figura 80. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 27.80 l/s/m, reja Noche y Día

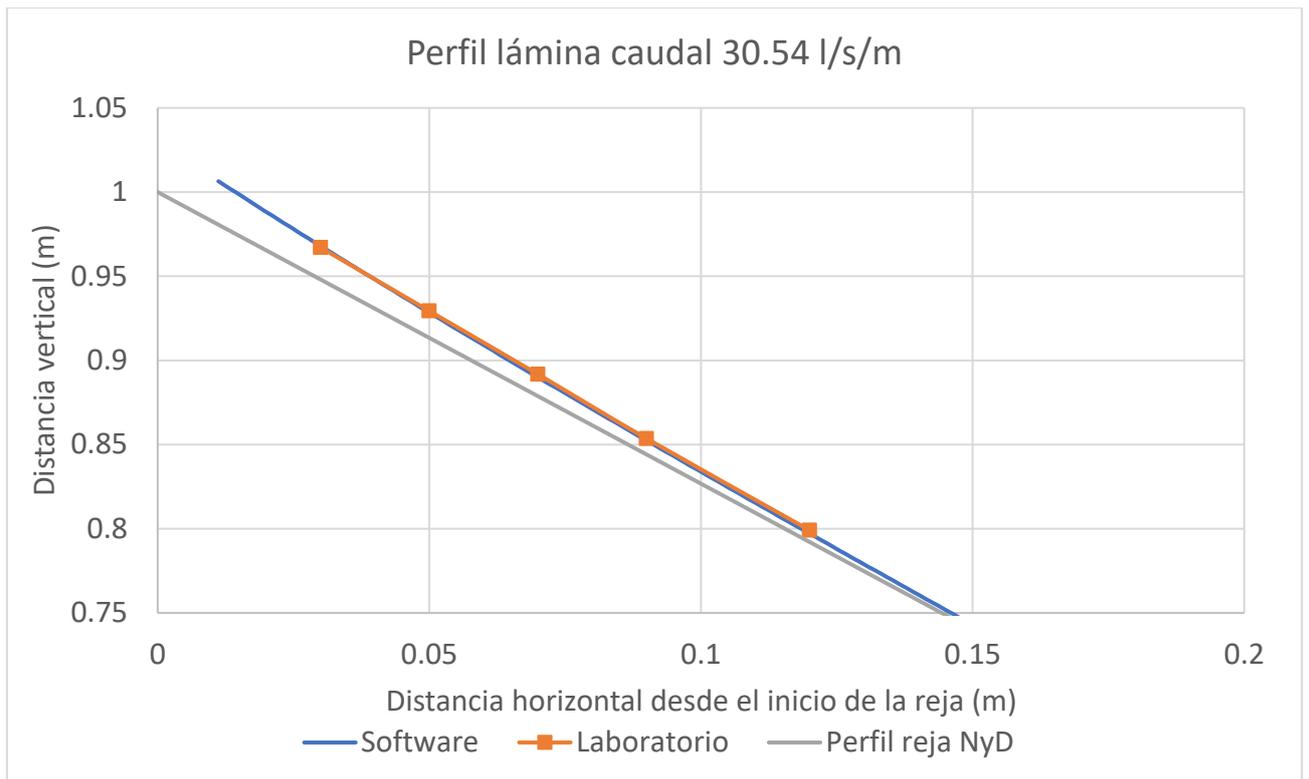


Figura 81. Perfil lámina comparación entre datos según software y laboratorio del caudal 30.54 l/s/m, reja Noche y Día

Los valores de velocidad en los tres caudales se muestran en la Figura 82, la Figura 83 y la Figura 84.

En la Figura 82 se muestran los valores del caudal 23.88 l/s/m. Las tres posiciones iniciales (0.03 m, 0.05 m y 0.07 m) tienen valores similares a los generados por el software, mientras que el resto de valores, son inferiores a los mostrados en la curva del programa.

En la Figura 83 los valores de velocidad para el caudal 27.80 l/s/m, muestran que los valores situados en las dos últimas posiciones horizontales tienen un valor ligeramente inferior a los calculados por el software.

En la Figura 84, correspondiente al caudal 30.54 l/s/m, los valores son muy similares a los valores simulados por el software.

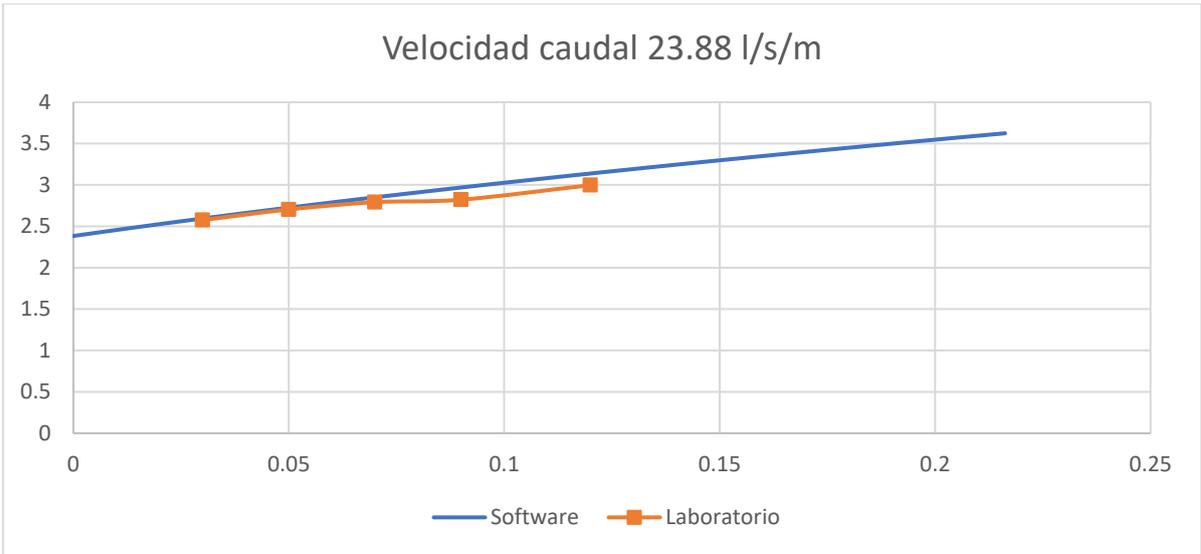


Figura 82. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 23.88 l/s/m, reja Noche y Día

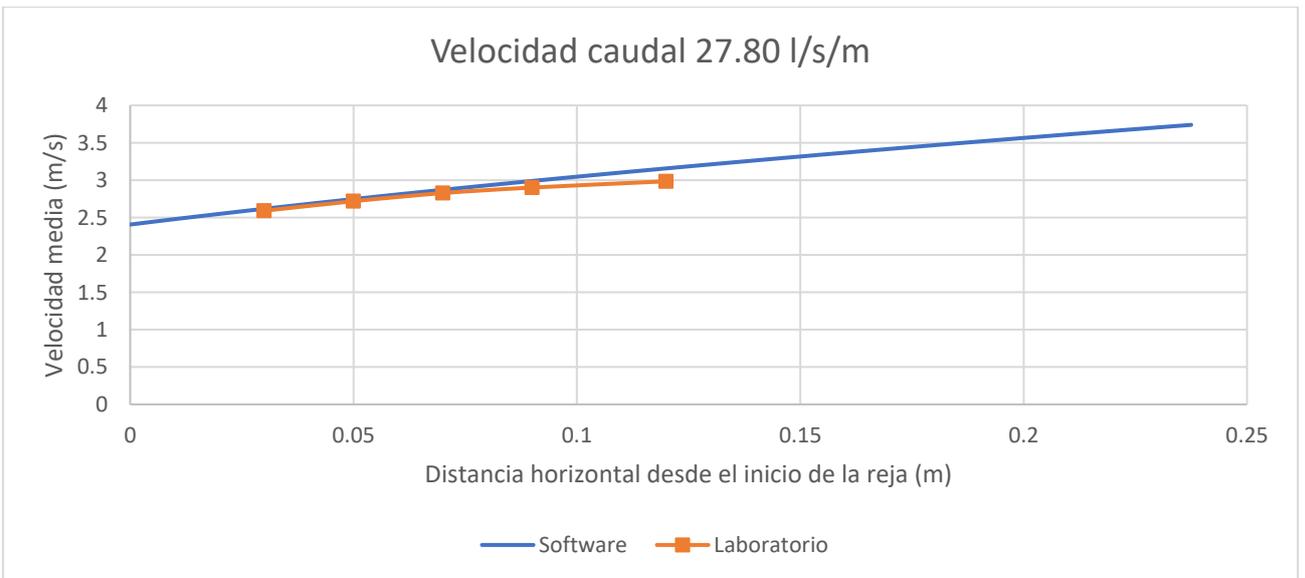


Figura 83. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 27.80 l/s/m, reja Noche y Día

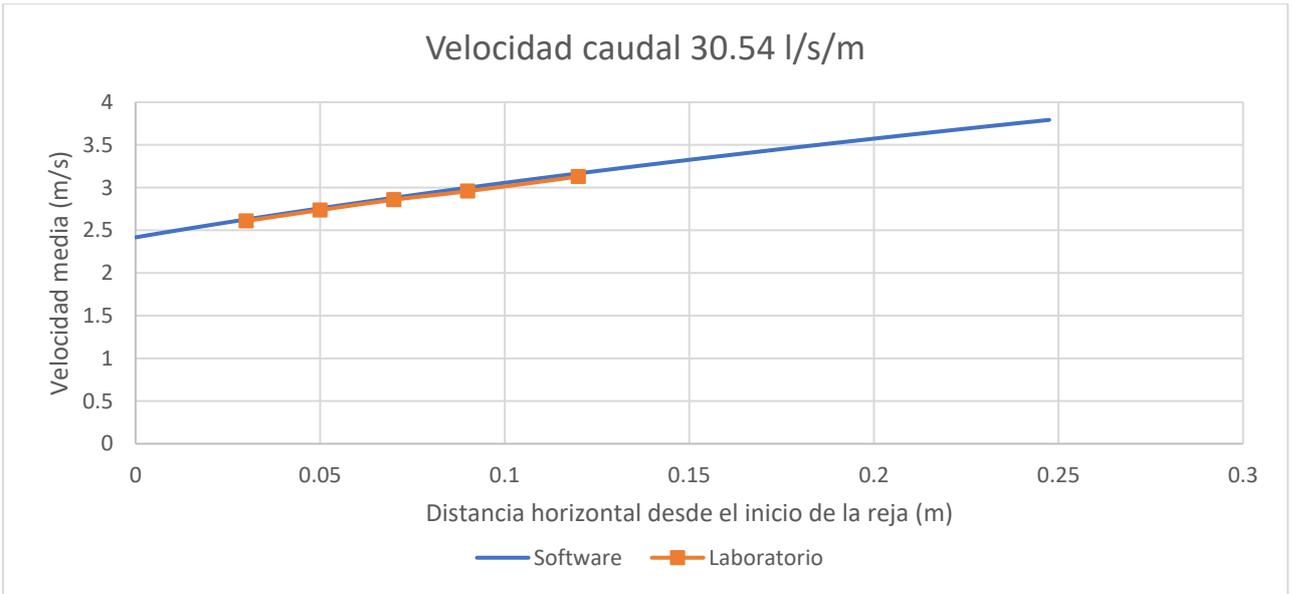


Figura 84. Curva de velocidad de laboratorio frente a la curva de velocidad del software, en las posiciones horizontales de estudio caudal 30.54 l/s/m, reja Noche y Día

La siguiente figura recopila los datos de los 6 caudales:

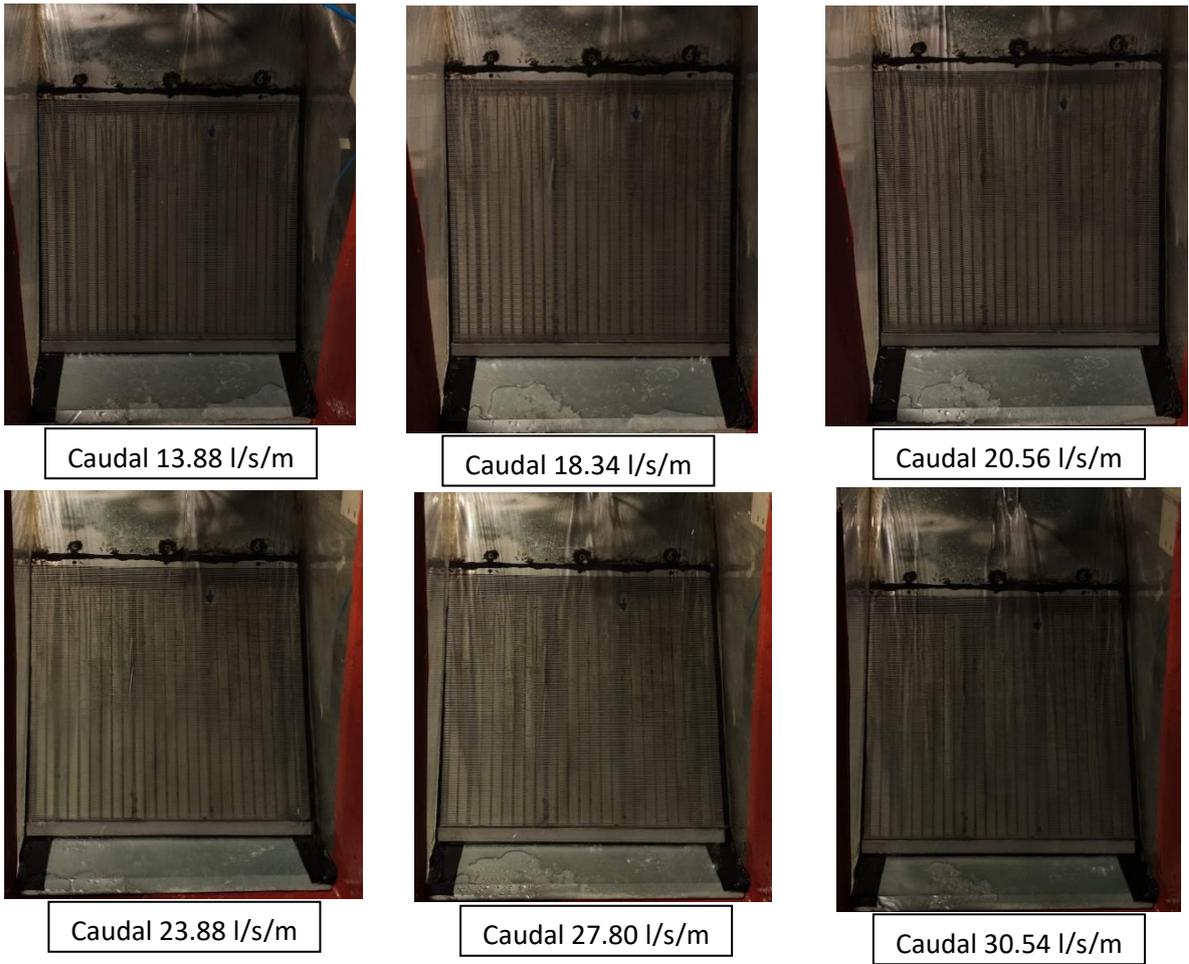


Figura 85. Comportamiento en laboratorio de los 6 caudales sobre la reja Noche y Día

5.7. Coeficiente de descarga de las rejjas de estudio

Mediante el estudio de laboratorio en las rejjas H1, H2, H3, H4 y NyD, para 6 caudales diferentes en cada una de ellas, se ha obtenido el caudal derivado para cada tramo definido en las posiciones horizontales de la reja. De esta forma se ha obtenido el coeficiente de descarga a través de la ecuación (12) de orificio. Cada una de las rejjas mostraba un índice de huecos (Tabla 2), para una pendiente de 60° en todos los casos.

Las siguientes figuras (Figura 86, Figura 87, Figura 88, Figura 89 y Figura 90) muestran los valores de posición horizontal en el eje de abscisas y los valores de coeficiente de descarga calculado, a partir de los valores obtenidos en laboratorio, en el eje de la ordenada de las 5 rejjas y sus diferentes caudales. Todos los datos obtenidos y calculados se recogen en tablas en el Anexo 1.

