CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL Y SIMULACIÓN NUMÉRICA DE PROCESOS TRIDIMENSIONALES DE ALTA TURBULENCIA EN CAPAS DE MEZCLA: RESALTO SUMERGIDO

Tesis doctoral presentada por

MARIANO DE DIOS

ante la

Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata para acceder al grado académico de

DOCTOR EN INGENIERÍA

Dirección de Tesis:

Raúl Antonio Lopardo, Fabián Alejandro Bombardelli y Sergio Oscar Liscia.

La Plata, mayo 2021

A mi familia,

en memoria de mi papá «Lito» (1947 - 2020)

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis es el fruto del apoyo y la colaboración de una serie de personas e intituciones que a continuación voy a mencionar, y a las que quiero expresar mi más sincero agradecimiento.

Gracias Rául por tus consejos y enseñanazas. Me transmitiste toda tu pasión por la Ingeniería Hidráulica desde que fuiste mi Profesor en Hidráulica I, en la que comencé como ayudante alumno hace más de 15 años, hasta el día de hoy en el que sigo siendo docente de esta cátedra, dedicando muchos años al tema que me propusiste investigar, «el resalto sumergido».

Muchas gracias Fabián por tu gran generosidad, por darme la posibilidad de compartir una instancia de investigación con tu grupo de trabajo en UC Davis. Sin duda fue una de las experiencias más importantes en este camino, no solo en cuanto a la formación académica sino también en el plano personal, ya que me regaló la posibilidad de conocer grandes personas. Tu gran ayuda y toda tu experiencia me guiaron en esta investigación.

Sergio quiero agradecerte por darme la posibilidad de hacer realidad este doctorado. Por confiar en mi, por tu apoyo y por permitirme formar parte de esta gran familia que es el Laboratorio de Hidromecánica de la UNLP desde hace más de 10 años. En este tiempo he aprendido muchísimo de todos, excelentes personas y amigos. Gracias por las risas, el aguante y los almuerzos llenos de divertidas anécdotas. En particular quiero agradecer a Rodolfo y Hugo que me ayudaron a acondicionar el canal de ensayos, y a Juan quien dedicó muchas horas a darme una mano con las mediciones experimentales. Ciertamente este doctorado no habría sido posible sin el apoyo de todos los que componen Hidromecánica.

Quiero agradecer a Carlos Marcelo García y a todo el grupo del LH-CETA de la UNC, por brindarme todo su conocimiento sobre las técnicas de medición de ADV y PTV. Siempre predispuestos a colaborar de manera desinteresada. Gracias Antoine y Nico. Son realmente un gran grupo, espero seguir trabajando en colaboración con ustedes.

Agradezco profundamente a toda mi familia y amigos. En especial a mis padres, Rosita y Lito, por todos los valores que me transmitieron, por su ejemplo y el gran amor que nos regalaron a los tres. A mis hermanos Ale y Tino, por todas las alegrías y tristezas que hemos compartido en todos estos años. También a mis hermanos del alma, el Negro y Sergio.

Patri te quiero agradecer por tu comprensión y aliento durante todo este proceso. Por tu paciencia infinita y sobre todo por el aguante en este tiempo, creo que todos los fines de semana de este año mi respuesta ha sido «Estoy trabajando en la tesis». Gracias

por ser mi compañera de vida y por dejarme soñar a tu lado. Te amo y lo mejor está por venir. Gracias a toda tu familia, Ernes y Emma, por dejar de ser vecinos y ser una sola familia.

Finalmente, quiero dedicar mis últimas palabras a mi viejo Lito que falleció el año pasado. Estaría muy contento de este momento, ya que me alentó desde el principio para que pudiera hacer el doctorado. ¡Gracias por tu ejemplo de vida pa!

RESUMEN

El resalto hidráulico es un fenómeno de escurrimiento a superficie libre rápidamente variado que surge en la transición entre un flujo supercrítico y un flujo subcrítico. Cuando el tirante conjugado de ingreso se sumerge, tiene lugar un caso distintivo de resalto que trae como consecuencia la aparición de dos vórtices verticales y una caída abrupta de la entrada de aire. Estas dos estructuras coherentes, junto con el torbellino de eje horizontal que es propio de todos los resaltos, convierten al resalto sumergido en un proceso de alta turbulencia tridimensional.

La presente tesis tiene como finalidad caracterizar el flujo turbulento en resaltos hidráulicos sumergidos aguas abajo de una compuerta plana, utilizando métodos experimentales y simulaciones numéricas tipo CFD. El objetivo principal de esta investigación es analizar características esencialmente tridimensionales que no han sido tenidas en cuenta en estudios previos. A tales fines, se generó un nuevo conjunto de datos experimentales que incluye el campo de velocidades medias, la energía cinética turbulenta y las tensiones de Reynolds en el interior del resalto. Las mediciones, realizadas a partir de técnicas de velocimetría acústica Doppler (ADV) y de velocimetría por seguimiento de partículas (PTV) en un canal de laboratorio, abarcan un rango amplio de números de Froude incidentes Fr_1 (2.0, 3.0, 4.0 y 5.0) y de índices de sumergencia S (2.3 a 0.2).

Se presenta un estudio integral de las estructuras coherentes verticales que se forman inmediatamente aguas abajo de la compuerta plana. Se dedica un apartado especial a estudiar la longitud del resalto sumergido a partir de la evolución de la energía cinética turbulenta. Asimismo, se realizaron simulaciones numéricas LES-NWM y RANS para predecir el comportamiento del resalto sumergido para la condición $Fr_1 = 2.0$ y S = 1.0. Se demuestra que la simulación LES-NWM es la única que permite captar las estructuras vorticosas cercanas a la compuerta, incluyéndose para su validación mediciones experimentales de parámetros medios del escurrimiento y espectros de energía de las fluctuaciones de velocidad. Sobre la base del muy buen acuerdo entre los resultados numéricos y experimentales, se propone una caracterización de la dinámica interna del resalto a partir del análisis espectral de las variables fundamentales del escurrimiento (velocidad, presión y altura de la superficie libre). En particular, se ha estudiado el desprendimiento de la capa límite en el fondo del canal aportando evidencias sobre las causas que dan origen a este fenómeno y sus consecuencias. Aunque la mayor parte de esta tesis se enmarca dentro de la mecánica de fluidos básica, sus implicaciones se extienden mucho más allá y contribuyen a la comprensión de un fenómeno de particular relevancia en la ingeniería hidráulica, como lo demuestra el uso extensivo de resaltos hidráulicos como disipadores de energía.

ABSTRACT

Hydraulic jumps are rapidly varied free-surface flow phenomena that arise at the transition from supercritical to subcritical flow. The distinct occurrence of hydraulic jumps when the inlet sequent depth is submerged gives rise to two vertical vortices and an abrupt drop of the air intake. Along with the horizontal roller that is common to all jumps, these two distinct coherent structures turn the submerged jump into a fully three-dimensional high turbulence process.

The present thesis aims at characterizing the turbulent flow in submerged hydraulic jumps downstream of a sluice gate by means of experimental methods and computational fluid dynamics (CFD) simulations. The main goal of this research is to analyze essential three-dimensional characteristics that have not been considered in previous studies. A new set of experimental data was produced, including mean velocities, turbulent kinetic energy and Reynolds stresses. Experimental measurements were obtained using acoustic Doppler velocimetry (ADV) and particle tracking velocimetry (PTV) techniques in a laboratory flume under scenarios that span over a wide range of incident Froude numbers, Fr_1 (2.0, 3.0, 4.0 and 5.0), and submergence factors, S (from 0.2 to 2.3).