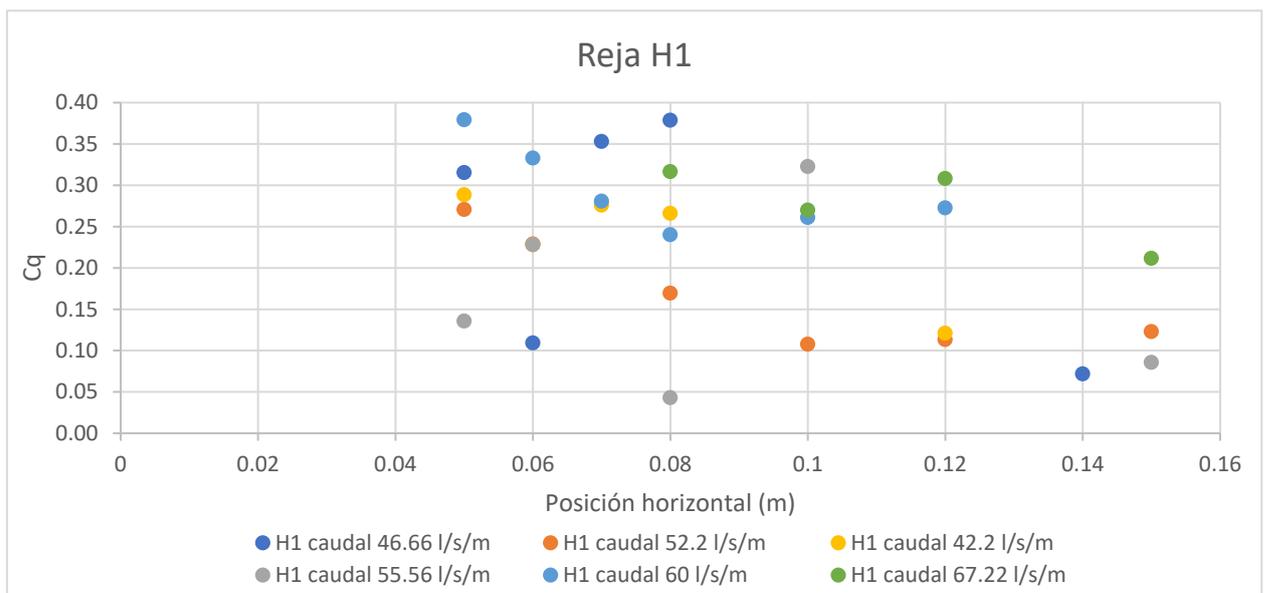


Figura 86. Representación gráfica del Coeficiente de descarga (C_d) calculados, respecto a la posición horizontal sobre la reja H1

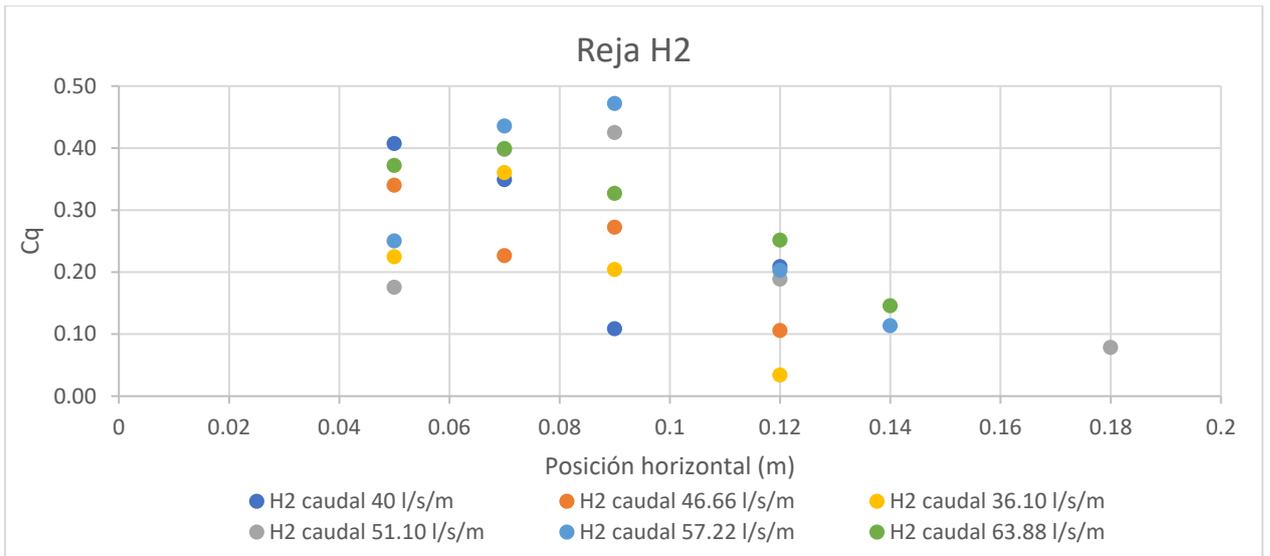


Figura 87. Representación gráfica del Coeficiente de descarga (C_d) calculados, respecto a la posición horizontal sobre la reja H2

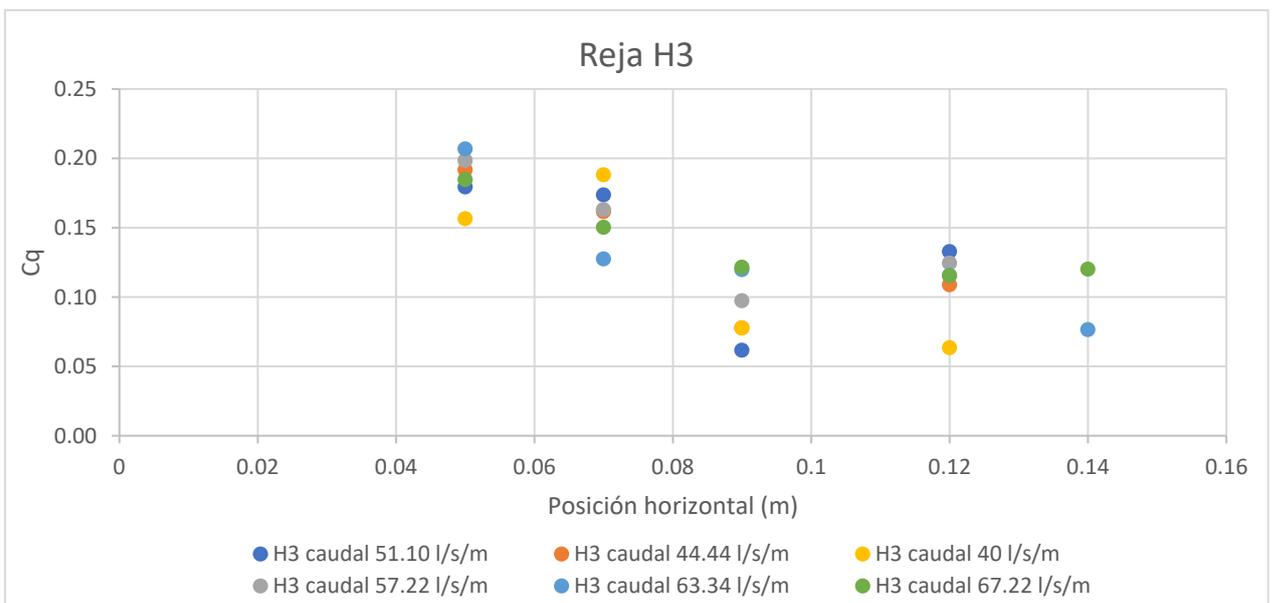


Figura 88. Representación gráfica del Coeficiente de descarga (C_d) calculados, respecto a la posición horizontal sobre la reja H3

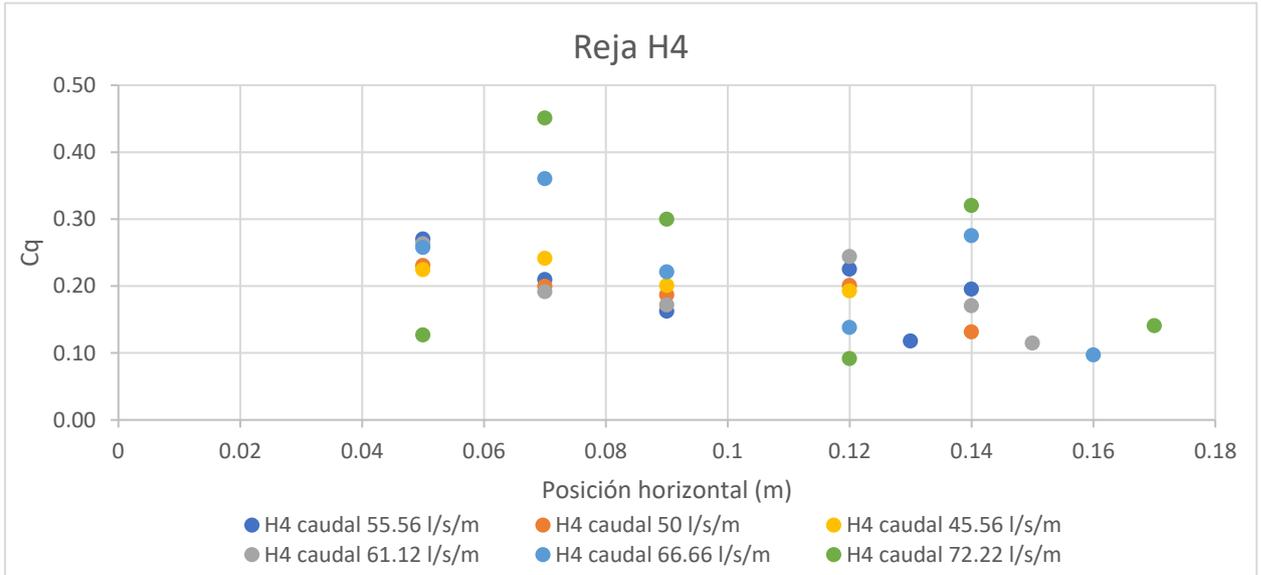


Figura 89. Representación gráfica del Coeficiente de descarga (C_q) calculados, respecto a la posición horizontal sobre la reja H4

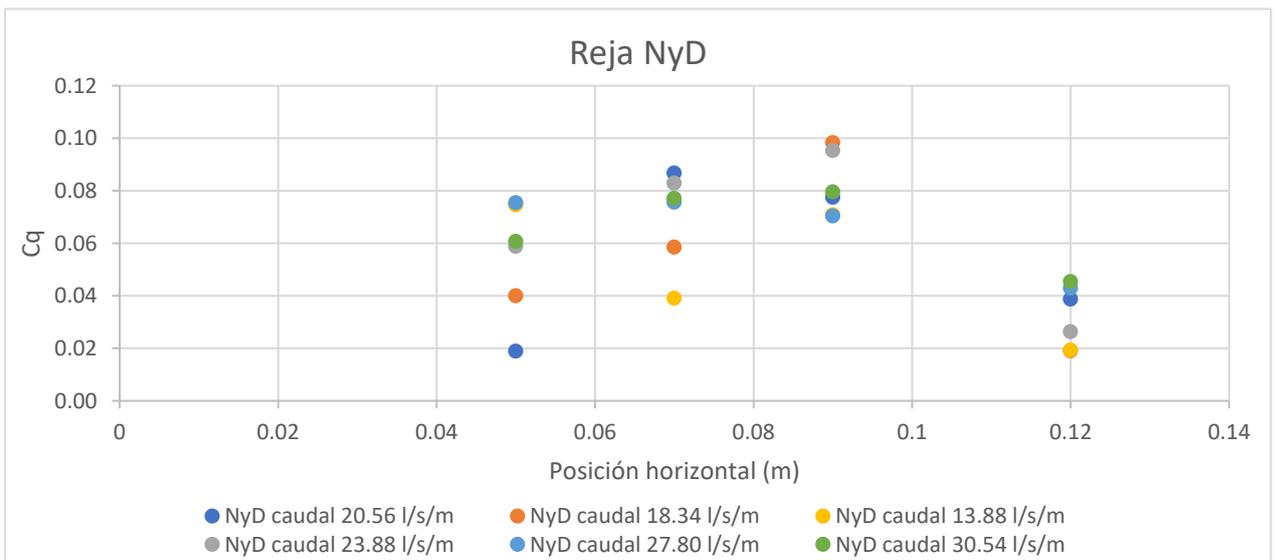


Figura 90. Representación gráfica del Coeficiente de descarga (C_q) calculados, respecto a la posición horizontal sobre la reja NyD

Como se puede ver en la *Tabla 2*, La reja H1 tiene un índice de huecos del 0.40, la reja H2 0.294, la reja H3 0.484, la reja H4 0.20 y la reja NyD un 0.238.

En los casos de las rejas de H3 y NyD, se puede ver como la tendencia de todas las posiciones horizontales para cada caudal siguen la misma trayectoria, además de mostrarse estos valores de descarga próximos entre sí. Si nos fijamos en sus valores de

coeficiente vemos como el rango para la reja H3 se encuentra entre los valores de 0.05 y 0.20. En cambio, para el caso de la reja NyD, el rango se encuentra en 0.02 y 0.10. Esto puede deberse a los índices de huecos de cada reja.

En el caso de las rejas H2 y H4, se aprecia como sus puntos siguen la misma tendencia, aunque de una manera más dispersa, incluso en el caso de la reja H4 un valor de coeficiente en los caudales 72.22 l/s/m y 66.66 l/s/m toma un valor un tanto superior al resto.

Los valores obtenidos y representados de la reja H1 muestra una gran dispersión de los valores de coeficiente de los caudales. Para este caso se debería revisar la toma de datos en laboratorio, ya que algunos de estos valores son mejorables.

6. CONCLUSIONES Y PRÓXIMOS PASOS DE FONDO CON PANTALLAS PROPUESTOS

La función de autolimpieza en las rejas de efecto Coanda hace que se mantenga su rendimiento en la captación de agua frente a las obstrucciones, además de reducir también su costo de mantenimiento.

La Reja H1 generalmente tiene unos valores de velocidad muy similares a los resultados generados en el programa de simulación para este tipo de reja, con unas diferencias de velocidad de 6.7% - 8.7%. Los valores del tirante dependen del ensayo en la mayoría de casos se obtienen resultados similares. En otros se obtienen valores ligeramente superiores o inferiores a los calculados por el programa. Por ejemplo, para el caudal 55.56 l/s/m se observan datos de laboratorio levemente inferiores en las primeras posiciones hasta la parte central y en las posiciones finales obtienen valores superiores a los calculados por el programa utilizado. Finalmente, estos valores se pueden considerar parecidos a los aportados por el programa de simulación.

La reja H2 presenta unos valores de velocidad medida en el laboratorio generalmente inferiores a los valores proporcionados por el programa, excepto los valores obtenidos con el caudal más pequeño. En todo caso, ambas curvas se representan muy próximas la una a la otra. Las diferencias de velocidad van del 5.2% de diferencia en el caudal 63.88 l/s/m hasta un 6.8% de diferencia en el caudal 57.22 l/s/m.

La curva descrita por los valores del tirante a partir del caudal 36.10 l/s/m es muy similar a la calculada con el programa. El resto de curvas presentan valores de tirante similares, superiores e inferiores pero muy próximos a los calculados con el programa.

Para el caso de la reja H3 se obtienen resultados muy similares. En el caso de la velocidad, los datos de laboratorio se encuentran por debajo de la curva de valores generados por el programa, pero ajustada a ellos al igual que ocurría con la reja H2. Las diferencias de velocidad entre ambas curvas van desde el 5.1% para el caudal 57.22 l/s/m hasta 6.2% para el caudal 44.44 l/s/m. Los valores del tirante en el punto inicial no pueden ser generados por el programa.

En los caudales representados se observan diferencias de valores de tirante en las posiciones finales de la reja. Los valores de tirante y velocidad que menos se asemejan a los calculados con el programa se obtienen con los caudales de 63.34 l/s/m y 67.22 l/s/m.

Los tres caudales más pequeños ensayados con la reja H4 presentan una gran coincidencia los valores del tirante medidos en laboratorio y los valores generados en la simulación del software. Sin embargo, los valores de velocidad no son muy coincidentes, siendo las mediciones ligeramente inferiores a los valores por el software. Estos valores inferiores de velocidad se vuelven a repetir en los otros caudales.

Las diferencias de las velocidades para estos caudales no alcanzan el 8% de diferencia. El caudal 45.56 l/s/m cuenta con una diferencia de 5.4%, mientras que en los caudales 66.66 l/s/m y 72.22 l/s/m, muestran una diferencia de 7.3%. El resto de caudales rondan los valores de 6.4 % y 6.8%.

Los valores medidos de tirante para los caudales mayores muestran más diferencias. Aun así, se puede concluir que todos los caudales estudiados para este tipo de reja, se resuelven de forma adecuada por el software.

En el estudio realizado en la Reja Noche y Día los valores del tirante medidos en laboratorio para los diferentes caudales muestran una gran similitud a los calculados por el software a pesar de que el fabricante es diferente al considerarlos en el programa.

Respecto a los valores de velocidad, se aprecia a una diferencia entre los valores de laboratorio y los generados, igual que en los anteriores casos. El rango de diferencia de caudal va del 5% en el caudal 23.88 l/s/m, hasta 7.5% en el caudal 20.56 l/s/m

Tras el estudio de seis caudales para cinco rejass diferentes, se puede concluir que el programa representa de una forma más precisa los datos recogidos en laboratorio con la Reja H4 que tiene una capacidad de captar hasta un caudal de 74.44 l/s/m, siendo la Reja Noche y Día la que menos capacidad de captación tiene con 30.54 l/s/m. El resto de rejass tienen capacidades de captación similares a la H4 con 70.56 l/s/m (Reja H3), 68.34 l/s/m (Reja H1) y 63.88 l/s/m (Reja H2). También cabe destacar que los perfiles de lámina o tirante y los valores de velocidad, son en la gran mayoría de casos, muy similares a los simulados por el software utilizado. Esto demuestra que la recogida de

datos en los diferentes estudios realizados para el desarrollo de este programa es correcta o, dicho de otra forma, el programa es capaz de calcular los valores medidos en este estudio. Por tanto, el programa puede ser utilizado para diseñar la capacidad de la pantalla para flujo unitario de agua clara, en función de los parámetros y condiciones a las que se vaya a someter la captación, siendo una estructura económica.

Los valores de coeficiente de descarga obtenidos a partir del caudal derivado, se encuentran en unas condiciones aceptables a excepción de la reja H1. Las tendencias y trayectoria de estos valores de descarga se ven mucho más claros respecto el caudal circulante que en las posiciones de la reja.

Las rejas H2 y H4 muestran unos coeficientes de descarga superiores al resto de rejas, es decir, H2 muestra un rango de valores desde 0.03 hasta 0.47, y en la reja H4, se muestra un rango de 0.09 a 0.45. Las rejas H3 y NyD muestran rangos de valores apreciablemente más bajos que los expuestos en las rejas H2 y H4, es decir, para la reja H3 se observa un rango de 0.06 a 0.21, mientras que en la reja NyD se observa un rango similar de 0.02 a 0.10.

Puesto que los índices de huecos en las rejas H2 y H4 tienen unos valores de 0.238 y 0.294 respectivamente, y las rejas H3 y NyD, muestran unos índices de huecos de 0.484 y 0.40, respectivamente, llegamos a la conclusión de que a mayor índice de huecos menores serán los valores de coeficiente de descarga. La diferencia entre los valores de coeficiente de descarga de la reja H3 con mayor índice de huecos y los valores de descarga de la reja H2, con el menor índice de huecos, es del 48.6%.

Los posibles futuros pasos en esta línea de trabajo pueden orientar a la obtención de nuevos datos de laboratorio con la reja Noche y Día para así corroborar e incluirla en el software utilizado. Además, es necesario seguir investigando la optimización de los sistemas de captación con más estudios de diferentes rejas, y teniendo en cuenta la posible oclusión en flujos con transporte de sedimentos.

También, debido a los resultados obtenidos para la reja H1, se consideraría la vuelta a la medición en laboratorio.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Dzafo H., Dzaferovic E., (2016), *Numerical simulation of Air-Water two phase Flow over Coanda-Effect screen structure*, Bosnia.

Educo, (2022), *17 objetivos de Desarrollo Sostenible y la Agenda 2030*, https://www.educo.org/blog/Que-son-los-17-Objetivos-de-Desarrollo-Sostenible?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=educo_brand_dsa&utm_term=kw&utm_content=text&tc_alt=64115&n_o_pst=n_o_pst&n_okw=c_103267085027&qclid=CjwKCAjwh-CVBhB8EiwAjFEPGc4YO8Bnf0PyvVDmqC3kBOqUEXd9jV83u2Ber9bnt5Q3OQU26nXh8xoC4VYQAvD_BwE.

Fernández T., (2017), *“Causas y efectos de la escasez del agua en el mundo”*, Waterlogic, (22/03/22), <https://www.waterlogic.es/blog/escasez-de-agua-un-grave-problema/>.

García Bermejo, J. T. (2016). Estudio experimental y numérico de los sistemas de captación de fondo (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cartagena. DOI: 10.31428/10317/5582

Hazar O., (2020), *Design of Coanda intakes for optimum sediment reléase efficiencies and wáter capture performances*, School of Engineering and science of Esmirna institute of technology, Esmirna.

Huber D., (2005), *Beduin Project*, ENSHMG and NTNU, Noruega.

Kamal N., Lee G., Shin S., Park H., (2017), *Design of stormwater particle removal system for small-scale urban hydropower base don the Vortex and Coanda Effects*, vol. 9 No 2, Faculty of Civil Universiti teknologi MARA, Malaysia.

May, (2015), *Sediment Exclusion from Water Systems Using a Coanda Effect Device*, Department of Physics and Engineering, Fort Lewis College, Colorado.

Mefford B., (2013), *Guide to fish screens*, Bureau of Reclamation, Albuquerque.

Novik H., Lia L., Opaker H., (2014), *Performance of Coanda-Effect screens in a cold climate*, Dept. of Hydraulic and Environmental Engineering, Noruega.

Plastok, (2014), *Curved screen shape*, http://www.plastok.co.uk/wp-content/uploads/2014/06/wedge_wire_03.jpg.

PRONAR, (2002), *Criterios de Diseño y Construcción de Obras de Captación para Riego Tomas Tirolesa*, PROAGRO, Alemania.

Seong-Ming Y., Yong-Sun K., Hee-Jea S., Sang-Cheol K., (2018), *A numerical study for optimum design of dust separator screen base don Coanda Effect*, Department of Mechanical Engineering, Jeonju.

Sotelo Avila, G. (1997). *Apuntes de Hidráulica II*.

Wahl, Tony L., Bestgen K., Bundy J., Zelasko K., (2004), *Effectiveness of High-Velocity inclined profile-bar fish screens measured by exclusión and survival of Early life stages of Fathead Minnow*, Lavarl fish laboratory department of fishery and wildlife biology and Bureau of Reclamation, Colorado.

Wahl, Tony L., (2014), *Coanda Screen Design*, versión 0.7 10-dic-14, Bureau of Reclamation Hydraulic Lab, (27/06/2022), <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/computer%20software/compsoft.html>.

Wahl, Tony L., (2001), *Hydraulic performance of Coanda-Effect screens*, Bureau of Reclamation, Denver.

Wahl, Tony L., (1995), *Hydraulic testing of static self-cleaning inclined screens*, The First International Conference on Water Resources Engineering and American Society of Civil Engineers, San Antonio.

Wahl, Tony L., (2017), *Improving Coanda-Effect screen technology*, Bureau of Reclamation, Denver.

Wahl, Tony L., (2013), *New testing of Coanda Effect screen capacities*, Bureau of Reclamation, Denver.

ANEXO 1: Tablas y curvas de datos obtenidos en laboratorio

Para este estudio se han realizado tablas en las cuales se recopilan los datos obtenidos en las campañas de laboratorio, además de los perfiles de la lámina libre de los diferentes caudales en las cinco rejas llevadas a estudio. Mediante la representación gráfica de los perfiles laminares, se obtuvo el valor de los calados en los diferentes puntos de la sección para el cálculo del coeficiente de descarga.

En las siguientes tablas y figuras se recopila la campaña experimental llevada a cabo.

Reja H1

Tabla A1-1. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 52.22 l/s/m en la reja H1

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H1	60°	52.22	Sobre reja	0.18	0.30	1.86	0.29
				0.12	0.20	3.19	0.18
				0.10	0.17	3.25	0.15
				0.08	0.13	3.23	0.11
				0.06	0.10	3.24	0.07
				0.05	0.08	3.25	0.05
			Sobre plato de aceleración	0.03	0.05	3.24	0.00
				-0.06	0.09	3.15	0.13
				-0.12	0.15	3.18	0.20
			Sobre canal	-0.19	0.21	3.22	0.27
				-0.40	0.05	3.12	0.30
				-0.50	0.05	3.12	0.30
				-0.65	0.04	3.11	0.30
						-1.00	0.04

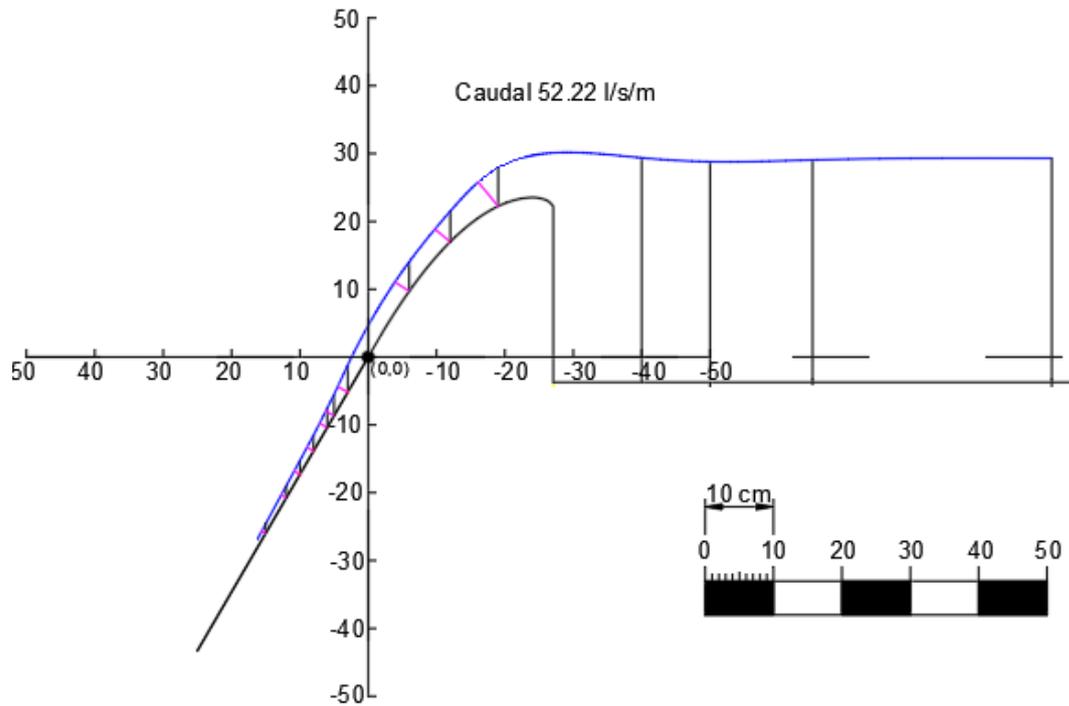


Figura A1-1. Perfil laminar del caudal 52.22 l/s/m para la reja H1

Tabla A1-2. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 55.56 l/s/m en la reja H1

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H1	60°	55.56	Sobre reja	0.20	0.32	1.86	0.32
				0.15	0.25	3.26	0.24
				0.10	0.17	3.29	0.14
				0.08	0.13	3.29	0.11
				0.06	0.11	3.26	0.08
				0.05	0.09	3.26	0.06
				0.03	0.06	3.26	0.02
			Sobre plato de aceleración	-0.06	0.09	3.08	0.13
				-0.12	0.15	3.18	0.20
				-0.19	0.21	3.20	0.27
			Sobre canal	-0.40	0.05	3.12	0.31
				-0.50	0.05	3.12	0.31
				-0.65	0.04	3.11	0.31
-1.00	0.04	3.11		0.31			

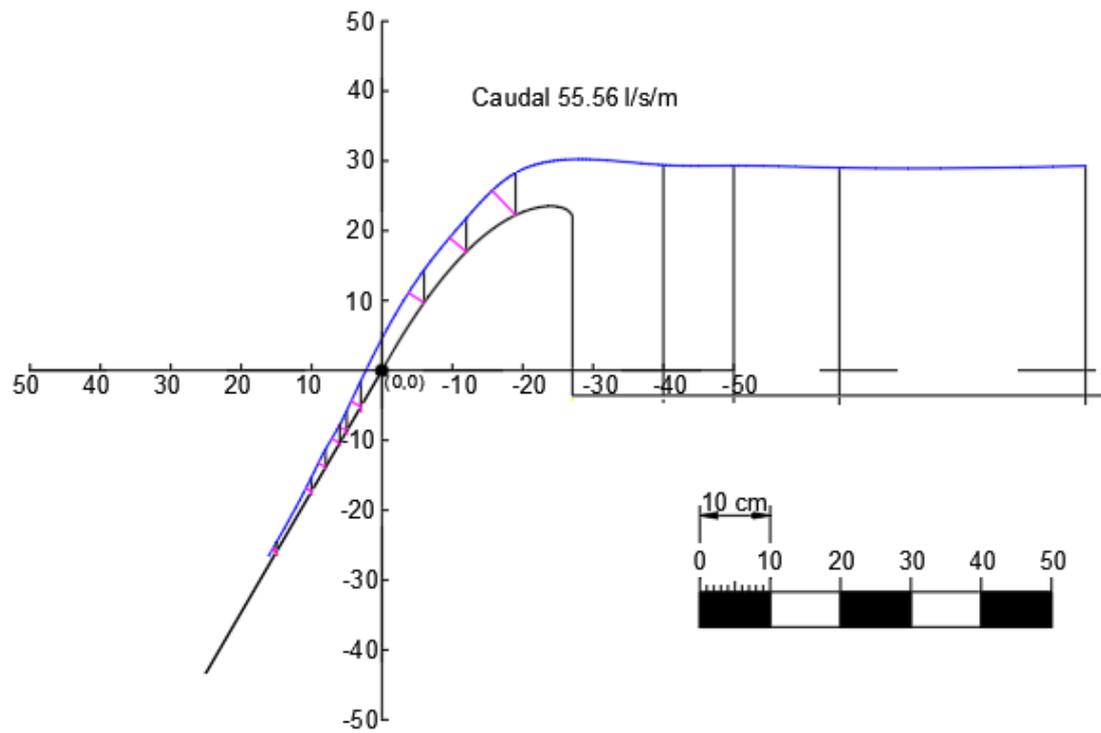


Figura A1-2. Perfil laminar del caudal 55.56 l/s/m para la reja H1

Tabla A1-3. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 30 l/s/m en la reja H1

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H1	60°	60	Sobre reja	0.15	0.25	1.86	0.24
				0.12	0.20	1.86	0.19
				0.10	0.16	3.22	0.15
				0.07	0.13	3.26	0.10
				0.06	0.10	3.23	0.07
				0.05	0.08	3.23	0.05
				0.03	0.05	3.23	0.00
			Sobre plato de aceleración	-0.06	0.09	3.13	0.14
				-0.12	0.15	3.21	0.20
				-0.19	0.21	3.30	0.27
			Sobre canal	-0.40	0.05	3.17	0.31
				-0.50	0.05	3.17	0.31
				-0.65	0.04	3.16	0.31
-1.00	0.04	3.16		0.31			

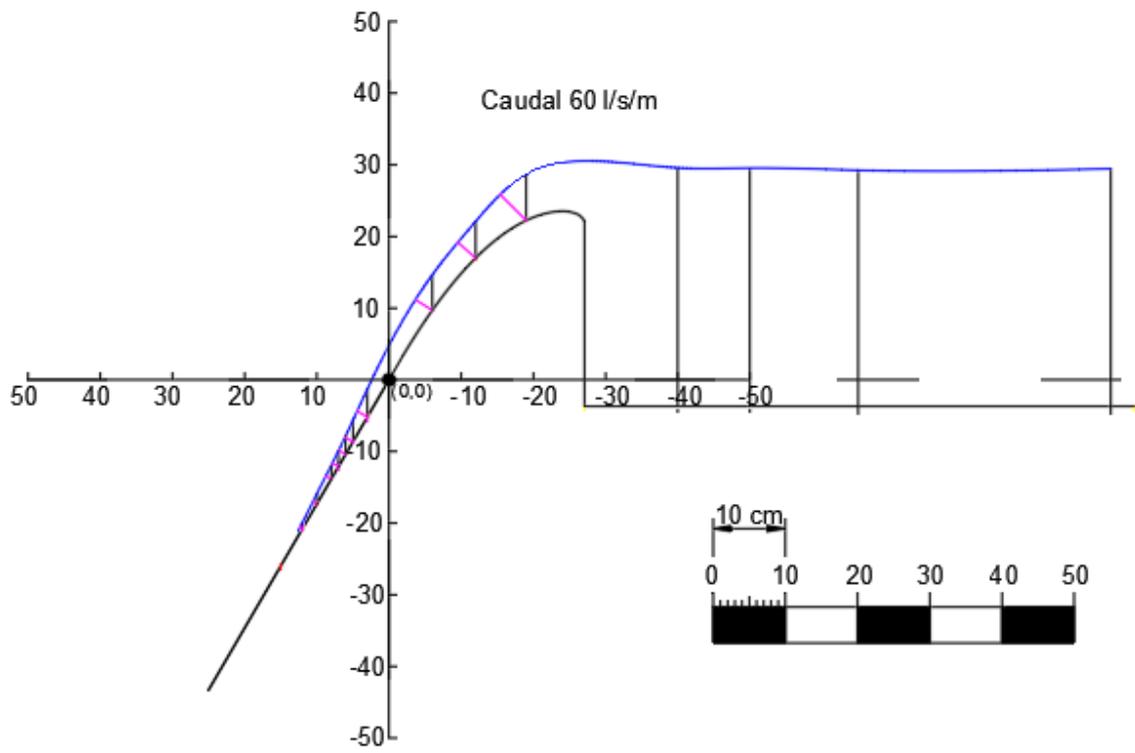


Figura A1-3. Perfil laminar del caudal 60 l/s/m para la reja H1

Tabla A1-4. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 67.22 l/s/m en la reja H1

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H1	60°	67.22	Sobre reja	0.18	0.30	1.86	0.29
				0.15	0.25	2.76	0.24
				0.12	0.20	3.19	0.18
				0.10	0.17	3.25	0.15
				0.08	0.13	3.23	0.11
				0.06	0.10	3.24	0.07
				0.05	0.08	3.25	0.05
				0.03	0.05	3.24	0.00
			Sobre plato de aceleración	-0.06	0.09	3.16	0.14
				-0.12	0.15	3.26	0.21
				-0.19	0.21	3.26	0.28
			Sobre canal	-0.40	0.05	3.28	0.32
				-0.50	0.05	3.26	0.33
				-0.65	0.04	3.28	0.32
				-1.00	0.04	3.26	0.32

Tabla A1-5. Datos y cálculos de estudio de la reja H1

Rejas	Caudal entrante (l/s/m)	L (m)	Posición horizontal (m)	Tirante (m)	Calado (m)	Velocidad (m/s)	Energía (m)	Caudal circulante (m3/s)	Caudal derivado (m3/s)	m (ind.huecos)	Área total (m2)	Coefficiente de descarga (Cq)	
H1	42.22	-	0.03	0.0300	0.01371	2.69	0.37	0.018	-	0.2	-	-	
		0.04	0.05	0.0250	0.01084	2.81	0.41	0.015	0.003		0.02	0.29	
		0.02	0.06	0.0215	0.00970	2.87	0.42	0.014	0.001		0.01	0.23	
		0.02	0.07	0.0190	0.00841	2.93	0.44	0.012	0.002		0.01	0.28	
		0.02	0.08	0.0160	0.00719	2.99	0.46	0.011	0.002		0.01	0.27	
		0.08	0.12	0.0105	0.00482	3.21	0.53	0.008	0.003		0.04	0.12	
	46.66	-	0.03	0.0340	0.01489	2.65	0.37	0.020	-		-	-	-
		0.04	0.05	0.0270	0.01173	2.78	0.40	0.016	0.003		0.02	0.32	
		0.02	0.06	0.0235	0.01105	2.84	0.42	0.016	0.001		0.01	0.11	
		0.02	0.07	0.0220	0.00942	2.90	0.43	0.014	0.002		0.01	0.35	
		0.02	0.08	0.0180	0.00773	2.96	0.45	0.011	0.002		0.01	0.38	
		0.12	0.14	0.0105	0.00531	3.28	0.55	0.009	0.003		0.06	0.07	
	52.22	-	0.03	0.0400	0.01681	2.74	0.39	0.023	-		-	-	-
		0.04	0.05	0.0315	0.01396	2.86	0.42	0.020	0.003		0.02	0.27	
		0.02	0.06	0.03	0.01277	2.92	0.44	0.019	0.001		0.01	0.23	
		0.04	0.08	0.02	0.01095	3.04	0.48	0.017	0.002		0.02	0.17	
		0.04	0.10	0.02	0.00972	3.15	0.51	0.015	0.001		0.02	0.11	
		0.04	0.12	0.02	0.00850	3.25	0.54	0.014	0.001		0.02	0.11	
	55.56	0.06	0.15	0.01	0.00667	3.40	0.59	0.011	0.002		0.03	0.12	
		-	0.03	0.04	0.01580	2.72	0.39	0.022	-		-	-	-
		0.04	0.05	0.03	0.01405	2.85	0.42	0.020	0.002		0.02	0.14	
		0.02	0.06	0.03	0.01285	2.90	0.44	0.019	0.001		0.01	0.23	
		0.04	0.08	0.03	0.01203	3.02	0.47	0.018	0.001		0.02	0.04	
		0.04	0.10	0.02	0.00905	3.13	0.50	0.014	0.004		0.02	0.32	
	60	0.1	0.15	0.01	0.00670	3.39	0.59	0.011	0.003		0.05	0.09	
		-	0.03	0.04	0.01634	2.73	0.39	0.022	-		-	-	-
		0.04	0.05	0.03	0.01265	2.86	0.42	0.018	0.004		0.02	0.38	
		0.02	0.06	0.03	0.01107	2.91	0.44	0.016	0.002		0.01	0.33	
		0.02	0.07	0.02	0.00974	2.97	0.46	0.014	0.002		0.01	0.28	
		0.02	0.08	0.02	0.00860	3.03	0.47	0.013	0.001		0.01	0.24	
67.22	0.04	0.10	0.01	0.00624	3.14	0.51	0.010	0.003	0.02	0.26			
	0.04	0.12	0.01	0.00388	3.25	0.54	0.006	0.003	0.02	0.27			
	-	0.03	0.05	0.02064	2.76	0.40	0.028	-	-	-	-		
	0.1	0.08	0.03	0.01257	3.05	0.48	0.019	0.009	0.05	0.32			
	0.04	0.10	0.02	0.01000	3.16	0.51	0.016	0.003	0.02	0.27			
	0.04	0.12	0.02	0.00724	3.27	0.55	0.012	0.004	0.02	0.31			
0.06	0.15	0.01	0.00443	3.42	0.60	0.008	0.004	0.03	0.21				