A comprehensive evaluation of the vertical coherent structures that form immediately downstream of the sluice gate is presented. An entire section is devoted to the analysis of the submerged jump length, based on the turbulent kinetic energy evolution. Both LES-NWM and RANS numerical simulations of the behavior of a submerged jump for $Fr_1 = 2.0$ and S = 1.0 were performed. It was found that only the LES-NWM simulation was able to capture the vortical structures near the gate. The simulation was validated by experimental measurements of mean flow parameters and velocity power spectra. On the basis of the very good agreement between the numerical and experimental results, a characterization of the internal roller dynamics is presented from the spectral analysis of the main flow variables (velocity, pressure and free surface depth). In particular, the boundary layer separation at the bottom of the flume was studied, providing evidence on the causes that give rise to this phenomenon and its consequences. Even though the bulk of this thesis belongs to basic Fluid Mechanics, its implications extend well beyond and contribute to the understanding of a flow phenomenon of particular relevance in hydraulic engineering, as evidenced by the extensive use of hydraulic jumps as energy dissipators.

Índice general

I	IN	ΓRODUCCIÓN	1
1.	Intr	oducción	3
2.	Con	ceptos generales	5
3.	Esta	do del arte	7
4.	Obj	etivos	13
		ARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL FLUJO TUR NTO EN RESALTO HIDRÁULICO SUMERGIDO	R- 15
5.	Con	sideraciones preliminares	17
6.	Inst	alación experimental y métodos	19
	6.1.	Canal de ensayo y dispositivos asociados	19
		Condiciones de ensayo	24
7.	Velo	cimetría Acústica Doppler (ADV)	27
	7.1.	Aspectos Generales	27
		7.1.1. Efecto Doppler	29
		7.1.2. Cómputo de velocidades	31
	7.2.	Adquisición y procesamiento de señales	34
		7.2.1. Remoción de valores anómalos (spikes)	36
		7.2.2. Corrección del ruido Doppler	37
		7.2.3. Corrección del efecto de filtrado por la estrategia de adquisición	39
		7.2.4. Intervalos de confianza	41
	7.3.	Configuración de muestreo utilizada en los ensayos	42

8.	Velo	cimetrí	a por Seguimiento de Partículas (PTV)	45
	8.1.	Aspect	os Generales	45
	8.2.	Secuen	ncia metodológica y algoritmos para la implementación de la téc-	
		nica P	ΓV	47
		8.2.1.	Adquisición de imágenes	49
		8.2.2.	Preprocesamiento	49
		8.2.3.	Detección de partículas	50
		8.2.4.	Desplazamiento de las partículas	53
9.	Resu	ıltados	y discusión	57
	9.1.	Flujo n	nedio	57
	9.2.	Variab	les estadísticas turbulentas	60
	9.3.	Estruct	turas vorticosas tridimensionales	62
	9.4.	Longit	ud del resalto sumergido desde la turbulencia	69
		9.4.1.	Influencia del número de Froude de ingreso (Fr_1) y la Sumer-	
			gencia (S) sobre la distribución de la energía cinética turbulenta	
			(TKE)	69
		9.4.2.	Interpretación de la longitud del resalto sumergido a partir de la	
			energía cinética turbulenta (TKE)	69
		9.4.3.	Relación entre la intensidad de turbulencia y las presiones fluc-	
			tuantes	72
Ш		IMIII.	ACIÓN NUMÉRICA DEL RESALTOS HIDRÁULI-	i
		JMER !		75
•		,1,1211		
10.	Con	sideraci	ones generales	77
11.	Mod	lelo mat	temático	81
	11.1	Ecuaci	ones gobernantes	81
	11.2	Localiz	zación de la superficie libre	82
	11.3	. Otras c	condiciones de borde	83
12.	Cód	igo num	ıérico	87
	12.1	. Caracte	erísticas principales del código	87
			nentación del modelo numérico	88
13.	Resu	ıltados	y discusión	91
	13.1	. Valida	ción de la solución	91

	13.1.1. Flujo medio	. 91
	13.1.2. Estadísticos turbulentos	
	13.1.3. Espectro de energía. Resolución de la simulación LES-NWM	. 95
	13.2. Análisis espectral	. 99
	13.2.1. Espectro de potencia de las fluctuaciones de la superficie libre	. 100
	13.2.2. Espectro de potencia de las fluctuaciones de presión	. 102
	13.2.3. Espectro de potencia de las fluctuaciones de velocidad	. 103
	13.3. Separación de la capa límite en el piso del resalto	. 105
IV	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	111
14.	. Conclusiones referidas a la caracterización experimental	113
15.	. Conclusiones referidas a la simulación numérica	115
16.	. Recomendaciones	119
V	APÉNDICES	137
Α.	Artículo I: Experimental characterization of three-dimensional flow vort	
	cal structures in submerged hydraulic jumps	139
В.	Artículo II: Longitud del resalto sumergido: una mirada desde la turbule	n-
	cia	153
C.	Conjunto de datos experimentales obtenidos con el Vectrino ⁺	165
D.	Simulaciones RANS	201
	D.1. Ecuaciones gobernantes	
	D.2. Localización de la superficie libre	
	D.3. Condiciones de borde	
	D.4. Implementación del modelo numérico	
	D.5. Verificación de la solución (independencia de malla)	
	D.6. Comparación de resultados	. 211

Índice de tablas

3.1.	Resumen de las investigaciones experimentales en el resalto hidráulico
	libre y sumergido desde 1990 con énfasis en las características internas
	del flujo
3.2.	Resumen de las simulaciones numéricas del resalto sumergido 12
6.1.	Incertidumbre en la determinación del caudal
6.2.	Condiciones experimentales ensayadas
7.2.	Máxima frecuencia interna de medición del Vectrino con «Vectrino Plus»
	firmware
7.3.	Configuración de muestreo utilizada en los ensayos con el velocímetro
	Vectrino ⁺
8.1.	Configuración utilizada durante los ensayos de PTV
9.1.	Energía cinética turbulenta máxima en régimen uniforme (TKE_{MU}) 71
D.1.	Características del mallado utilizado para evaluar el error de discretiza-
	ción en la simulación RNG k - ε bidimensional. Ensayo $Fr_1=2.0, S=1.0.208$
D.2.	Cálculo del error de discretización del caudal para la simulación RNG
	k -ε bidimensional. Ensayo $Fr_1 = 2.0$, $S = 1.0$
D.3.	Error en la estimación u_{max}/U_1 para cada simulación numérica. Ensayo
	$Fr_1 = 2.0, S = 1.0.$
D.4.	Error en la estimación $TKE_{m\acute{a}x}/U_1^2$ para cada simulación numérica. En-
	savo $Fr_1 = 2.0$, $S = 1.0$.

Índice de figuras

2.1.	Resalto hidráulico sumergido aguas abajo de una compuerta: (a) vista	6
	lateral; (b) vista superior	6
6.1.	Canal de ensayos - Departamento de Hidráulica - UNLP	20
6.2.	Esquema del canal de ensayos	21
6.3.	(a) Compuerta vertical para generar el resalto sumergido; (b) canal de	
	aforo con vertedero en «V»	22
7.1.	Velocímetro Vectrino	27
7.2.	Esquema del cabezal de medición del Vectrino: configuración «Down-	
	looking» (izquierda); configuración «Sidelooking» (derecha)	29
7.3.	Principio del desplazamiento Doppler que sufre un pulso acústico (fuen-	
	te: RCEM, 2009)	29
7.4.	Esquema bi-estático utilizado en el Vectrino ⁺ (fuente: Nortek, 2004)	31
7.5.	Técnica pulso-a-pulso coherente para el cálculo del desfasaje Doppler	
	(fuente: Nortek, 2012)	32
7.6.	Factor de ganancia del filtro no recursivo para $f_R = 50$ Hz y $f_s = 1754$	
	Hz	35
7.7.	Series temporales de velocidad en la dirección vertical w , $Fr_1 = 2.0$ y	
	$\mathit{S}=1.0$: a) serie original; b) serie filtrada mediante la técnica PSTM	38
7.8.	Corrección del ruido Doppler por análisis espectral. $Fr_1 = 5.0$ y $S = 0.18$.	39
7.9.	Efecto del promediado digital debido a la estrategia de muestreo (fil-	
	trado temporal y espacial): a) reducción momentos pares (fuente: Gar-	
	cía et al., 2005); b) reducción en la energía cinética turbulenta (fuente:	
	Gil Montero <i>et al.</i> , 2014)	40
7.10.	Función autocorrelación R_{xx} . Determinación de la escala integral de	
	tiempo T . $Fr_1 = 5.0 \text{ y } S = 1.04. \dots$	42
8.1.	Principio de funcionamiento de la técnica PIV. (fuente: Patalano, 2017).	46
8.2.	Esquema de la implementación de la técnica de PTV para caracterizar	
	las velocidades superficiales en el resalto sumergido	48

8.3.	Pre-procesamiento de la imagen. Sustracción del fondo en el ensayo	
	$Fr_1 = 5.0 \text{ y } S = 0.6$: a) imagen instantánea original; b) imagen media	
	o «fondo»; c) imagen instantánea mostrada en a) con la sustracción del	
	«fondo»	51
8.4.	Partículas trazadoras utilizadas en los ensayos de PTV (esferas de poli-	
	estireno expandido de 15 mm de diámetro)	52
8.5.	Opciones presentes en el PTVLab para la detección de partículas	53
8.6.	Fundamentos de la correlación cruzada. (fuente Patalano, 2017)	54
8.7.	Opciones presentes en el PTVLab para la determinación del desplaza-	
	miento de partículas	55
9.1.	(a) Distribución vertical de la velocidad media típica en un resalto hi-	
	dráulico sumergido; (b) perfiles adimensionales de velocidad de avance	
	para las siguientes condiciones de flujo y secciones: $x/h_1 = 5.5$, 8.2,	
	10.9, 13.7, 19.1, 21.9, 27.3 para $Fr_1 = 3$, $S = 0.24$; $x/h_1 = 19.7$, 23.0,	
	26.2, 29.5, 32.8, 36.1 para $Fr_1 = 4$, $S = 0.2$; $x/h_1 = 31.0$, 35.4, 39.9 pa-	
	ra $Fr_1 = 5$, $S = 0.18$; $x/h_1 = 31.0$, 35.4, 39.9, 44.3, 48.7 para $Fr_1 = 5$,	
	$S = 0.61$; $x/h_1 = 48.7$, 57.6 para $Fr_1 = 5$, $S = 1.04$	58
9.2.	Distribución longitudinal de la velocidad en la dirección de la corriente	
	(u/U_1) , en diferentes planos para $Fr_1 = 5$, $S = 1.04$: (a) $y/W = 0.50$; (b)	
	y/W = 0.25; (c) $y/W = 0.11$. Los vectores también representan la com-	
	ponente longitudinal de la velocidad. Línea de puntos roja: isotaquia	
	$u/U_1=0$. Se muestra una foto lateral del ensayo	59
9.3.	Distribución longitudinal de la velocidad en la dirección de la corriente	
	(u/U_1) , en el plano horizontal $z/h_1=11.1$ para $Fr_1=5, S=1.04$. Línea	
	de puntos roja: isotaquia $u/U_1=0$. Se muestra una foto superior del	
	ensayo	60
9.4.	Perfiles adimensionales de energía cinética turbulenta (TKE/U_1^2) para	
	las siguientes condiciones de flujo y secciones: $x/h_1 = 10.9$, 13.7, 16.4,	
	19.1, 21.9, 27.3 para $Fr_1 = 3$, $S = 0.24$; $x/h_1 = 13.1$, 16.4, 19.7, 23.0,	
	26.2, 29.5, 32.8, 36.1 para $Fr_1 = 4$, $S = 0.2$; $x/h_1 = 17.7$, 22.2, 26.6,	
	31.0, 35.4, 39.9 para $Fr_1 = 5$, $S = 0.18$; $x/h_1 = 13.3$, 17.7, 22.2, 26.6,	
	31.0, 35.4, 39.9, 44.3, 48.7, 53.2 para $Fr_1 = 5$, $S = 0.61$; $x/h_1 = 13.3$,	
	17.7, 22.2, 26.6, 31.0, 35.4, 39.9, 48.7 para $Fr_1 = 5$, $S = 1.04$. Se pre-	
	senta también la regresión experimental obtenida	61
9.5.	Distribución longitudinal de la energía cinética turbulenta (TKE/U_1^2) ,	
	en diferentes planos para $Fr_1 = 5$, $S = 1.04$: (a) $y/W = 0.50$; (b) $y/W = 0.50$	
	0.25: (c) $v/W = 0.11$	62

9.6.	(a) Variación de la longitud del «roller» (L_{rsj}/h_2) con la sumergencia (S) . (b) Relación entre la escala del «roller» de eje horizontal (L_{rsj}/h_1) y la escala del vórtice vertical (L_v/h_1)	63
9.7.	Intensidad de los vórtices verticales $\Omega_z \frac{h_2}{U_1}$ vs. el índice de sumergencia S	65
9.8.	Variables del flujo obtenidas mediante la técnica de PTV para $Fr_1 = 5$, $S = 0.61$: (a) vectores velocidad en la superficie; (b) distribución de la vorticidad en la superficie ($\Omega_z h_1/U_1$). Se muestra una foto superior del ensayo	66
9.9.	Distribución de $(\overline{u'^2} - \overline{v'^2})/U_1^2$ en el plano $z/h_1 = 7.1$ para $Fr_1 = 5$, $S = 0.61$. Línea de puntos roja: isotaquia $u/U_1 = 0$	67
9.10.	Distribución de $(\overline{u'v'})/U_1^2$ en el plano $z/h_1=7.1$ para $Fr_1=5, S=0.61$. Línea de puntos roja: isotaquia $u/U_1=0.$	67
9.11.	(a) Distribución de la vorticidad $(\Omega_z h_1/U_1)$ en diferentes planos y superficie de isovorticidad $\Omega_z h_1/U_1=0.6$; (b) vista lateral de la superficie de isovorticidad $\Omega_z h_1/U_1=0.6$; (c) vista frontal de la superficie de isovorticidad $\Omega_z h_1/U_1=0.6$. Los datos pertenecen a $Fr_1=5$, $S=0.61$.	68
9.12.	Distribución longitudinal TKE_{max}/U_1^2 vs. x/h_1 : (a) influencia de Fr_1 ; (b) influencia de S	70
9.13.	Distribución longitudinal TKE_{max}/TKE_{MAX} vs. $x/Lrjs$: (a) variación completa de la variable; (b) detalle para $x/Lrjs > 1$. Incluye valores límites de TKE_{MU}	72
9.14.	Comparación entre la intensidad de turbulencia $(\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1)$ y el coeficiente de presiones fluctuantes $(\lambda_t \sqrt{C_p'})$	74
10.1.	Resolución de las escalas de turbulencia a partir de los enfoques DNS, LES, DES y RANS	79
10.2.	Identificación de vórtices verticales a partir de los vectores de velocidad en el plano $z/h_1=3.50$ (coloreadas por la magnitud de la velocidad) para las diferentes simulaciones: RANS/ k - ε ; RANS/ k - ω ; RANS/ k NG k - ε ; LES-NWM. Se muestra también los resultados experimentales obtenidos con el Vectrino	80
11.1.	Representación de la superficie libre a partir del método VOF en la simulación LES-NWM del resalto sumergido	84