Reja H2

Tabla A1-6. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 36.10 l/s/m en la reja H2

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H2	60°	36.10	Sobre reja	0.12	0.20	1.86	0.19
				0.09	0.15	1.86	0.15
				0.07	0.12	2.53	0.11
				0.05	0.08	3.01	0.06
				0.03	0.05	3.02	0.03
			Sobre plato de aceleración	-0.09	0.13	2.92	0.16
				-0.15	0.18	3.07	0.21
				-0.20	0.22	3.09	0.26
			Sobre canal	-0.45	0.05	3.02	0.29
				-0.60	0.04	3.01	0.29
				-0.80	0.04	3.01	0.29
				-1.00	0.04	3.01	0.29

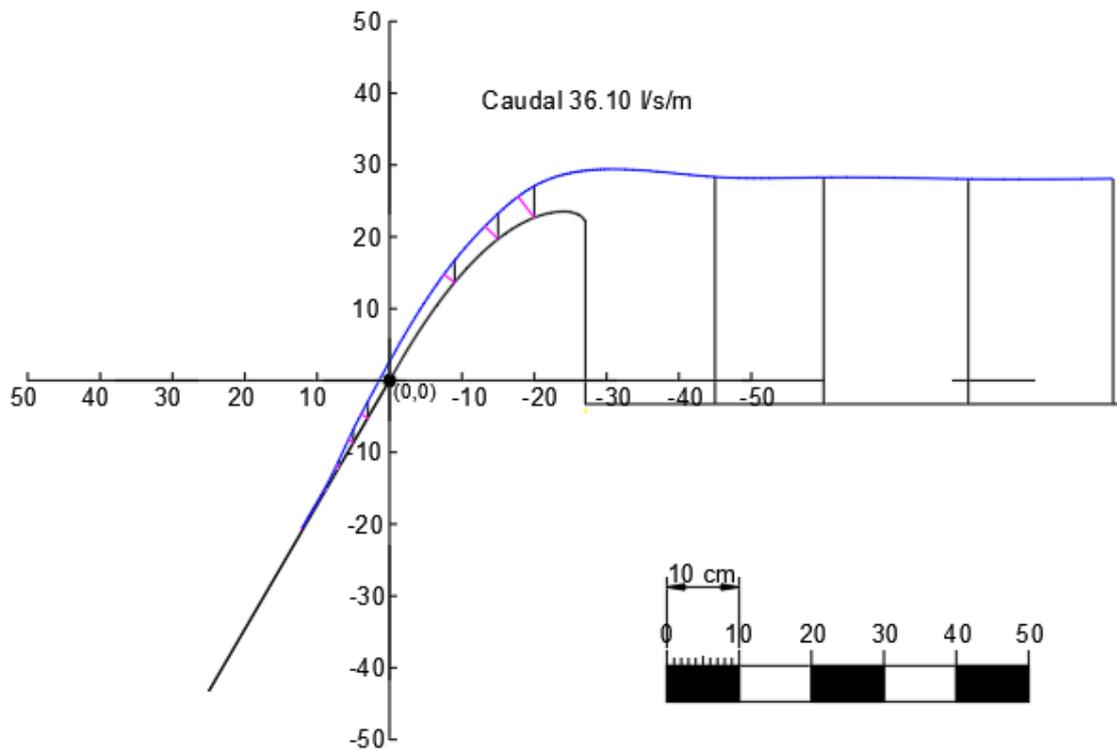


Figura A1-4. Perfil laminar del caudal 36.10 l/s/m para la reja H2

Tabla A1-7. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 40 l/s/m en la reja H2

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H2	60°	40	Sobre reja	0.12	0.20	1.86	0.20
				0.09	0.15	1.86	0.15
				0.07	0.12	3.06	0.11
				0.05	0.08	3.05	0.06
				0.03	0.05	3.05	0.02
			Sobre plato de aceleración	-0.09	0.13	3.03	0.16
				-0.15	0.18	3.11	0.22
				-0.20	0.22	3.13	0.27
			Sobre canal	-0.45	0.05	3.05	0.30
				-0.60	0.04	3.06	0.30
				-0.80	0.04	3.05	0.30
				-1.00	0.04	3.06	0.30

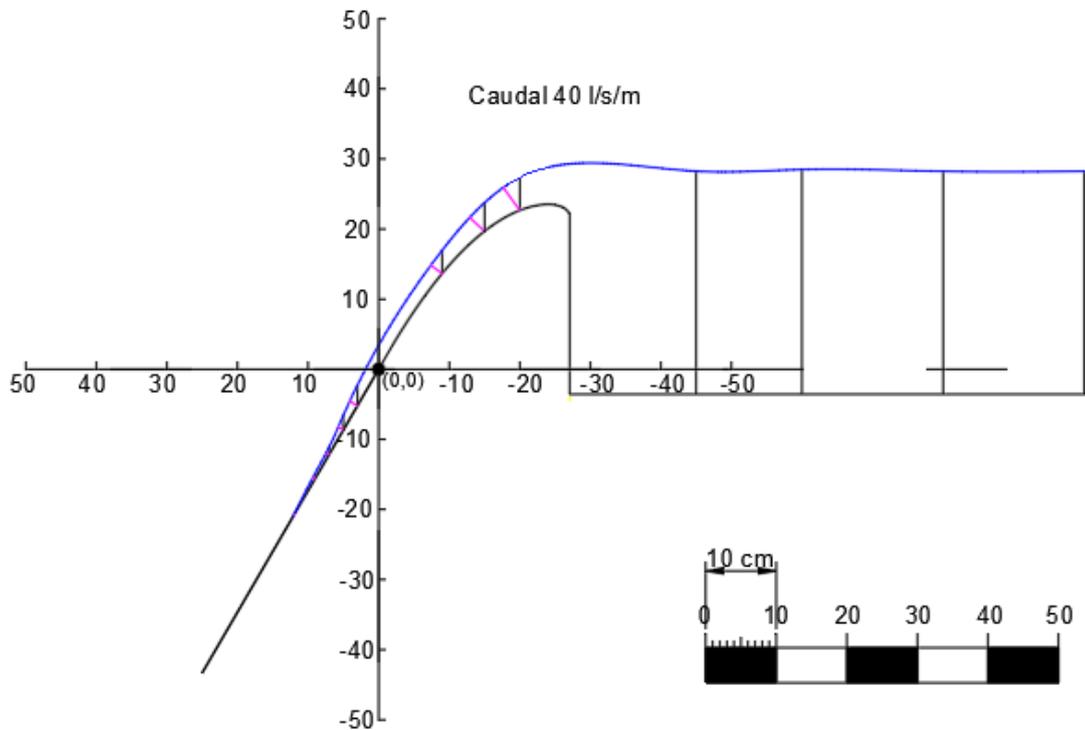


Figura A1-5. Perfil laminar del caudal 40 l/s/m para la reja H2

Tabla A1-8. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 46.66 l/s/m en la reja H2

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H2	60°	46.66	Sobre reja	0.12	0.20	1.86	0.20
				0.09	0.15	2.78	0.15
				0.07	0.12	3.12	0.11
				0.05	0.08	3.15	0.06
				0.03	0.05	3.10	0.02
			Sobre plato de aceleración	-0.09	0.13	3.09	0.17
				-0.15	0.18	3.15	0.23
				-0.20	0.22	3.18	0.27
			Sobre canal	-0.45	0.05	3.12	0.30
				-0.60	0.04	3.12	0.30
				-0.80	0.04	3.11	0.30
				-1.00	0.04	3.11	0.30

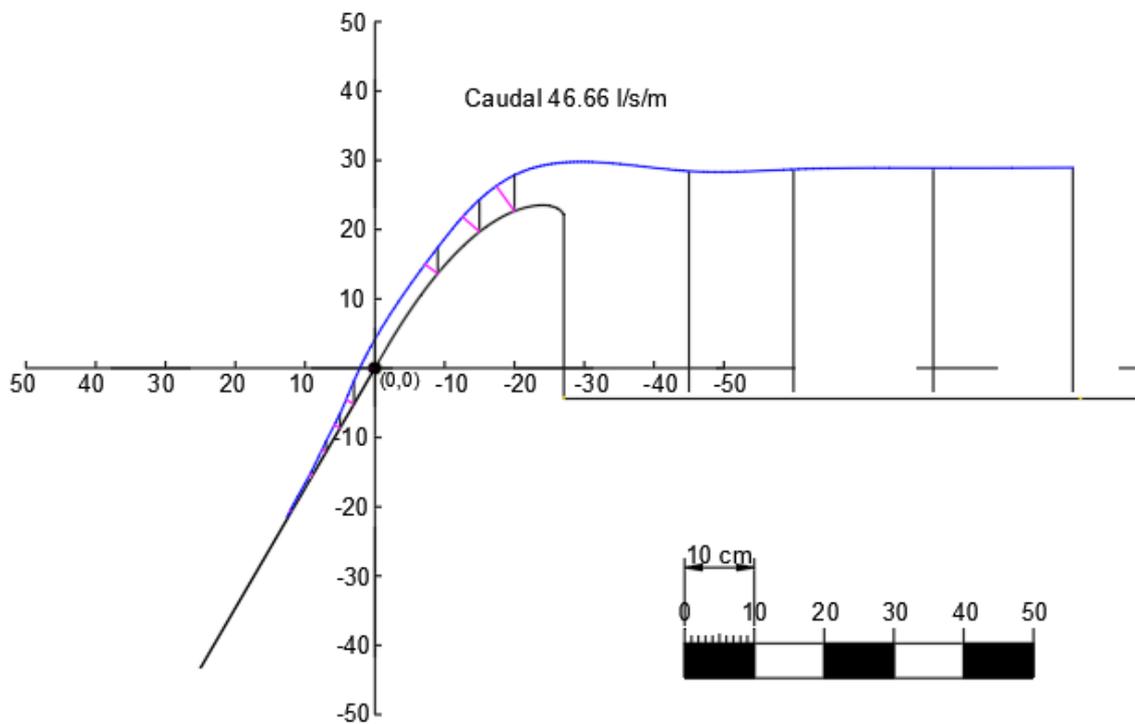


Figura A1-6. Perfil laminar del caudal 46.66 l/s/m para la reja H2

Tabla A1-9. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 51.10 l/s/m en la reja H2

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H2	60°	51.10	Sobre reja	0.18	0.30	1.86	0.30
				0.12	0.20	1.86	0.20
				0.09	0.16	2.21	0.14
				0.07	0.12	3.15	0.09
				0.05	0.08	3.14	0.05
				0.03	0.05	3.13	0.02
			Sobre plato de aceleración	-0.09	0.13	3.11	0.17
				-0.15	0.18	3.16	0.23
				-0.20	0.22	3.21	0.28
			Sobre canal	-0.45	0.05	3.16	0.30
				-0.60	0.04	3.15	0.31
				-0.80	0.04	3.16	0.31
-1.00	0.04	3.16		0.31			

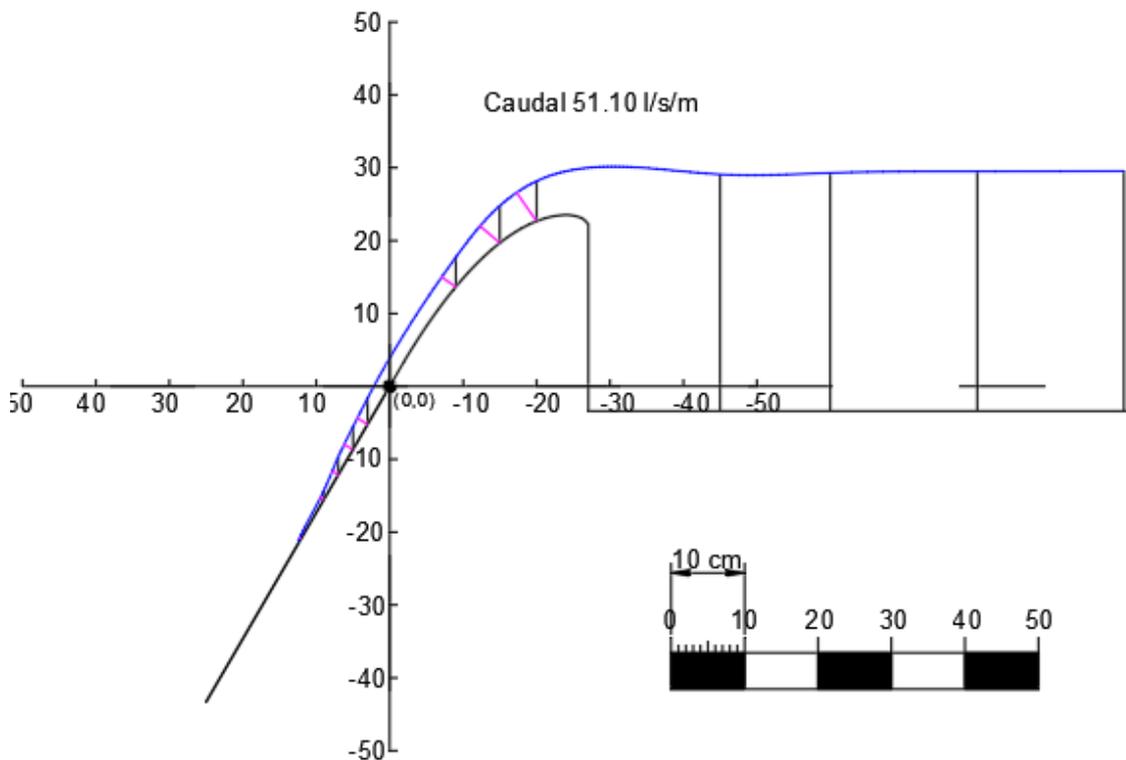


Figura A1-7. Perfil laminar del caudal 51.10 l/s/m para la reja H2

Tabla A1-10. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 57.22 l/s/m en la reja H2

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H2	60°	57.22	Sobre reja	0.14	0.24	1.86	0.23
				0.12	0.20	1.86	0.20
				0.09	0.15	3.16	0.14
				0.07	0.12	3.21	0.09
				0.05	0.08	3.21	0.05
				0.03	0.05	3.20	0.01
			Sobre plato de aceleración	-0.09	0.13	3.06	0.17
				-0.15	0.18	3.16	0.24
				-0.20	0.22	3.26	0.28
			Sobre canal	-0.45	0.05	3.20	0.31
				-0.60	0.04	3.20	0.31
				-0.80	0.04	3.20	0.31
				-1.00	0.04	3.20	0.31

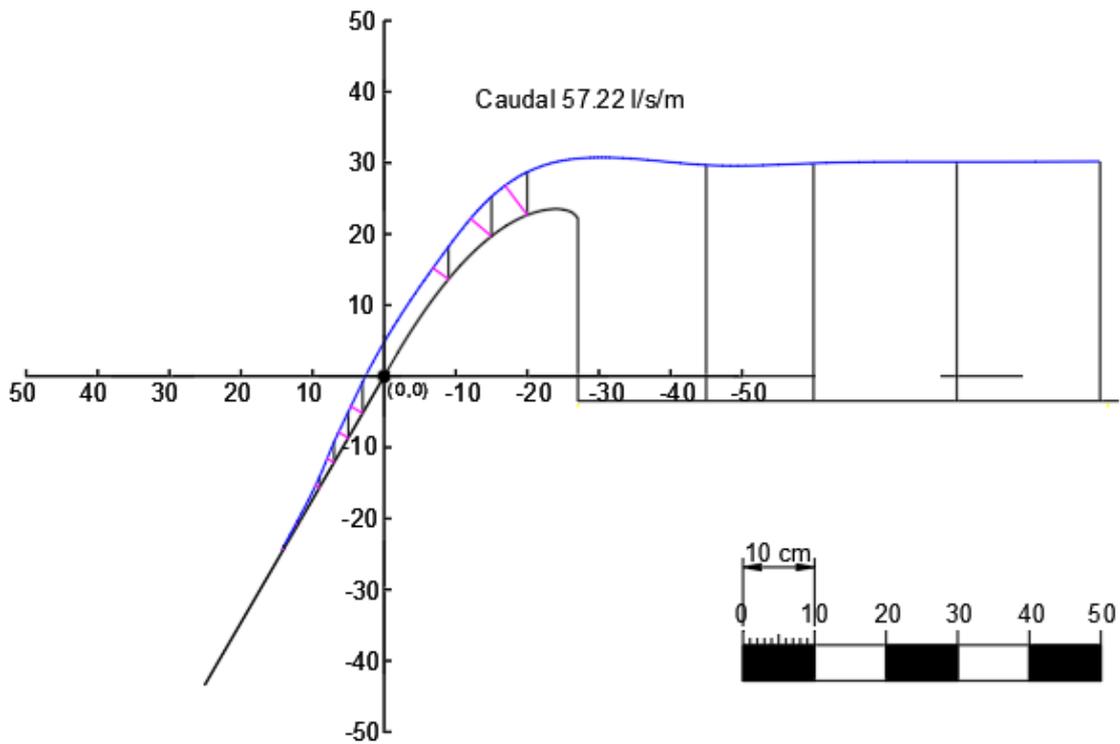


Figura A1-8. Perfil laminar del caudal 57.22 l/s/m para la reja H2

Tabla A1-11. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 63.88 l/s/m en la reja H2

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H2	60°	63.88	Sobre reja	0.14	0.24	1.86	0.23
				0.12	0.20	2.81	0.19
				0.09	0.15	3.28	0.13
				0.07	0.12	3.25	0.09
				0.05	0.08	3.23	0.04
				0.03	0.05	3.23	0.01
			Sobre plato de aceleración	-0.09	0.13	3.20	0.18
				-0.15	0.18	3.20	0.24
				-0.20	0.24	2.96	0.30
			Sobre canal	-0.45	0.05	3.26	0.32
				-0.60	0.04	3.26	0.32
				-0.80	0.04	3.26	0.32
				-1.00	0.04	3.26	0.32