11.2.	(a) Perfil de velocidad media de la capa límite turbulenta de una placa plana lisa, trazada en coordenadas log-lineales con normalizaciones de la ley de pared (Kundu $et\ al.$, 2012); (b) distancia adimensional y^+ en la simulación LES-NWM	85
12.1.	Representación esquemática del método FAVOR para representar objetos sólidos. Cálculo del coeficientes de fracción de área y volumen, A_f y V_f , para un objeto sólido (área sombreada) inserto en una cuadrícula rectangular.	88
12.2.	Características principales de la simulación LES-NWM	89
13.1.	(a) Perfiles de velocidad en la dirección del escurrimiento (u/U_1) en el plano central; (b) distribución de la velocidad máxima u_{max}/U_1 en el plano central	92
13.2.	(a) Componente de la velocidad en la dirección de la corriente (u/U_1) en el plano horizontal $z/h_1=3.50$; (b) vectores velocidad (coloreados por la magnitud de la velocidad) y longitud característica de los vórtices de eje horizontal (L_v/h_1) en el plano $z/h_1=3.50$. Línea de puntos roja: isotaquia $u/U_1=0$. Ensayo $Fr_1=2.0$, $S=1.0$	93
13.3.	Perfiles adimensionales de energía cinética turbulenta TKE/TKE_{max} .	94
13.4.	(a) Perfiles de tensiones de corte turbulentas $(\overline{u'w'}/U_1^2)$ en el plano central; (b) perfiles de energía cinética turbulenta (TKE/U_1^2) en el plano central. Ensayo $Fr_1=2.0, S=1.0.$	95
13.5.	Espectro de potencia de las fluctuaciones de la componente longitudinal de velocidad en el dominio de la frecuencia (G_{xx}). Se incluye la pendiente $-5/3$ (espectro de Kolmogorov). Ensayo $Fr_1 = 2.0$, $S = 1.0$.	96
13.6.	Espectros unidimensionales de las fluctuaciones de velocidad en el dominio de onda (E_{xx} , E_{yy} , E_{zz}). Se incluye la pendiente $-5/3$ (espectro de Kolmogorov), la dimensión de la celda de cálculo (δ_x), la microescala de Taylor (λ) y la microescala de Kolmogorov (η). Ensayo $Fr_1 = 2.0$, $S = 1.0 \dots \dots$	99
13.7.	Espectro de potencia de las fluctuaciones de superficie libre, H (CFD) 1	100
	Distribución longitudinal del número de Strouhal de la frecuencia dominante de las fluctuaciones de superficie libre, St_H (CFD)	
13.9.	Análisis de las fluctuaciones de la superficie libre: espectro de fluctuaciones de la componente vertical de velocidad, G_{zz} (izquierda); espectro	
	de fluctuaciones de superficie libre, H (derecha)	102

13.10	DEspectro de potencia de las fluctuaciones de presión en el fondo del resalto, <i>P</i> (CFD)	103
13.1	Distribución longitudinal del número de Strouhal de la frecuencia domi-	
10.11	nante de las fluctuaciones de la componente longitudinal de velocidad	
	(St_u)	104
13.12	2Espectros de potencia de las fluctuaciones de la componente longitudi-	
	nal de velocidad, G_{xx} , en el interior del resalto	105
13.13	3Distribución del coeficiente de presiones fluctuantes $C'p$ en el fondo del	
	canal para diferentes condiciones del resalto	106
13.14	4Separación de la capa límite producto de un gradiente adverso de pre-	
	siones	107
13.15	5 Estructuras coherentes, definidas a partir del $criterio - Q$, en el centro	
	del canal $(y/W=0.5)$ para diferentes pasos de tiempo. Se incluye el	
	punto de impacto de los vórtices en el fondo del canal	109
13.16	6Estructuras coherentes definidas con el $criterio - Q = 0.5$ y coloreados	
	con la vorticidad en la dirección cartesiana $y(\Omega_y)$	109
13.17	7 Separación de la capa límite en el fondo del canal: (a) vorticidad-y en	
	el plano central (Ω_y) ; (b) presiones fluctuantes en el fondo del canal.	
	Número de Strouhal de la frecuencia dominante (S_p) ; (c) asimetría de la	
	amplitud de presiones fluctuantes en el fondo del canal (A_s)	110
D.1.	Características del mallado utilizado en las simulaciones RANS	206
D.2.	Convergencia de malla de la simulación <i>RNG k</i> -ε bidimensional. Perfil	
	de energía cinética turbulenta (TKE/U_1^2). Ensayo $Fr_1=2.0,S=1.0.$	209
D.3.	Convergencia de malla de la simulación RNG k-ε bidimensional. Dis-	
	tribución de la energía cinética turbulenta máxima en la dirección x	
	(TKE_{max}/U_1^2) . Ensayo $Fr_1 = 2.0, S = 1.0$	210
D.4.	Variación del caudal en función del mallado. Simulaciones RNG k-ε	
	bidimensional. Ensayo $Fr_1 = 2.0$, $S = 1.0$	210
D.5.	Comparación de resultados experimentales y simulaciones numéricas	
	para u/U_1 en el plano $y/W=0.5$. Verde: velocidades positivas; violeta:	
	velocidades negativas o de retroceso. Línea de puntos roja: isotaquia	
	$u/U_1 = 0$. Ensayo $Fr_1 = 2.0$, $S = 1.0$	212
D.6.	Comparación de resultados experimentales y simulaciones numéricas	
	para u/U_1 en el plano $z/h_1=3.5$. Verde: velocidades positivas; violeta:	
	velocidades negativas o de retroceso. Línea de puntos roja: isotaquia	
	$u/U_1 = 0$. Ensayo $Fr_1 = 2.0$, $S = 1.0$	213

D.7.	Comparación de resultados experimentales y simulaciones numéricas:	
	a) perfiles de velocidad en la dirección del escurrimiento (u/U_1) en el	
	plano $y/W=0.5$.; b) distribución de la velocidad máxima u_{max}/U_1 en	
	el plano $y/W = 0.5$. Ensayo $Fr_1 = 2.0$, $S = 1.0$	214
D.8.	Comparación de resultados experimentales y simulaciones numéricas:	
	a) perfiles de energía cinética turbulenta (TKE/U_1^2) en el plano central;	
	b) distribución de energía cinética turbulenta $TKE_{m\acute{a}x}/U_1^2$ en el plano	
	central. Ensayo $Fr_1 = 2.0, S = 1.0$	216

Índice de símbolos

- κ_i Número de onda en la dirección cartesiana i.
- α Coeficiente de proporcionalidad entre $\sqrt{\overline{p'^2}}$ y $\sqrt{\overline{u'^2}}$.
- α_{ω} Constante del modelo $k \omega$.
- α_g Umbral de brillo del pico de la «partícula idea» de la Máscara Gaussiana.
 - Técnica de PTV.
- $\underline{\underline{S}}_{ij}$ Tensor de deformación de la velocidad media.
- β Constante del modelo RNG k ε.
- β^* Constante del modelo $k \omega$.
- β_{ω} Constante del modelo $k \omega$.
- Δf Desfasaje Doppler.
- Δt Paso de tiempo.
- Δ Longitud característica de la subgrilla.
- $\Delta \varphi$ Cambio de fase. Efecto Doppler.
- δ_1 Distancia desde el fondo del canal hasta donde $u = u_{max}/2$
- δ_2 Distancia desde el fondo del canal hasta donde TKE = TKE_{max}/2
- δ_t Paso de cálculo de la simulación.
- δ_x Dimensión de la celda de cálculo en la dirección x.
- δ_y Dimensión de la celda de cálculo en la dirección y.

 δ_z Dimensión de la celda de cálculo en la dirección z. Microescala de Kolmogorov. η Constante del modelo RNG $k - \varepsilon$. η_0 Constante de Von Karman para la ley semi-logarítmica de pared. κ_{v} λ Microescala de Taylor. Coeficiente de proporcionalidad empírico entre I_t y $\sqrt{C_p}$. λ_t Viscosidad dinámica del fluido. μ Viscosidad turbulenta de la subgrilla. μ_t Viscosidad de remolino. v_t ω Disipación específica de la energía cinética turbulenta. Vorticidad transversal. $\Omega_{\rm v}$ Vorticidad vertical. Ω_{7} $\overline{u'^2}$ Varianza de la componente de velocidad en la dirección longitudinal. $\overline{u'v'}$ Covarianza de la velocidad en el plano x-y. $\overline{u'w'}$ Covarianza de la velocidad en el plano x-z. $\overline{v'^2}$ Varianza de la componente de velocidad en la dirección transversal. $\overline{v'w'}$ Covarianza de la velocidad en el plano y-z. $\overline{w'^2}$ Varianza de la componente de velocidad en la dirección vertical. \overrightarrow{u}_i Velocidad vectorial de un trazador *i* en la técnica de PTV. \overrightarrow{x}_i Vector posición de un trazador *i* en la técnica de PTV. $\overrightarrow{y_{j_{(i)}}}$ Vector posición de un trazador j en la técnica de PTV. $\partial p/\partial s$ Gradiente de presión. Solución del i-ésimo mallado. ϕ_i Masa específica del agua.

Masa específica de referencia. ρ_0 $\rho_0 \overline{\underline{u}' \otimes \underline{u}'}$ Tensiones de Reynolds. Masa específica de los trazadores utilizados en la técnica de PTV/PIV. ρ_p σ^* Constante del modelo $k - \omega$. Constante del modelo $k - \omega$. σ_{ω} Constante del modelo $k - \varepsilon$ / RNG $k - \varepsilon$. σ_{ε} Radio representativo de la «partícula idea» de la Máscara Gaussiana. Téc- σ_g nica de PTV. Constante del modelo $k - \varepsilon$ / RNG $k - \varepsilon$. σ_k σ_u^2 Varianza de la componente de velocidad u_i . Amplitud media cuadrática de las fluctuaciones de presión. Amplitud media cuadrática de las fluctuaciones de velocidad. θ Ángulo bi-estático del ADV/Vectrino. $\triangle A_i$ Área de la i-ésima celda. $\triangle U_p$ Desfasaje entre la velocidad del fluido y las partículas. Técnica de PTV $\triangle V_i$ Volumen de la i-ésima celda. Vector de la velocidad media. \bar{u} Vector aceleración de la gravedad. \underline{g} Presión filtrada. p_f Presión media. <u>p</u> Vector de velocidad filtrada. u_f u'Fluctuación del vector velocidad. Tasa de disipación de la energía cinética turbulenta. ε Disipación turbulenta en la pared. \mathcal{E}_t Fase del pulso *i*. φ_i

a Aceleración del fluido.

A_F Coeficiente de fracción de área utilizado en el método FAVOR.

 A_s Coeficiente de asimetría de las presiones fluctuantes.

 A_{total} Área total de la simulación bidimensional.

C Coeficiente de Smagorinsky.

c Velocidad de propagación del sonido en el medio.

C'_p Parámetro adimensional del coeficiente de presiones fluctuantes.

 C_{μ} Constante del modelo $k - \varepsilon$ / RNG $k - \varepsilon$.

 $C_{\varepsilon 1}$ Constante del modelo $k - \varepsilon$ / RNG $k - \varepsilon$.

 $C_{\varepsilon 2}$ Constante del modelo $k - \varepsilon$ / RNG $k - \varepsilon$.

criterio - Q Criterio para la detección de vórtices Q.

Diámetro del volumen de muestreo del ADV/Vectrino.

d Distancia normal de la velocidad calculada desde la pared. Utilizada en la expresión de la ley semilogarítmica de pared.

 d_1 Apertura de la compuerta.

 d_p^2 Diámetro de las partículas utilizadas en la técnica de PTV/PIV.

 e_a^{ij} Error relativo entre la solución del i-ésimo y el j-ésimo mallado.

 e_{ext} Error relativo extrapolado.

 e_{ij} Error entre la solución del i-ésimo y el j-ésimo mallado.

 E_{xx} Espectro unidimensional de las fluctuaciones de la componente de velocidad longitudinal en el dominio de onda.

 E_{yy} Espectro unidimensional de las fluctuaciones de la componente de velocidad transversal en el dominio de onda.

 E_{zz} Espectro unidimensional de las fluctuaciones de la componente de velocidad vertical en el dominio de onda.