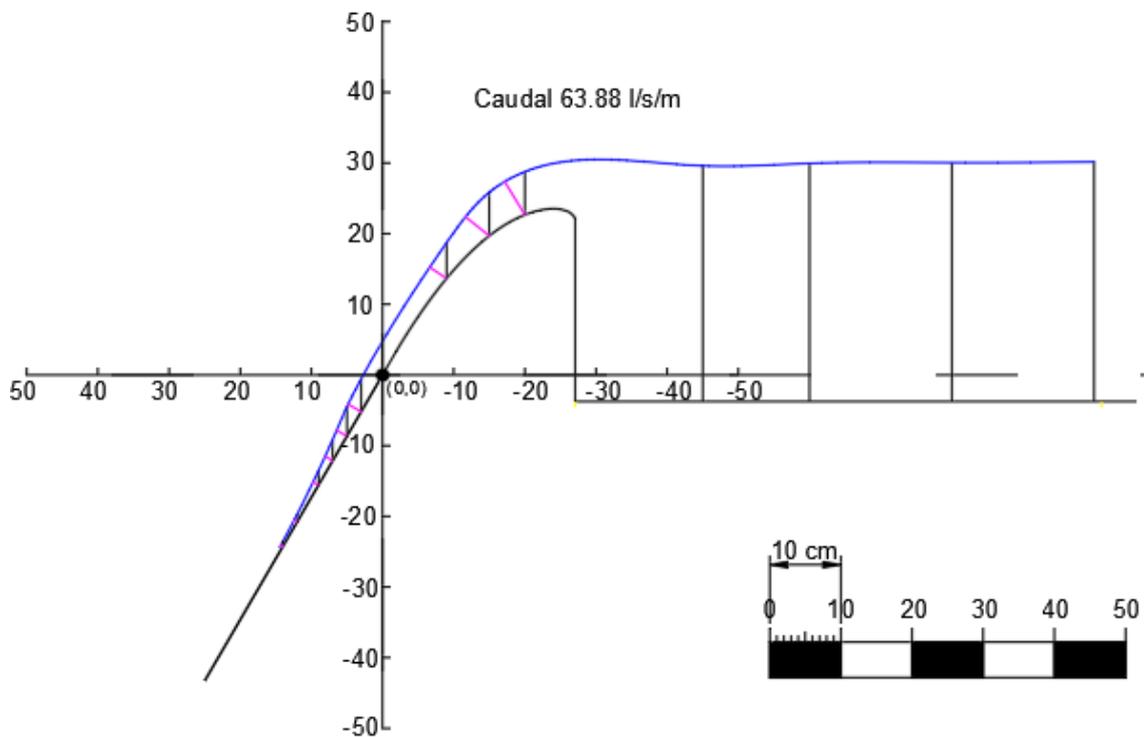


Figura A1-9. Perfil laminar del caudal 63.88 l/s/m para la reja H2

Tabla A1-12. Datos y cálculos del estudio de la reja H2

Rejas	Caudal entrante (l/s/m)	L (m)	Posición horizontal (m)	Tirante (m)	Calado (m)	Velocidad (m/s)	Energía (m)	Caudal circulante (m³/s)	Caudal derivado (m³/s)	m (ind.huecos)	Área total (m²)	Coefficiente de descarga (Cq)	
H2	36.10	-	0.03	0.02	0.01054	2.64	0.36	0.014	-	0.24	-	-	
		0.04	0.05	0.02	0.00795	2.76	0.39	0.011	0.003		0.02	0.22	
		0.04	0.07	0.01	0.00425	2.88	0.43	0.006	0.005		0.02	0.36	
		0.04	0.09	0.00	0.00218	3.00	0.46	0.003	0.003		0.02	0.20	
		0.06	0.12	0.00	0.00160	3.16	0.51	0.003	0.001		0.03	0.03	
	40	-	0.03	0.03	0.01273	2.65	0.36	0.017	-		-	-	-
		0.04	0.05	0.02	0.00834	2.77	0.40	0.012	0.005		0.02	0.41	
		0.04	0.07	0.01	0.00473	2.89	0.43	0.007	0.005		0.02	0.35	
		0.04	0.09	0.01	0.00354	3.01	0.46	0.005	0.002		0.02	0.11	
		0.06	0.12	0.00	0.00045	3.17	0.51	0.001	0.005		0.03	0.21	
	46.66	-	0.03	0.03	0.01299	2.67	0.37	0.017	-		-	-	-
		0.04	0.05	0.02	0.00922	2.79	0.40	0.013	0.004		0.02	0.34	
		0.04	0.07	0.02	0.00673	2.91	0.44	0.010	0.003		0.02	0.23	
		0.04	0.09	0.01	0.00392	3.03	0.47	0.006	0.004		0.02	0.27	
		0.06	0.12	0.01	0.00225	3.19	0.52	0.004	0.002		0.03	0.11	
	51.10	-	0.03	0.04	0.01627	2.68	0.37	0.022	-		-	-	-
		0.04	0.05	0.03	0.01389	2.80	0.41	0.019	0.002		0.02	0.18	
		0.04	0.07	0.02	0.00958	2.93	0.44	0.014	0.005		0.02	0.40	
		0.04	0.09	0.01	0.00524	3.04	0.47	0.008	0.006		0.02	0.42	
		0.06	0.12	0.01	0.00234	3.20	0.52	0.004	0.004		0.03	0.19	
	57.22	-	0.03	0.04	0.01894	2.71	0.38	0.026	-		-	-	-
		0.04	0.05	0.04	0.01576	2.83	0.42	0.022	0.003		0.02	0.25	
		0.04	0.07	0.03	0.01104	2.95	0.45	0.016	0.006		0.02	0.44	
		0.04	0.09	0.02	0.00620	3.06	0.48	0.009	0.007		0.02	0.47	
		0.06	0.12	0.01	0.00306	3.22	0.53	0.005	0.005		0.03	0.20	
	63.88	-	0.03	0.05	0.02110	2.72	0.39	0.029	-		-	-	-
		0.04	0.05	0.04	0.01669	2.84	0.42	0.024	0.005		0.02	0.37	
		0.04	0.07	0.03	0.01227	2.96	0.45	0.018	0.006		0.02	0.40	
		0.04	0.09	0.02	0.00875	3.07	0.48	0.013	0.005		0.02	0.33	
		0.06	0.12	0.01	0.00480	3.23	0.53	0.008	0.006		0.03	0.25	
		0.04	0.14	0.01	0.00329	3.33	0.57	0.005	0.002	0.02	0.15		

Reja H3

Tabla A1-13. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 40 l/s/m en la reja H3

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H3	60°	40	Sobre reja	0.12	0.20	1.86	0.20
				0.09	0.15	1.86	0.15
				0.07	0.12	1.86	0.11
				0.05	0.09	3.04	0.07
				0.03	0.05	3.05	0.03
			Sobre plato de aceleración	-0.06	0.09	2.93	0.12
				-0.12	0.15	2.99	0.18
				-0.20	0.22	3.06	0.26
			Sobre canal	-0.50	0.05	3.10	0.30
				-0.65	0.04	3.11	0.30
				-0.80	0.04	3.10	0.30
				-1.00	0.04	3.11	0.30

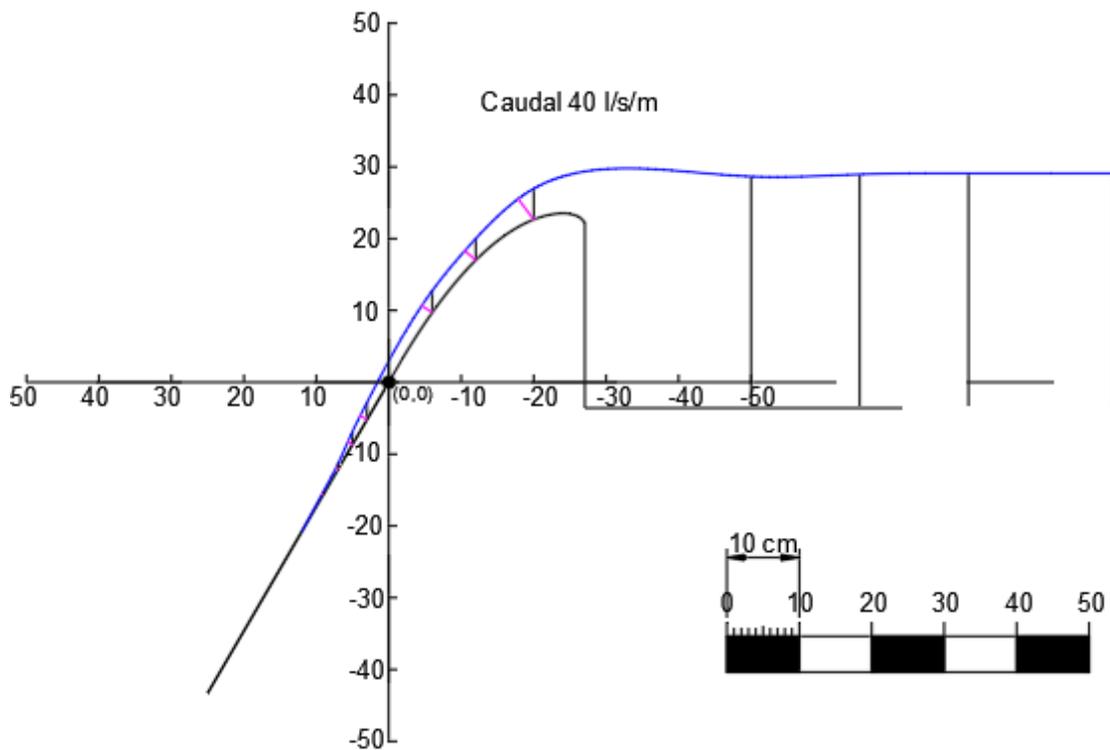


Figura A1-10. Perfil laminar del caudal 40 l/s/m para la reja H3

Tabla A1-14. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 44.44 l/s/m en la reja H3

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H3	60°	44.44	Sobre reja	0.12	0.20	1.86	0.20
				0.09	0.16	1.86	0.15
				0.07	0.12	3.11	0.11
				0.05	0.09	3.11	0.07
				0.03	0.05	3.09	0.02
			Sobre plato de aceleración	-0.06	0.09	2.96	0.12
				-0.12	0.15	3.03	0.19
				-0.20	0.22	3.10	0.26
			Sobre canal	-0.50	0.05	3.15	0.31
				-0.65	0.04	3.14	0.31
				-0.80	0.04	3.15	0.31
				-1.00	0.04	3.15	0.31

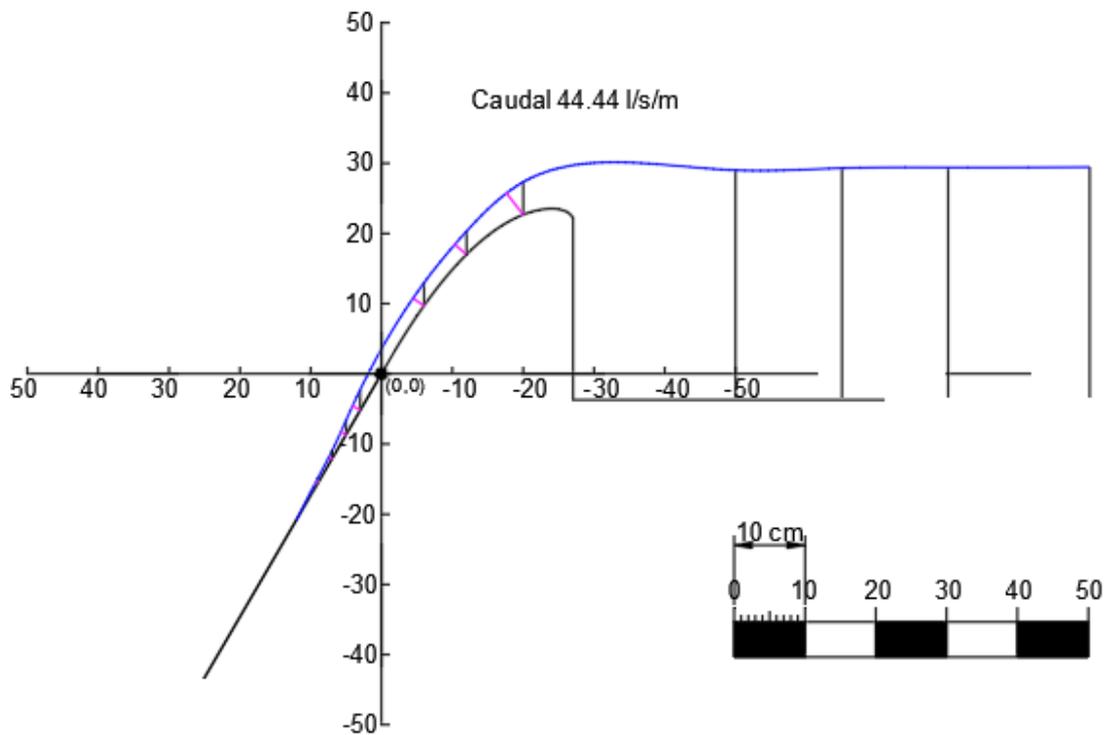


Figura A1-11. Perfil laminar del caudal 44.44 l/s/m para la reja H3

Tabla A1-15. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 51.10 l/s/m en la reja H3

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H3	60°	51.10	Sobre reja	0.12	0.20	1.86	0.20
				0.09	0.15	2.16	0.14
				0.07	0.12	3.15	0.10
				0.05	0.09	3.15	0.06
				0.03	0.05	3.15	0.02
			Sobre plato de aceleración	-0.06	0.09	1.86	0.12
				-0.12	0.15	1.86	0.19
				-0.20	0.22	1.86	0.27
			Sobre canal	-0.50	0.05	3.22	0.31
				-0.65	0.04	3.22	0.31
				-0.80	0.04	3.22	0.31
				-1.00	0.04	3.23	0.31

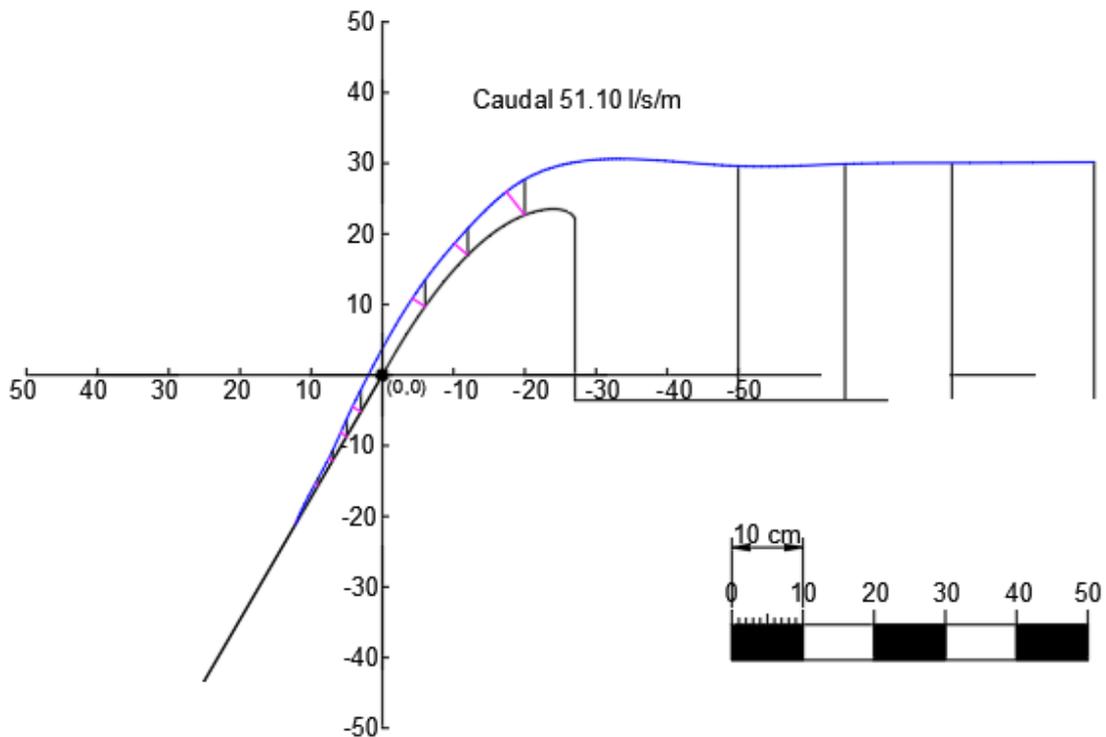


Figura A1-12. Perfil laminar del caudal 51.10 l/s/m para la reja H3

Tabla A1-16. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 57.22 l/s/m en la reja H3

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H3	60°	57.22	Sobre reja	0.12	0.20	1.86	0.20
				0.09	0.15	3.14	0.14
				0.07	0.12	3.31	0.10
				0.05	0.09	3.20	0.06
				0.03	0.05	3.20	0.02
			Sobre plato de aceleración	-0.06	0.09	3.01	0.13
				-0.12	0.15	3.10	0.20
				-0.20	0.22	3.20	0.27
			Sobre canal	-0.50	0.05	3.29	0.32
				-0.65	0.04	3.29	0.32
				-0.80	0.04	3.29	0.32
				-1.00	0.04	3.28	0.32

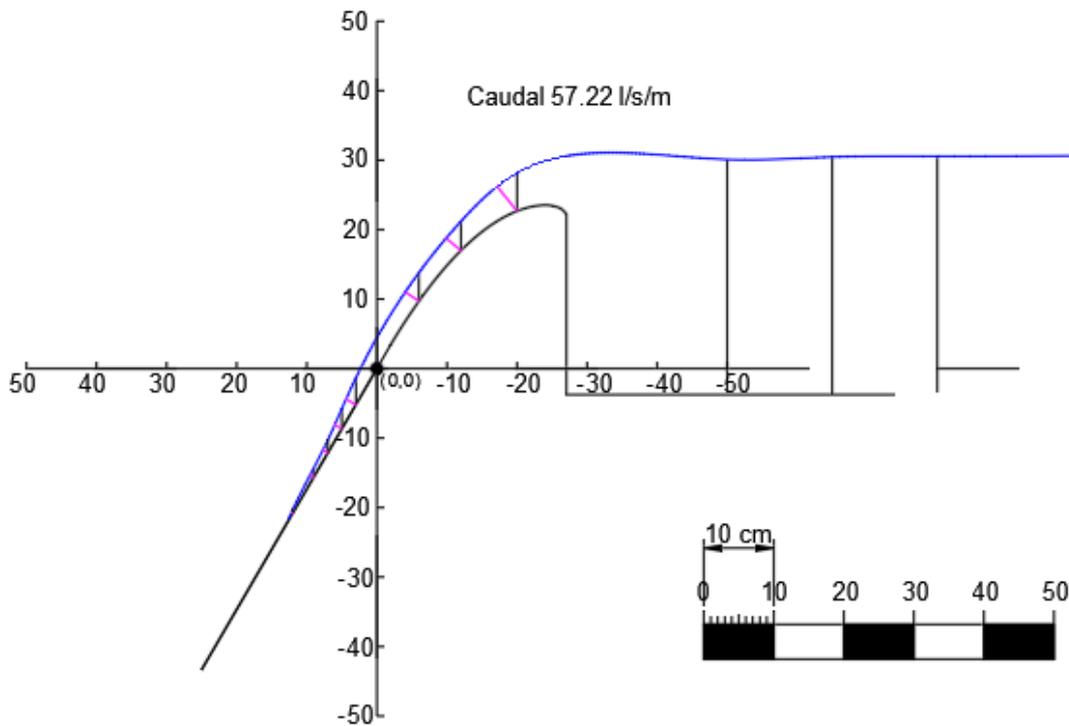


Figura A1-13. Perfil laminar del caudal 57.22 l/s/m para la reja H3

Tabla A1-17. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 63.34 l/s/m en la reja H3