Error estándar de la varianza de la componente de velocidad u_i . $Err_{\sigma_n^2}$ Error estándar de la energía cinética turbulenta. Err_{TKE} Error estándar de la velocidad media u_i . Err_{u_i} FFracción de fluido. Frecuencia del espectro de potencia. f F_{ADV} Frecuencia adimensional utilizada para corregir efectos de filtrado del ADV/Vectrino. Frecuencia de las ondas recibidas por las partículas. Efecto Doppler. f_b Frecuencia de corte. f_{corte} Frecuencia del pulso acústico de la señal emitida. Efecto Doppler. f_e Frecuencia máxima del espectro de potencia. f_m Frecuencia emitida por el transductor. Efecto Doppler. f_o Frecuencia del pulso acústico de la señal recibida. Efecto Doppler. f_{re} Frecuencia de registro de las mediciones del Vectrio. f_R Parámetro adimensional para evaluar efectos de filtrado en las medicio- F_{st} nes de ADV/Vectrino. Frecuencia interna de medición del Vectrino. f_s Frecuencia de los pulsos acústicos emitidos por el Vectrino. fvect Número de Froude incidente. Fr_1 G_{xx} Espectro de potencia de las fluctuaciones de la componente de velocidad longitudinal en el dominio de frecuencia. Espectro de potencia de las fluctuaciones de la componente de velocidad G_{zz} vertical en el dominio de frecuencia. Índice de convergencia de malla. GCI

Н Espectro de potencia de las fluctuaciones de nivel. Sección contraída. h_1 Tirante conjugado a la salida de un resalto libre preexistente. h_2 Tirante al inicio del resalto sumergido. h_3 h_4 Tirante de restitución del canal. Tamaño «global» de la i-ésimo mallado. h_{M_i} h_{v} Altura del volumen de muestreo del ADV/Vectrino. Ι Matriz identidad. I_t Intensidad de turbulencia. Iw Ventana de interrogación en la técnica de PTV. k Energía cinética turbulenta (TKE). Componente de la energía cinética turbulenta resuelta a partir de la ecua k_{res} ciones LES. k_{sm} Componente de la energía cinética turbulenta modelada con el cierre de turbulencia de Smagorinsky. k_t Energía cinética turbulenta en la pared. L Longitud de las grandes escalas de turbulencia. L_{ADV} Escala de longitud característica en la medición con ADV/Vectrino. Longitud del remolino de eje horizontal. L_{rsj} L_u Distancia longitudinal desde la compuerta hasta donde se alcanza el valor $u_{max}/U_1 = 2.$ Longitud del vórtice de eje vertical. L_{v} n Coeficiente de rugosidad de Manning. Total de celdas del i-ésimo mallado. N_i

P Espectro de potencia de las fluctuaciones de presión.

p' Fluctuación de la presión instantánea.

 $P_{(p')}$ Función de probabilidad de la variable p'.

 p_a Orden aparente de la simulación.

 P_k Tasa de producción de k.

 R_{xx} Función autocorrelación de la componente longitudinal de la velocidad.

 Re_1 Número de Reynolds de ingreso.

S Índice de sumergencia.

 S_{ij} Tensor de deformación de la velocidad filtrada.

 S_t Número de Strouhal de las frecuencias dominantes.

 St_H Número de Strouhal de las frecuencias dominantes del espectro de fluc-

tuaciones de nivel.

 St_p Número de Strouhal de las frecuencias dominantes del espectro de fluc-

tuaciones de presión.

 St_u Número de Strouhal de las frecuencias dominantes del espectro de fluc-

tuaciones de velocidad longitudinal.

t Tiempo.

T Escala integral de tiempo.

 T_{ADV} Tiempo necesario para completar una medición de ADV.

 T_m Tiempo de muestreo total.

TKE Energía cinética turbulenta

 TKE_{MAX} Valor máximo de la energía cinética turbulenta en cada ensayo.

 TKE_{max} Valor máximo de la energía cinética turbulenta en cada sección.

TKE_{MU} Energía cinética turbulenta máxima en un escurrimiento uniforme.

U Velocidad del fluido.

Velocidad media en la dirección longitudinal del canal (promedio tempoи ral). Velocidad de corte local calculada a través de la ley semilogarítmica de u*pared. U^* Velocidad de corte en el fondo del canal. U_1 Velocidad media en la sección contraída. Velocidad convectiva. U_c Componente de la velocidad en la dirección cartesiana i. u_i Velocidad media máxima u en cada vertical u_{max} Velocidad de las partículas en la técnica de PTV. U_p Componente paralela de la velocidad adyacente a la pared. u_t Velocidad media en la dirección transversal del canal (promedio temporal). Velocidad de las partículas. Efecto Doppler. v_b V_F Coeficiente de fracción de volumen utilizado en el método FAVOR. Velocidad en los ejes bi-estáticos del ADV/Vectrino. v_i Velocidad del receptor con respecto al medio. Efecto Doppler. v_r Velocidad del emisor con respecto al medio. Efecto Doppler. v_s WAncho del canal. Velocidad media en la dirección vertical del canal (promedio temporal). w Distancia longitudinal desde la compuerta. \boldsymbol{x} Distancia transveral desde la pared del canal. y v^+ Distancia de pared adimensionalizada. Distancia vertical desde el piso del canal. *Z*. Notación de producto entre tensores. \otimes $(.)^T$ Indica matriz transpuesta del tensor (.).

(.) La línea inferior refiere a vectores. $\overline{(.)}$ La línea superior refiere a promedio temporal. $\frac{\delta()}{\delta t}$ Derivada temporal. ∇ Operador gradiente de tensores. $\frac{D()}{Dt}$ Derivada sustancial. ADV Velocimetría Acústica Doppler (acrónimo en inglés de Acoustic Doppler *Velocimetry*). **CFD** Mecánica de Fluidos Computacional (acrónimo en inglés de Computacional Fluid Dynamics). Factor de correlación de las señales de ADV/Vectrino. **COR DES** Simulación de remolinos aislados (acrónimo en inglés de Detached Eddy *Simulation*) **DNS** Simulación Numérica Directa (acrónimo en inglés de Direct Numerical Simulation). **FAVOR** Representación de obstáculos fracción área-volumen (acrónimo en inglés de Fractional Area-Volume Obstacle Representation). **INA** Instituto Nacional del Agua, Argentina. **IPH** Instituto de Pesquisas Hidráulicas de la Universidad Federal de Río Grande do Sul, Brasil. LDA Anemómetro Láser Doppler. **LES** Simulación de los Grande Vórtices (acrónimo en inglés de Large Eddy Simulation). LES con modelación de pared (NWM acrónimo en inglés de Near-Wall LES-NWM Modeling). LES-NWR LES con resolución de pared (NWR acrónimo en inglés de Near-Wall Resolution).

LSPIV Velocimetría por Imágenes de Partículas a Gran Escala (acrónimo en in-

glés de Large Scale Particle Image Velocimetry).

LSPTV Velocimetría por Seguimiento de Partículas a Gran Escala (acrónimo en

inglés de Large Scale Particle Tracking Velocimetry).

N-S Ecuaciones de Navier-Stokes.

PIV Velocimetría por Imágenes de Partículas (acrónimo en inglés de Particle

Image Velocimetry).

PSTM Método del umbralamiento espacio-fase (acrónimo en inglés de *Phase-*

Space Thresholding Method).

PTV Velocimetría por Seguimiento de Partículas (acrónimo en inglés de Parti-

cle Tracking Velocimetry).

RANS Promediado de Reynolds de las ecuaciones de Navier- Stokes (acrónimo

en inglés de Reynolds-Averaged Navier-Stokes).

SNR Relación señal-ruido de las señales de ADV/Vectrino.

UIDET Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Transferencia.

UNLP Universidad Nacional de La Plata.

VOF Volumen de Fluido (acrónimo en inglés de *Volume Of Fluid*).

Parte I INTRODUCCIÓN

Capítulo 1

Introducción

La presente tesis de doctorado se enmarca dentro de las líneas de investigación prioritarias de la Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Transferencia de Hidromecánica (UIDET Hidromecánica) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). El objetivo general es el de formar recursos humanos especializados en el campo de la modelación matemática y caracterización experimental de escurrimientos complejos.