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H3	60°	63.34	Sobre reja	0.14	0.24	1.96	0.23
				0.12	0.20	1.96	0.19
				0.09	0.15	3.23	0.14
				0.07	0.12	3.26	0.09
				0.05	0.08	3.26	0.05
				0.03	0.05	3.24	0.01
			Sobre plato de aceleración	-0.06	0.09	3.06	0.13
				-0.12	0.15	3.13	0.20
				-0.20	0.22	3.22	0.28
			Sobre canal	-0.50	0.05	3.22	0.32
				-0.65	0.04	3.34	0.32
				-0.80	0.04	3.34	0.32
				-1.00	0.04	3.34	0.32

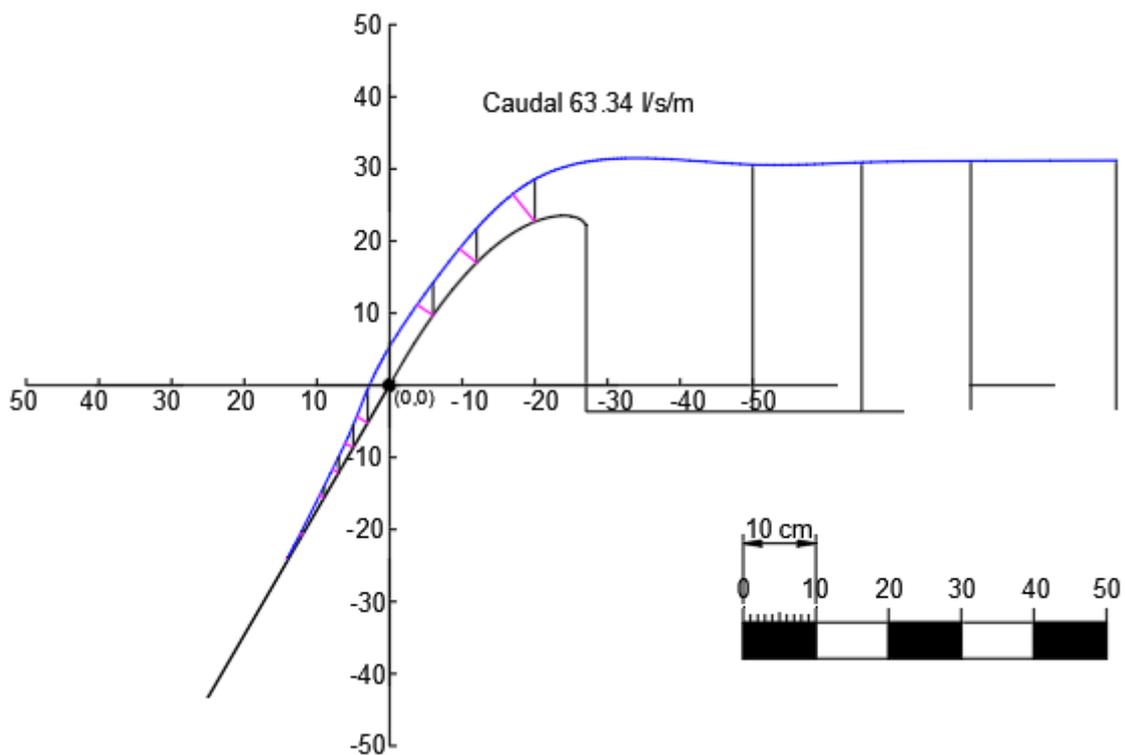


Figura A1-14. Perfil laminar del caudal 63.34 l/s/m para la reja H3

Tabla A1-18. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 67.22 l/s/m en la reja H3

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H3	60°	67.22	Sobre reja	0.14	0.24	1.96	0.23
				0.12	0.20	1.86	0.19
				0.09	0.15	3.28	0.13
				0.07	0.12	3.29	0.09
				0.05	0.08	3.28	0.05
				0.03	0.05	3.29	0.01
			Sobre plato de aceleración	-0.06	0.09	3.08	0.14
				-0.12	0.15	3.19	0.20
				-0.20	0.22	3.29	0.28
			Sobre canal	-0.50	0.05	3.41	0.33
				-0.65	0.04	3.40	0.33
				-0.80	0.04	3.40	0.33
				-1.00	0.04	3.38	0.33

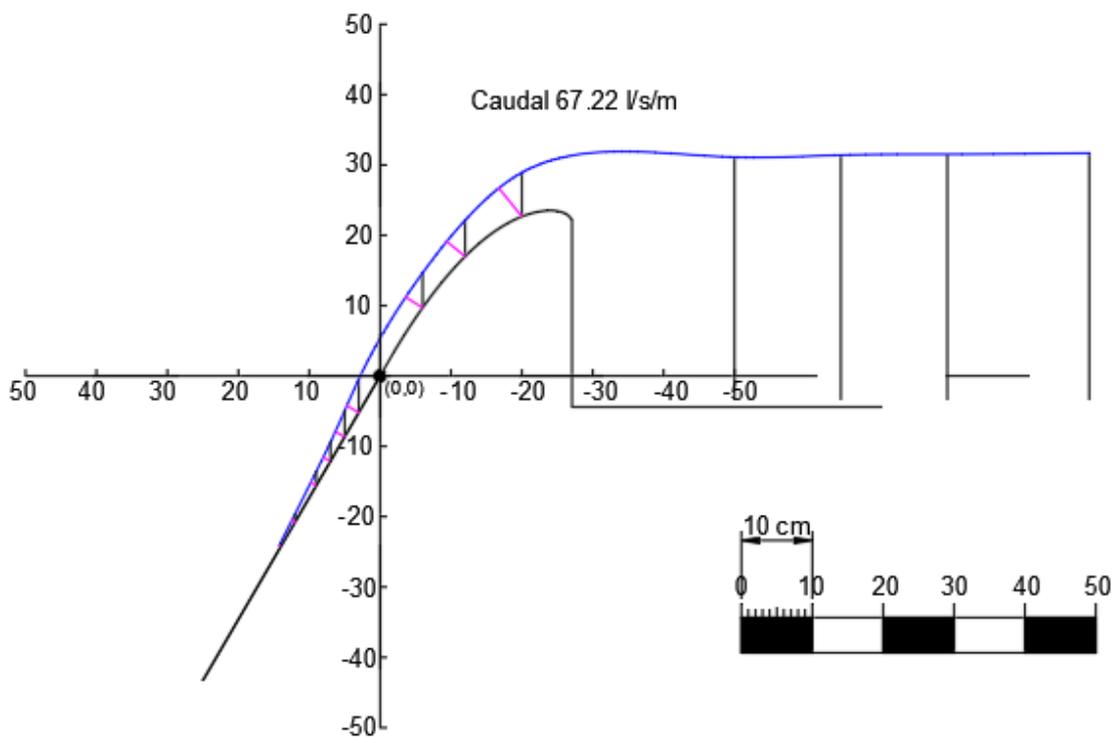


Figura A1-15. Perfil laminar del caudal 67.22 l/s/m para la reja H3

Tabla A1-19. Datos y cálculos del estudio de la reja H3

Rejas	Caudal entrante (l/s/m)	L (m)	Posición horizontal (m)	Tirante (m)	Calado (m)	Velocidad (m/s)	Energía (m)	Caudal circulante (m3/s)	Caudal derivado (m3/s)	m (ind.huecos)	Área total (m2)	Coficiente de descarga (Cq)	
H3	40	-	0.03	0.02	0.01084	2.65	0.36	0.014	-	0.484	-	-	
		0.04	0.05	0.02	0.00739	2.77	0.39	0.010	0.004		0.02	0.16	
		0.04	0.07	0.01	0.00350	2.89	0.43	0.005	0.005		0.02	0.19	
		0.04	0.09	0.00	0.00190	3.00	0.46	0.003	0.002		0.02	0.08	
		0.06	0.12	0.00	0.00000	3.17	0.51	0.000	0.003		0.03	0.06	
	44.44	-	0.03	0.03	0.01253	2.67	0.37	0.017	-		-	-	-
		0.04	0.05	0.02	0.00832	2.79	0.40	0.012	0.005		0.02	0.19	
		0.04	0.07	0.01	0.00491	2.91	0.43	0.007	0.004		0.02	0.16	
		0.04	0.09	0.01	0.00325	3.02	0.47	0.005	0.002		0.02	0.08	
		0.06	0.12	0.00	0.00000	3.19	0.52	0.000	0.005		0.03	0.11	
	51.10	-	0.03	0.03	0.01392	2.68	0.37	0.019	-		-	-	-
		0.04	0.05	0.02	0.00988	2.81	0.41	0.014	0.005		0.02	0.18	
		0.04	0.07	0.01	0.00618	2.93	0.44	0.009	0.005		0.02	0.17	
		0.04	0.09	0.01	0.00477	3.04	0.47	0.007	0.002		0.02	0.06	
		0.06	0.12	0.00	0.00077	3.20	0.52	0.001	0.006		0.03	0.13	
	57.22	-	0.03	0.04	0.01613	2.70	0.38	0.022	-		-	-	-
		0.04	0.05	0.03	0.01164	2.82	0.41	0.016	0.005		0.02	0.20	
		0.04	0.07	0.02	0.00806	2.94	0.45	0.012	0.005		0.02	0.16	
		0.04	0.09	0.01	0.00595	3.04	0.47	0.009	0.003		0.02	0.10	
		0.06	0.12	0.01	0.00212	3.20	0.52	0.003	0.006		0.03	0.12	
	63.34	-	0.03	0.05	0.01736	2.72	0.38	0.024	-		-	-	-
		0.04	0.05	0.03	0.01264	2.84	0.42	0.018	0.006		0.02	0.21	
		0.04	0.07	0.02	0.00970	2.96	0.45	0.014	0.004		0.02	0.13	
		0.04	0.09	0.02	0.00707	3.07	0.48	0.011	0.004		0.02	0.12	
		0.06	0.12	0.01	0.00344	3.23	0.53	0.006	0.005		0.03	0.12	
		0.04	0.14	0.00	0.00187	3.33	0.57	0.003	0.002		0.02	0.08	
	67.22	-	0.03	0.05	0.01941	2.73	0.39	0.027	-		-	-	-
		0.04	0.05	0.04	0.01507	2.85	0.42	0.021	0.005		0.02	0.18	
		0.04	0.07	0.03	0.01160	2.97	0.46	0.017	0.004		0.02	0.15	
		0.04	0.09	0.02	0.00886	3.08	0.49	0.014	0.004		0.02	0.12	
0.06		0.12	0.01	0.00514	3.24	0.54	0.008	0.005	0.03	0.12			
	0.04	0.14	0.01	0.00269	3.35	0.57	0.005	0.004	0.02	0.12			

Reja H4

Tabla A1-20. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 45.56 l/s/m en la reja H4

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H4	60°	45.56	Sobre reja	0.12	0.20	1.86	0.20
				0.09	0.15	2.91	0.14
				0.07	0.12	3.10	0.10
				0.05	0.09	3.08	0.06
				0.03	0.05	3.09	0.02
			Sobre plato de aceleración	-0.06	0.08	3.00	0.12
				-0.12	0.15	3.08	0.18
				-0.20	0.22	3.17	0.26
			Sobre canal	-0.50	0.05	3.17	0.31
				-0.70	0.04	3.18	0.31
				-0.80	0.04	3.17	0.31
				-1.00	0.04	3.18	0.31

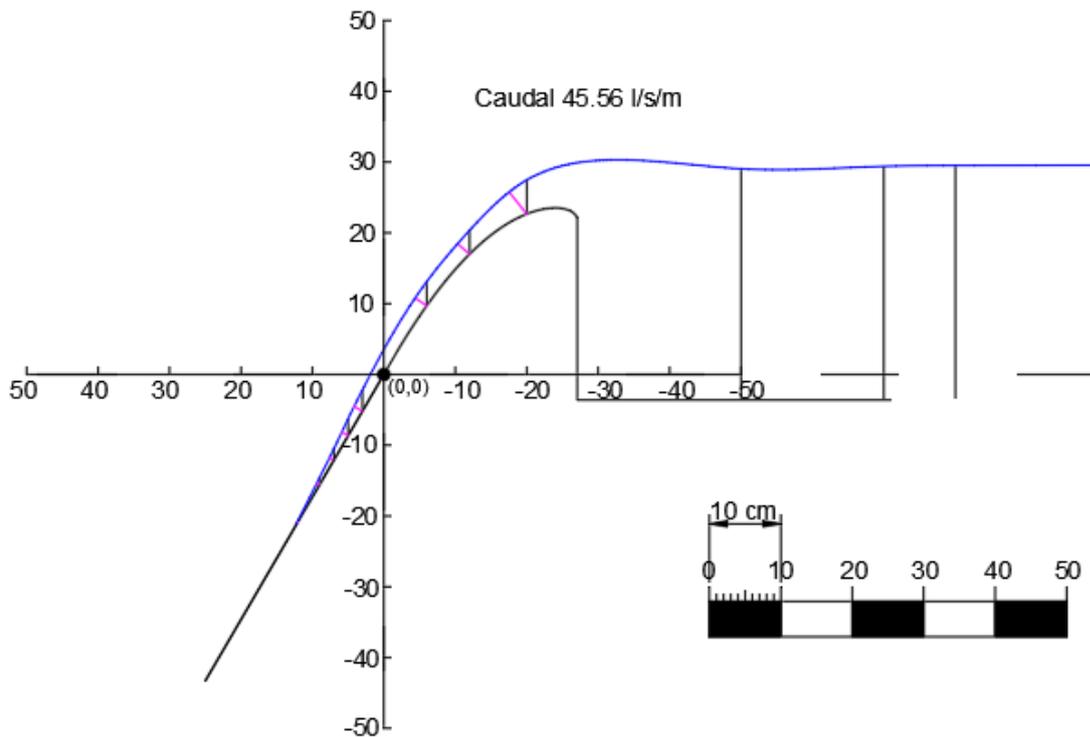


Figura A1-16. Perfil laminar del caudal 45.56 l/s/m para la reja H4

Tabla A1-21. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 50 l/s/m en la reja H4

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H4	60°	50	Sobre reja	0.14	0.24	1.96	0.24
				0.12	0.20	1.86	0.20
				0.09	0.15	3.11	0.14
				0.07	0.12	3.13	0.10
				0.05	0.09	3.13	0.06
				0.03	0.05	3.14	0.02
			Sobre plato de aceleración	-0.06	0.08	3.01	0.12
				-0.12	0.15	3.10	0.19
				-0.20	0.22	3.20	0.27
			Sobre canal	-0.50	0.05	3.21	0.31
				-0.70	0.04	3.21	0.31
				-0.80	0.04	3.21	0.31
-1.00	0.04	3.21		0.31			

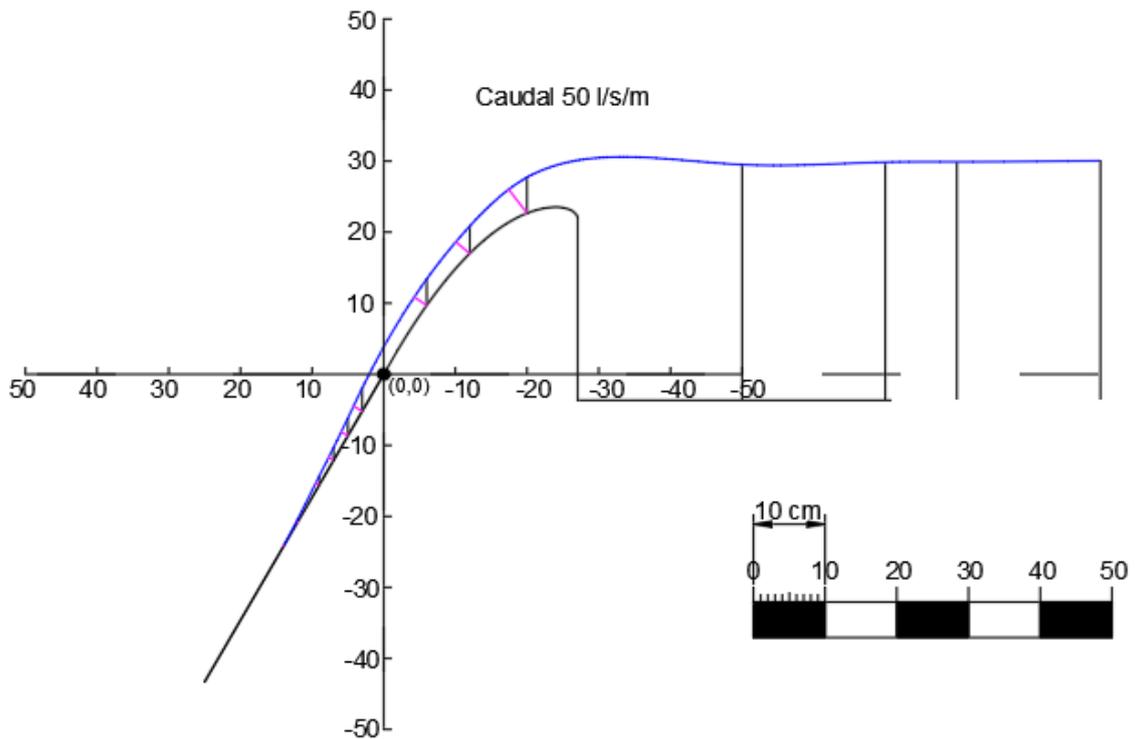


Figura A1-17. Perfil laminar del caudal 50 l/s/m para la reja H4

Tabla A1-22. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 55.56 l/s/m en la reja H4