Por medio de esta investigación se propone abordar la problemática de los flujos tridimensionales de alta turbulencia en capas de mezcla; en particular, el resalto hidráulico sumergido, que es de interés para la mecánica de los fluidos y especialmente para la ingeniería hidráulica.

Los resultados que se presentan a continuación son el fruto de cinco años de investigación llevados a cabo en la UNLP. Gran parte de los nuevos aportes al conocimiento resultantes fueron presentados en diferentes congresos nacionales, internacionales y revistas de alto impacto. En la parte V de esta tesis se adjuntan algunas de las publicaciones a las que se hace mención.

Esta tesis se encuentra sustentada en dos campos claramente diferenciados: el estudio experimental en laboratorio y la simulación numérica del resalto hidráulico. En el primer bloque de esta investigación (que conforma la parte II de esta tesis) se presenta una caracterización experimental del resalto sumergido a partir de dos técnicas de medición de velocidades: velocimetría basada en el efecto Doppler y velocimetría por imágenes de partículas. El segundo bloque (parte III) está dedicado a las simulaciones numéricas de tipo específico para computación en mecánica de fluidos o CFD, por sus siglas en inglés (Computacional Fluid Dynamics). Allí se ha empleado el código numérico comercial FLOW-3D[®] para predecir el comportamiento del resalto sumergido. Finalmente, en la parte IV se presentan las conclusiones más relevantes obtenidas a partir de esta investigación y se enuncian algunas de las líneas de investigación futuras.

Capítulo 2

Conceptos generales

El resalto hidráulico es un fenómeno de escurrimiento a superficie libre rápidamente variado, que tiene lugar en la transición entre un flujo supercrítico y un flujo subcrítico. Está caracterizado por elevada turbulencia, grandes vórtices, entrada de aire y una significativa disipación de energía.

El resalto sumergido se produce cuando el tirante de restitución en un canal (h_4) es mayor al tirante conjugado a la salida de un resalto libre preexistente (h_2) aguas abajo de una compuerta. En este caso, el resalto se desplaza hacia aguas arriba, la entrada de aire se reduce sensiblemente, y las intensidades de turbulencia son menores a las del resalto libre equivalente (Hager, 1992). Mientras que el resalto sumergido presenta vórtices bien definidos con ejes verticales y horizontales (Figura 2.1), el resalto libre tiene un único «roller» de eje horizontal.

En la Figura 2.1 se muestran las tres regiones diferentes que se pueden distinguir en un resalto sumergido (Long *et al.*, 1990): la zona de desarrollo, la totalmente desarrollada y la región de recuperación. Mientras que la zona de desarrollo se extiende tan lejos como lo hace la zona del núcleo potencial, la zona desarrollada alcanza una distancia igual a la del remolino de eje horizontal (L_{rsj}). A partir de esta sección comienza la región de recuperación. En la zona desarrollada aparecen los dos vórtices de eje vertical con una longitud característica L_{ν} que, como fuese mencionado anteriormente, constituyen un rasgo relevante del resalto hidráulico sumergido.

Desde la perspectiva ingenieril, el resalto hidráulico tiene gran importancia debido a su extenso uso como disipador de energía en obras hidráulicas, así como a su utilización en diversos procesos industriales de mezcla. Las fluctuaciones turbulentas de presión y velocidad que tienen lugar en este tipo de fenómenos, además de permitir la disipación de energía, originan una serie inconvenientes que tienen que ser atendidos para lograr un correcto funcionamiento de las estructuras que los contienen (cavitación, fatiga, vibraciones, erosión aguas abajo). La incorporación de aire producida en el resalto hidráulico

también produce algunos fenómenos tales como «esponjamiento» del tirante líquido y sobreoxigenación del fluido aguas abajo.

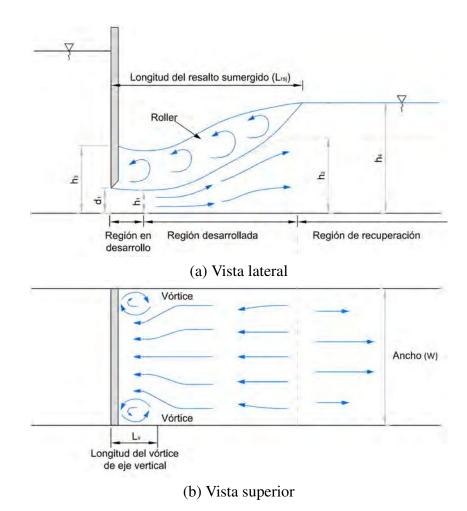


Figura 2.1: Resalto hidráulico sumergido aguas abajo de una compuerta: (a) vista lateral; (b) vista superior

Teniendo en cuenta todo lo expuesto, resulta de importancia poder ahondar en el conocimiento del flujo macroturbulento en el interior del resalto hidráulico a partir de las nuevas técnicas de medición de velocidades (por ejemplo, mediante las técnicas de ADV y PTV), atendiendo a las consideraciones que deben hacerse para poder representarlo satisfactoriamente. Asimismo, interesa investigar en profundidad la capacidad que tienen los diferentes modelos de turbulencia para representar flujos macroturbulentos tridimensionales mediante la fluidodinámica computacional.

Capítulo 3

Estado del arte

Dentro de los procesos de alta turbulencia en capas de mezcla, sin duda el resalto hidráulico es uno de los que ha sido más ampliamente estudiado debido a su extenso uso como disipador de energía en estructuras hidráulicas. Al respecto, varios artículos sobre el estado del arte en la materia han sido publicados, siendo destacadas las contribuciones de Peterka (1978), Rajaratnam (1967), McCorquodale (1986) y Hager (1992), entre otras.

En las décadas recientes, el avance de las técnicas de medición ha permitido llevar a cabo una caracterización más completa de las velocidades producidas en el flujo turbulento interno del resalto hidráulico. En esta dirección, estudios concernientes al campo de velocidades instantáneas en resaltos libres y sumergidos han sido llevados a cabo con diferentes técnicas: a) anemómetro hilo-caliente («hot-wire») (Rouse et al., 1958; Resch y Leutheusser, 1972); b) anemómetro Láser Doppler (LDA); (Long et al., 1990; Svendsen et al., 2000); c) velocimetría por imágenes de partículas (PIV) (Hornung et al., 1995; Lennon y Hill, 2006; Misra et al., 2008; Lin et al., 2012) y d) velocimetría acústica Doppler (ADV) (Liu et al., 2004; Zare y Baddour, 2007; Dey y Sarkar, 2006, 2007a,b; Dey et al., 2010a,b; Castillo, 2009; Romagnoli, 2010). Asimismo, se destacan los aportes realizados en el ámbito de las presiones fluctuantes, desarrollados en Sudamérica, por el INA de Argentina (Lopardo y Solari, 1980; Lopardo et al., 1982, 1984, 2004b, 2018; Lopardo y Henning, 1985; Lopardo, 1987) y el IPH de la Universidad Federal de Río Grande do Sul, Brasil (Endres, 1990; Marques, 1995; Marques et al., 1997, 1999, 2004, 2000, 2017; Gomez, 2000; Teixeira, 2003, 2008; Alves, 2008; Teixeira et al., 2003; Trierweiler Neto, 2006; Prá, 2011; Steinke Jr et al., 2021). Adicionalmente, diferentes trabajos han contribuido a la caracterización del flujo bifásico y la asociada incorporación de aire en el resalto hidráulico (Resch et al., 1974; Murzyn y Chanson, 2008; Chanson y Brattberg, 2000; Chanson y Gualtieri, 2008).