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H4	60°	55.56	Sobre reja	0.14	0.24	1.86	0.24
				0.13	0.22	1.86	0.21
				0.12	0.20	1.86	0.20
				0.09	0.15	3.19	0.14
				0.07	0.12	3.19	0.10
				0.05	0.09	3.19	0.06
				0.03	0.05	3.19	0.02
			Sobre plato de aceleración	-0.06	0.08	3.02	0.12
				-0.12	0.15	3.13	0.19
				-0.20	0.22	3.21	0.27
			Sobre canal	-0.50	0.05	3.26	0.32
				-0.70	0.04	3.26	0.32
				-0.80	0.04	3.26	0.32
				-1.00	0.04	3.27	0.32

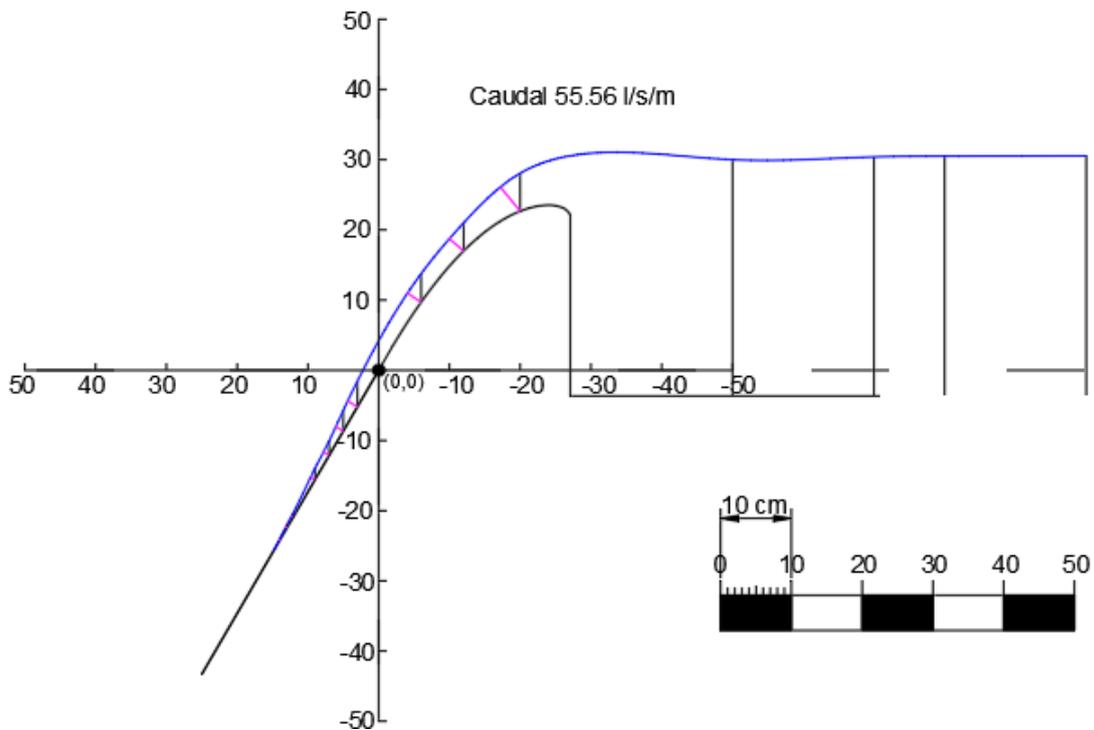


Figura A1-18. Perfil laminar del caudal 55.56 l/s/m para la reja H4

Tabla A1-23. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 61.12 l/s/m en la reja H4

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H4	60°	61.12	Sobre reja	0.15	0.26	1.86	0.25
				0.14	0.24	1.86	0.24
				0.12	0.20	2.91	0.20
				0.09	0.15	3.21	0.13
				0.07	0.12	3.21	0.10
				0.05	0.09	3.21	0.05
				0.03	0.05	3.22	0.01
			Sobre plato de aceleración	-0.06	0.08	3.04	0.13
				-0.12	0.15	3.17	0.20
				-0.20	0.22	3.25	0.27
			Sobre canal	-0.50	0.05	3.31	0.32
				-0.70	0.04	3.31	0.32
				-0.80	0.04	3.31	0.32
-1.00	0.04	3.31		0.32			

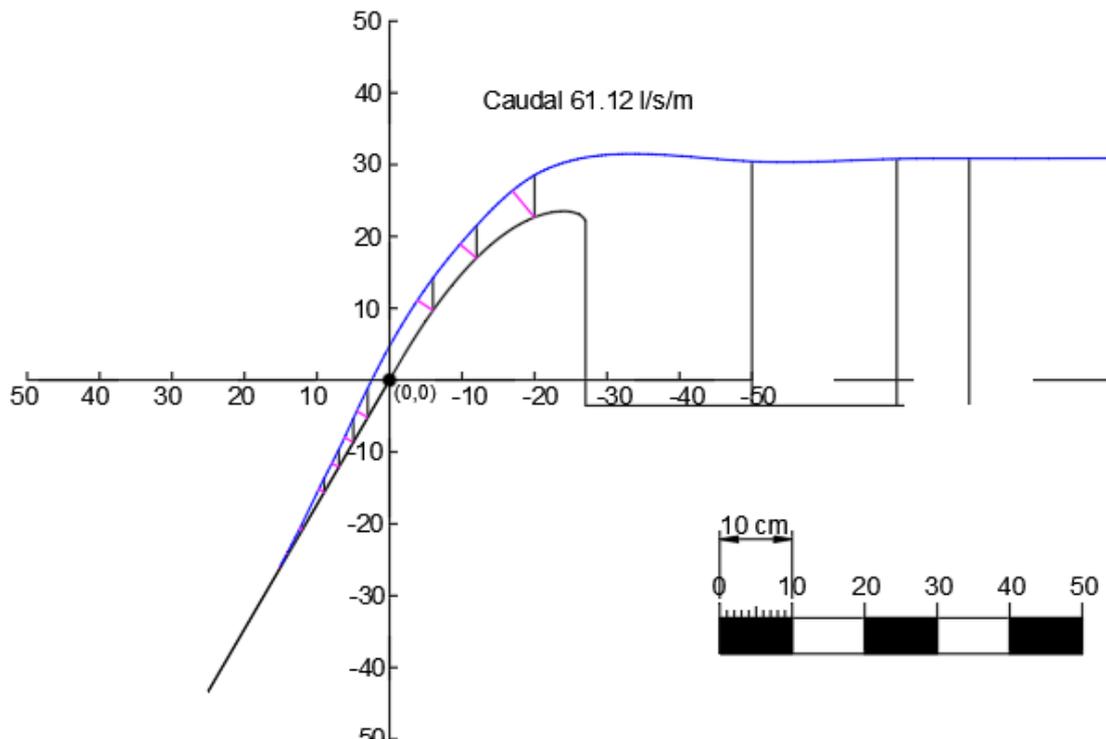


Figura A1-19. Perfil laminar del caudal 61.12 l/s/m para la reja H4

Tabla A1-24. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 66.66 l/s/m en la reja H4

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H4	60°	66.66	Sobre reja	0.17	0.29	1.86	0.29
				0.16	0.27	1.86	0.27
				0.14	0.24	1.86	0.23
				0.12	0.20	3.26	0.19
				0.09	0.16	3.23	0.14
				0.07	0.12	3.27	0.09
				0.05	0.09	3.28	0.05
			0.03	0.05	3.27	0.01	
			Sobre plato de aceleración	-0.06	0.08	3.06	0.13
				-0.12	0.15	3.20	0.20
				-0.20	0.22	3.28	0.28
			Sobre canal	-0.50	0.05	3.36	0.33
				-0.70	0.04	3.36	0.33
-0.80	0.04	3.36		0.33			
-1.00	0.04	3.37		0.33			

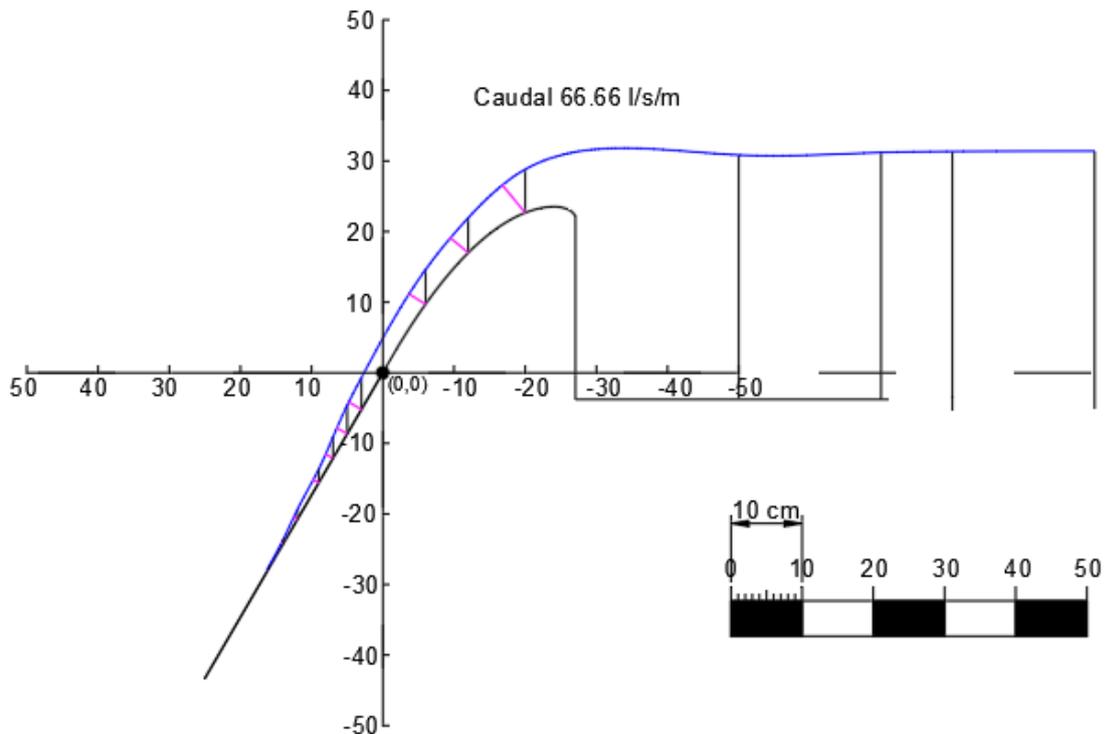


Figura A1-20. Perfil laminar del caudal 66.66 l/s/m para la reja H4

Tabla A1-25. Datos recogidos en laboratorio para el caudal 72.22 l/s/m en la reja H4

Reja	Ángulo	Caudal (l/s/m)	Zona	Posición horizontal (m)	Fondo (m)	Energía (m)	Lámina superficial (m)
H4	60°	72.22	Sobre reja	0.19	0.32	1.86	0.32
				0.17	0.29	1.86	0.29
				0.14	0.24	2.81	0.23
				0.12	0.20	3.31	0.19
				0.09	0.16	3.31	0.13
				0.07	0.12	3.33	0.08
				0.05	0.09	3.33	0.04
				0.03	0.05	3.33	0.01
			Sobre plato de aceleración	-0.06	0.08	3.11	0.14
				-0.12	0.15	3.23	0.21
				-0.20	0.22	3.41	0.28
			Sobre canal	-0.50	0.05	3.41	0.33
				-0.70	0.04	3.41	0.33
-0.80	0.04	3.41		0.33			
-1.00	0.04	3.40		0.33			

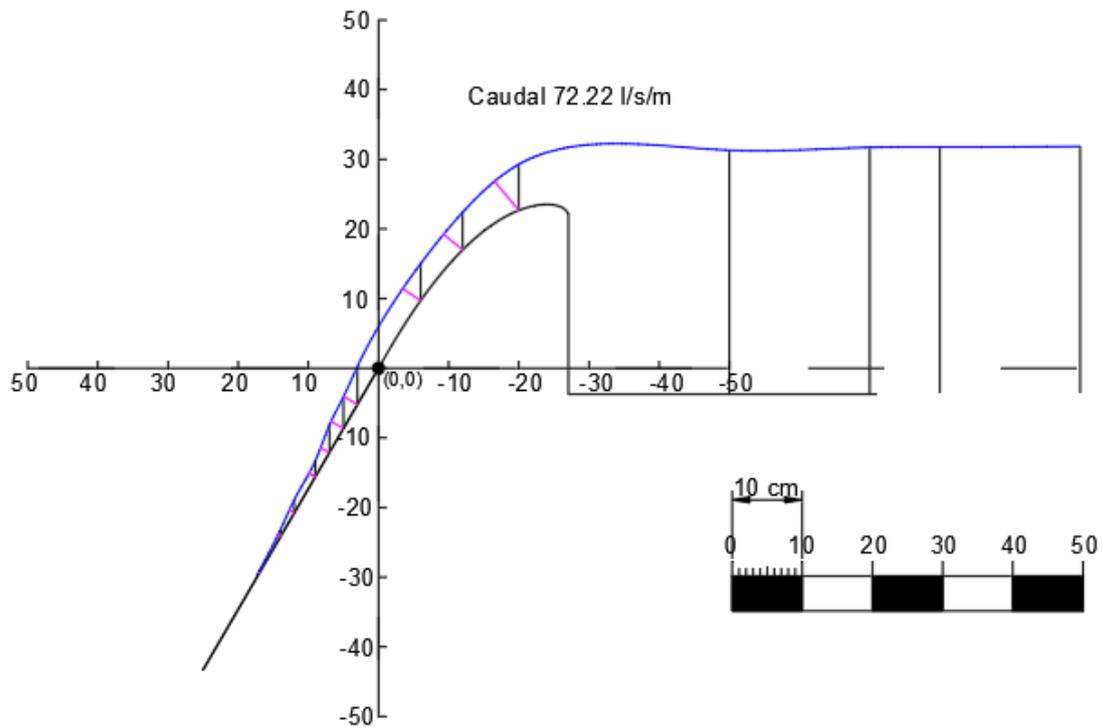


Figura A1-21. Perfil laminar del caudal 72.22 l/s/m para la reja H4

Tabla A1- 26. Datos y cálculos del estudio de la reja H4

Rejas	Caudal entrante (l/s/m)	L (m)	Posición horizontal (m)	Tirante (m)	Calado (m)	Velocidad (m/s)	Energía (m)	Caudal circulante (m³/s)	Caudal derivado (m³/s)	m (ind.huecos)	Area total (m²)	Coefficiente de descarga (Cq)	
H4	45.56	-	0.03	0.03	0.01341	2.66	0.37	0.018	-	0.294	-	-	
		0.04	0.05	0.02	0.01023	2.78	0.40	0.014	0.004		0.02	0.22	
		0.04	0.07	0.02	0.00699	2.91	0.43	0.010	0.004		0.02	0.24	
		0.04	0.09	0.01	0.00446	2.99	0.46	0.007	0.003		0.02	0.20	
		0.06	0.12	0.00	0.00091	3.16	0.51	0.001	0.005		0.03	0.19	
	50	-	0.03	0.03	0.01404	2.68	0.37	0.019	-		-	-	-
		0.04	0.05	0.03	0.01076	2.80	0.40	0.015	0.004		0.02	0.23	
		0.04	0.07	0.02	0.00801	2.92	0.44	0.012	0.003		0.02	0.20	
		0.04	0.09	0.01	0.00556	3.03	0.47	0.008	0.003		0.02	0.19	
		0.06	0.12	0.00	0.00182	3.19	0.52	0.003	0.006		0.03	0.20	
	55.56	-	0.03	0.04	0.01602	2.70	0.38	0.022	-		-	-	-
		0.04	0.05	0.03	0.01218	2.82	0.41	0.017	0.004		0.02	0.27	
		0.04	0.07	0.02	0.00926	2.94	0.44	0.014	0.004		0.02	0.21	
		0.04	0.09	0.02	0.00704	3.05	0.48	0.011	0.003		0.02	0.16	
		0.06	0.12	0.01	0.00280	3.22	0.53	0.005	0.006		0.03	0.23	
	61.12	-	0.03	0.00	0.00207	3.27	0.55	0.003	0.001		0.01	0.12	
		0.02	0.14	0.00	0.00090	3.32	0.56	0.001	0.002		0.01	0.20	
		-	0.03	0.04	0.01757	2.71	0.38	0.024	-		-	-	
		0.04	0.05	0.03	0.01377	2.83	0.41	0.019	0.004		0.02	0.26	
		0.04	0.07	0.02	0.01100	2.95	0.45	0.016	0.003		0.02	0.19	
	66.66	0.04	0.09	0.02	0.00860	3.06	0.48	0.013	0.003		0.02	0.17	
		0.06	0.12	0.01	0.00396	3.22	0.53	0.006	0.007		0.03	0.24	
		0.04	0.14	0.00	0.00186	3.32	0.56	0.003	0.003		0.02	0.17	
		0.02	0.15	0.00	0.00116	3.37	0.58	0.002	0.001		0.01	0.11	
		-	0.03	0.05	0.02061	2.73	0.39	0.028	-		-	-	
	72.22	0.04	0.05	0.04	0.01671	2.85	0.42	0.024	0.004		0.02	0.26	
		0.04	0.07	0.03	0.01188	2.97	0.45	0.018	0.006		0.02	0.36	
		0.04	0.09	0.02	0.00887	3.08	0.49	0.014	0.004		0.02	0.22	
		0.06	0.12	0.01	0.00605	3.24	0.54	0.010	0.004		0.03	0.14	
		0.04	0.14	0.01	0.00267	3.34	0.57	0.004	0.005		0.02	0.28	
72.22	0.04	0.16	0.00	0.00147	3.44	0.60	0.003	0.002	0.02	0.10			
	-	0.03	0.05	0.02279	2.75	0.40	0.031	-	-	-			
	0.04	0.05	0.05	0.02035	2.87	0.43	0.029	0.002	0.02	0.13			
	0.04	0.07	0.04	0.01431	2.99	0.46	0.021	0.008	0.02	0.45			
	0.04	0.09	0.02	0.01032	3.09	0.49	0.016	0.005	0.02	0.30			
72.22	0.06	0.12	0.02	0.00824	3.25	0.54	0.013	0.003	0.03	0.09			
	0.04	0.14	0.01	0.00427	3.35	0.58	0.007	0.006	0.02	0.32			
	0.06	0.17	0.00	0.00165	3.50	0.63	0.003	0.004	0.03	0.14			

Reja Noche y Día

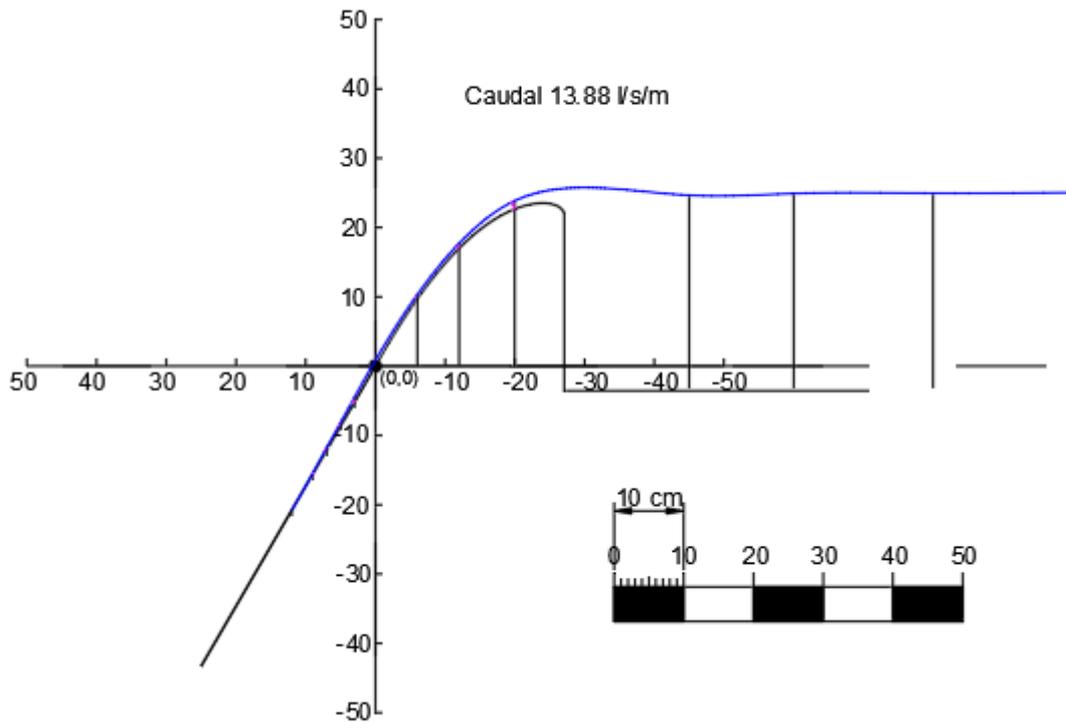


Figura A1-22. Perfil laminar del caudal 13.88 l/s/m para la reja NyD

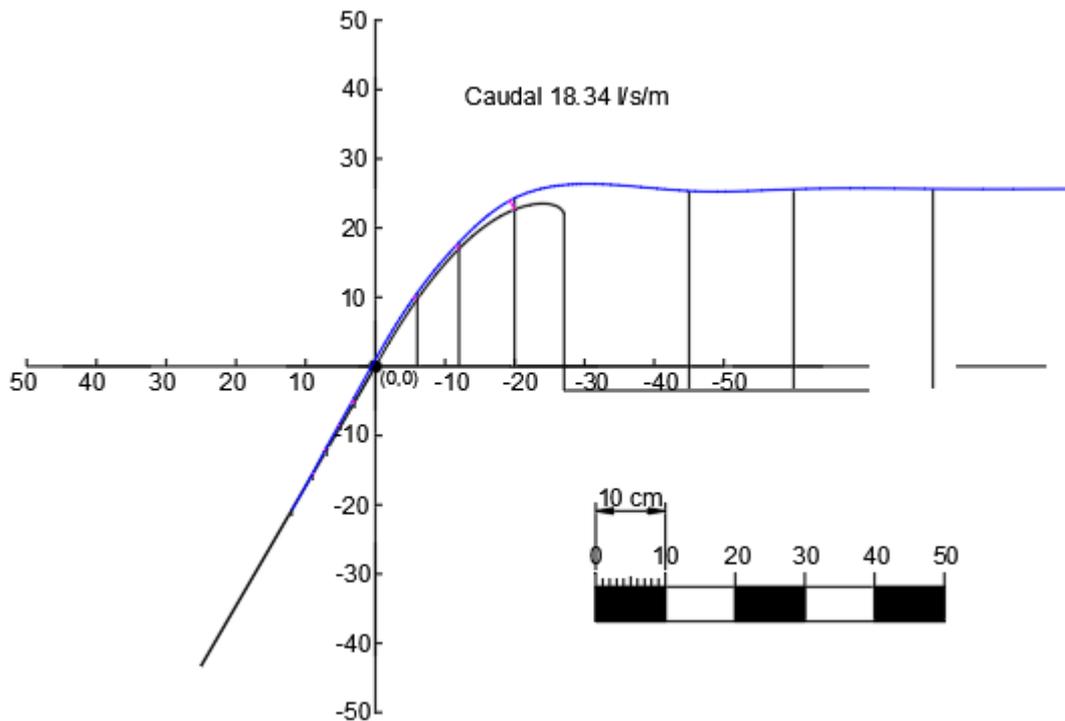


Figura A1-23. Perfil laminar del caudal 18.34 l/s/m para la reja NyD

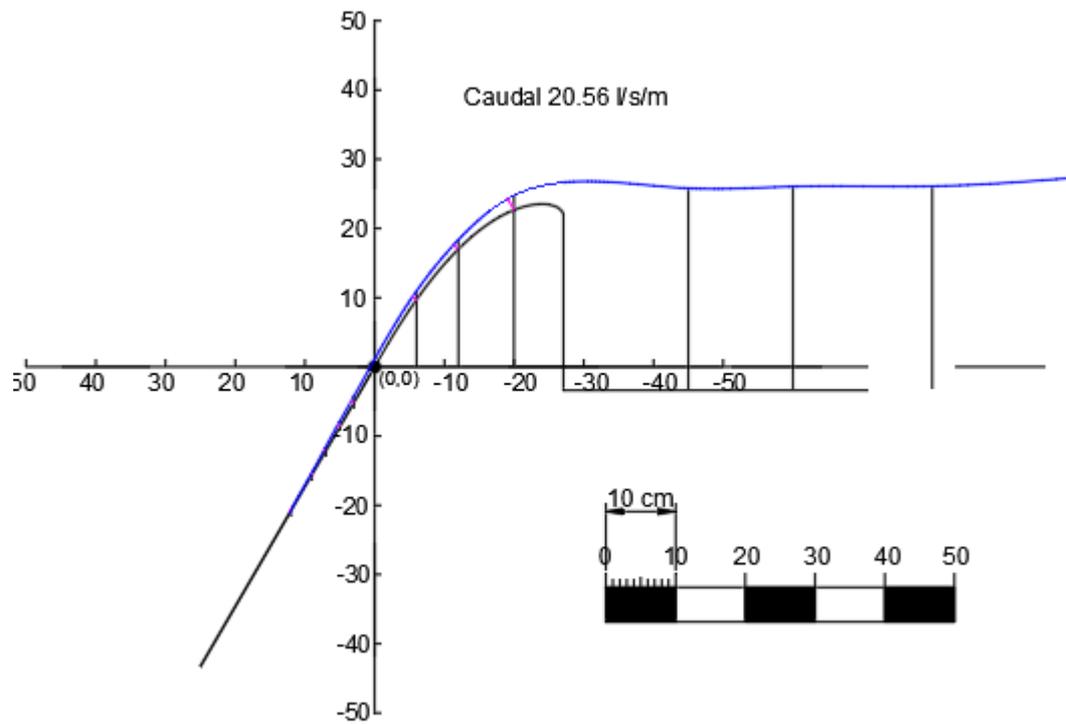


Figura A1-24. Perfil laminar del caudal 20.56 l/s/m para la reja NyD

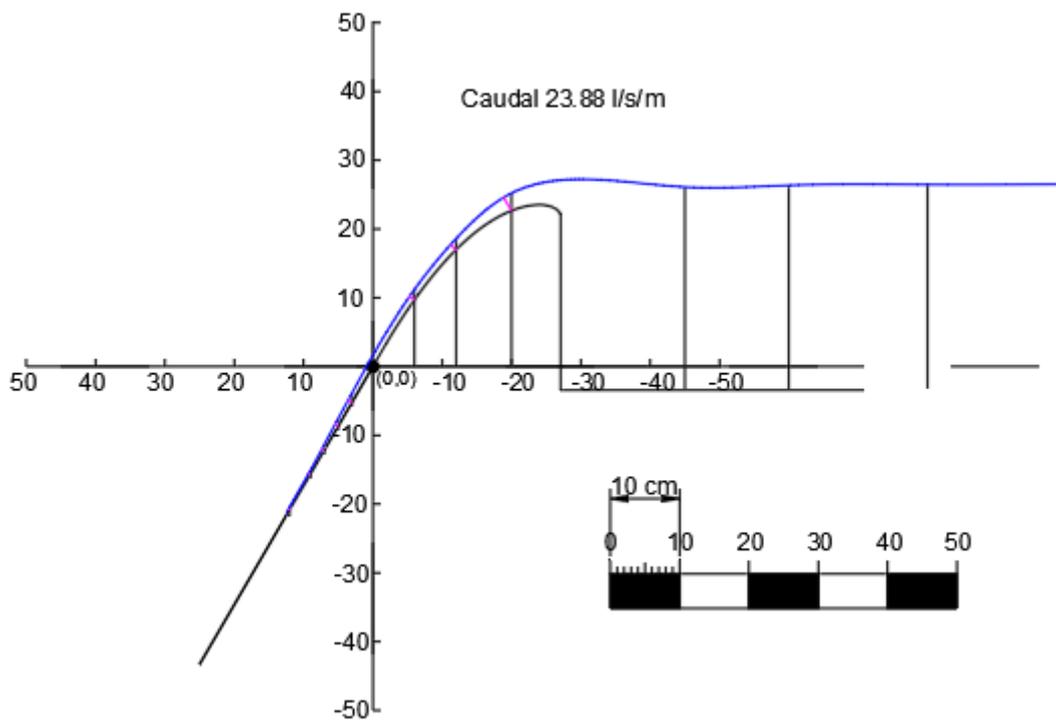


Figura A1-25. Perfil laminar del caudal 23.88 l/s/m para la reja NyD

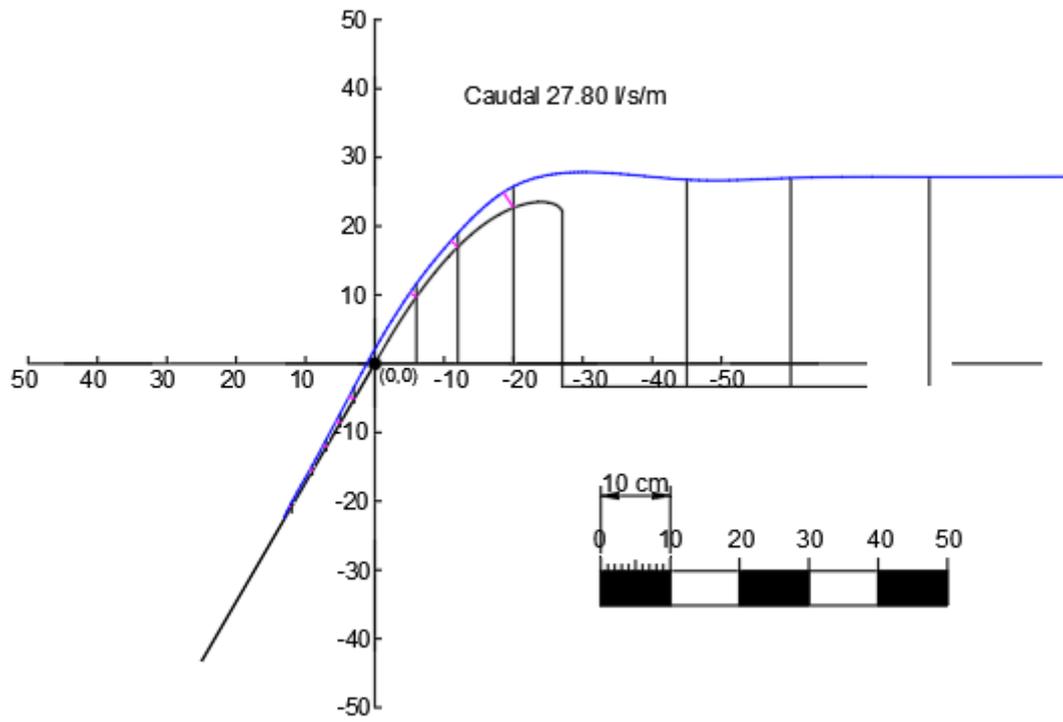


Figura A1-26. Perfil laminar del caudal 27.80 l/s/m para la reja NyD

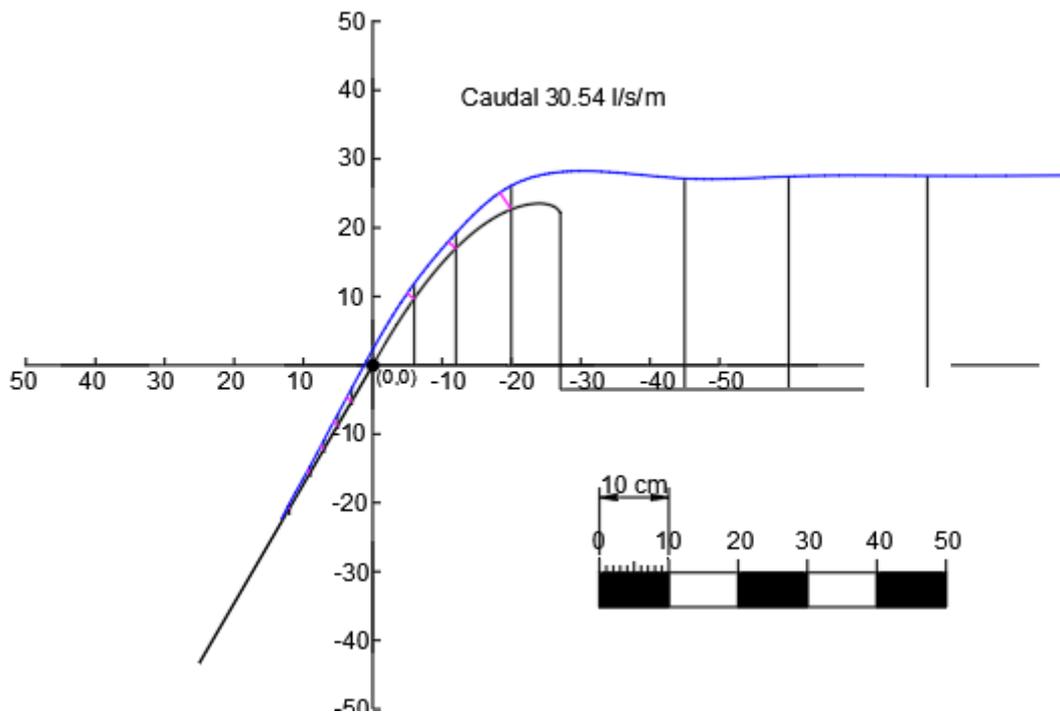


Figura A1-27. Perfil laminar del caudal 30.54 l/s/m para la reja NyD

Tabla A1-27. Datos y cálculos del estudio de la reja NyD

Rejas	Caudal entrante (l/s/m)	L (m)	Posición horizontal (m)	Tirante (m)	Calado (m)	Velocidad (m/s)	Energía (m)	Caudal circulante (m3/s)	Caudal derivado (m3/s)	m (ind.huecos)	Área total (m2)	Coefficiente de descarga (Cq)	
NyD	13.88	-	0.03	0.007	0.00335	2.53	0.33	0.004	-	0.4	-	-	
		0.04	0.05	0.005	0.00242	2.31	0.27	0.003	0.001		0.02	0.07	
		0.04	0.07	0.004	0.00167	2.46	0.31	0.002	0.001		0.02	0.04	
		0.04	0.09	0.001	0.00048	2.59	0.34	0.001	0.001		0.02	0.07	
		0.06	0.12	0.000	0.00000	2.78	0.39	0.000	0.001		0.02	0.02	
	18.34	-	0.03	0.008	0.00361	2.54	0.33	0.005	-		-	-	-
		0.04	0.05	0.006	0.00293	2.58	0.34	0.004	0.001		0.02	0.04	
		0.04	0.07	0.005	0.00212	2.46	0.31	0.003	0.001		0.02	0.06	
		0.04	0.09	0.001	0.00047	2.59	0.34	0.001	0.002		0.02	0.10	
		0.06	0.12	0.000	0.00000	2.78	0.39	0.000	0.001		0.02	0.02	
	20.56	-	0.03	0.009	0.00440	2.56	0.34	0.006	-		-	-	-
		0.04	0.05	0.008	0.00389	2.69	0.37	0.005	0.000		0.02	0.02	
		0.04	0.07	0.006	0.00281	2.46	0.31	0.003	0.002		0.02	0.09	
		0.04	0.09	0.003	0.00145	2.59	0.34	0.002	0.002		0.02	0.08	
		0.06	0.12	0.001	0.00046	2.78	0.39	0.001	0.001		0.02	0.04	
	23.88	-	0.03	0.013	0.00642	2.58	0.34	0.008	-		-	-	-
		0.04	0.05	0.011	0.00519	2.70	0.38	0.007	0.001		0.02	0.06	
		0.04	0.07	0.008	0.00372	2.79	0.40	0.005	0.002		0.02	0.08	
		0.04	0.09	0.005	0.00242	2.59	0.34	0.003	0.002		0.02	0.10	
		0.06	0.12	0.004	0.00165	2.78	0.39	0.002	0.001		0.02	0.03	
	27.8	-	0.03	0.018	0.00813	2.59	0.35	0.011	-		-	-	-
		0.04	0.05	0.014	0.00657	2.72	0.38	0.009	0.002		0.02	0.08	
		0.04	0.07	0.011	0.00512	2.83	0.41	0.007	0.002		0.02	0.08	
		0.04	0.09	0.008	0.00388	2.90	0.43	0.006	0.002		0.02	0.07	
		0.06	0.12	0.006	0.00275	2.98	0.46	0.004	0.002		0.02	0.04	
	30.54	-	0.03	0.019	0.00891	2.61	0.35	0.012	-		-	-	-
		0.04	0.05	0.016	0.00754	2.74	0.39	0.010	0.001		0.02	0.06	
		0.04	0.07	0.013	0.00601	2.86	0.42	0.009	0.002		0.02	0.08	
0.04		0.09	0.009	0.00455	2.96	0.45	0.007	0.002	0.02	0.08			
0.06		0.12	0.007	0.00324	3.13	0.50	0.005	0.002	0.02	0.05			