Las investigaciones experimentales más relevantes de los últimos treinta años, refe-

ridas a velocidades en el interior del resalto, se encuentran resumidas en la Tabla 3.1.

Es evidente que la literatura sobre el resalto sumergido no es tan vasta como la del resalto libre. No obstante, varios casos han sido analizados: a) resaltos sumergidos en expansiones abruptas (Bremen y Hager, 1990; Ohtsu *et al.*, 1999; Zare y Baddour, 2007), b) resaltos sumergidos con bloques (Wu y Rajaratnam, 1995a; Habibzadeh *et al.*, 2011), c) resaltos sumergidos con fondo rugoso (Ead y Rajaratnam, 2004; Dey y Sarkar, 2006, 2007a, 2008; Dey *et al.*, 2010a; Bhuiyan *et al.*, 2011), y d) resaltos sumergidos con interacción con sedimentos (Dey y Sarkar, 2007b; Nasrabadi *et al.*, 2012).

Sin duda, una de las contribuciones más destacadas para el conocimiento de las características del flujo interno en el resalto sumergido fue presentada por Long $et\ al.$ (1990). Esos autores llevaron adelante un estudio experimental de alta calidad mediante el empleo de la técnica LDA, incluyendo observaciones de la velocidad media, tensiones de corte turbulentas e intensidades turbulentas medias. Debido a una restricción en el dispositivo experimental, sus mediciones no fueron hechas en el centro del canal, sino que a una distancia de $y=0.36\ W$ de la pared lateral (donde W es el ancho del canal). Aunque Long et al. (1990) presentan mediciones en otros planos más cercanos a la pared, no realizaron mayores consideraciones acerca de la naturaleza tridimensional de la vorticidad en la cercanía de la compuerta.

Otras publicaciones importantes corresponden a una serie de artículos realizados por Dey y Sarkar (2006; 2007a; 2007b; 2008; 2010a; 2010b), en los que se analizaron las velocidades medias y los valores estadísticos turbulentos en chorros sumergidos con la ayuda de un ADV. En 2006, abordaron el cambio en las características del flujo debido a modificaciones en la rugosidad del fondo del resalto sumergido (en el rango de 0.8 a 3 mm). Con el objeto de brindar un soporte a sus trabajos experimentales, desarrollaron una teoría bidimensional para las tensiones de corte, en las cuales usan la autosimilitud de los perfiles de velocidad apoyados en sus datos de laboratorio. También presentan una discusión acerca del crecimiento de la capa límite con la distancia del punto de medición a la compuerta. Por último, estos autores realizaron mediciones y modelaron la erosión aguas abajo de un fondo rígido. En un artículo posterior, Dey y Sarkar (2007a) usaron una serie de experimentos adicionales y la teoría desarrollada en 2006 para arrojar mayor claridad en la distribución longitudinal de la tensión de corte y el decaimiento del chorro, bajo diferentes condiciones de flujo y alturas de rugosidad. Dey y Sarkar (2007b) se concentraron en estudiar el flujo medio y los estadísticos turbulentos en canales erosionables aguas abajo de la compuerta, presentando los resultados de las tensiones de corte en el fondo y el crecimiento del espesor de la capa límite. Dey et al. (2010a) extendieron el análisis para alturas de rugosidad mayores (4.1 y 5.3 mm), y Dey et al. (2010b) desarrollaron un análisis similar para el caso de producirse succión e inyección desde el fondo. Todos estos artículos consideraron al flujo aguas abajo de la compuerta esencialmente como cuasi-bidimensional.

Nasrabadi *et al.* (2012) estudiaron los efectos de la concentración de sedimentos en suspensión sobre el resalto hidráulico sumergido. Encontraron que la concentración de sedimentos no afecta la disipación de energía, aunque la longitud del resalto sumergido es menor que la que corresponde a la de agua clara, mientras que la máxima velocidad decrece. Nuevamente, la aproximación empleada en este estudio fue considerar al resalto cuasi-bidimensional.

Desafortunadamente, el estudio de las estructuras vorticosas tridimensionales del resalto sumergidono no ha sido tenido en cuenta por la mayoría de las investigaciones presentadas en la Tabla 3.1. Los únicos autores que hacen referencia a este aspecto son Zare y Baddour (2007). Ellos introducen dos escalas de longitudes para describir el tamaño de los vórtices verticales y del «roller» horizontal (L_v y L_{rsj} respectivamente). Sin embargo, sus investigaciones corresponden a un caso particular del resalto sumergido, que tiene lugar en una expansión brusca. En este tipo de flujos el comportamiento tridimensional es bastante diferente al caso del resalto sumergido «canónico» en un medio convencional (sección constante sobre fondo horizonal), y los mecanismos principales de formación de los vórtices de eje vertical están asociados a la expansión propiamente dicha. De manera similar, Ohtsu *et al.* (1999) investigaron los patrones de circulación tridimensional en un resalto sumergido aguas abajo de una expansión desde un punto de vista macroscópico.

Wu y Rajaratnam (1995b) efectuaron una comparación entre el resalto libre clásico, el resalto sumergido y el chorro de pared plano como flujos de similares características. Ellos definieron al resalto sumergido como una transición entre el resalto libre y el chorro de pared plano, basándose en la distribución de velocidad media, el decaimiento de la escala de velocidades y el crecimiento de la escala de longitudes del flujo con la distancia horizontal a la compuerta

En la mayor parte de los trabajos antecedentes, el resalto sumergido fue tratado como un flujo bidimensional y el estudio de las estructuras vorticosas tridimensionales no ha sido tenido en cuenta por la mayoría de las investigaciones. En consecuencia, una de las motivaciones de esta tesis ha sido poder contribuir experimentalmente con una visión tridimensional del resalto sumergido.

Por otro lado, el estado del arte de las simulaciones numéricas ha mejorado sustancialmente gracias al desarrollo de los métodos numéricos, los avances en la tecnología computacional y la mejora en los modelos de turbulencia. De esta manera, la simulación CFD está siendo ampliamente utilizada para resolver fenómenos hidrodinámicos complejos en la última década.

Autores (año)	Tipo de resalto	Condiciones de flujo	Variables medidas	Técnica de medición
Long et al. (1990)	Sumergido	Canal rectangular; $Fr_1=3.19-8.19$; S=0.20-1.70	Componentes de la velocidad media, tensiones de corte turbulentas e intensidad turbulenta.	LDA
Wu and Rajaratnam (1995)	Libre y Sumergido	Canal rectangular; Fr ₁ =2.74-7.46; S=2.09-11.04	Velocidad media	Tubo de Prandtl
Hans et al. (1995)	Libre	Canal rectangular; Fr ₁ =2-6	Velocidad media y vorticidad	PIV
Svendsen et al. (2000)	Libre	Canal rectangular; Fr ₁ =1.38,1.46,1.56	Velocidad media, tensiones de corte turbulentas e intensidad turbulenta.	LDA
Liu et al. (2004)	Libre	Canal rectangular; Fr ₁ =2,2.5,3.32	Velocidad media, tensiones de corte turbulentas e intensidad turbulenta.	ADV
Lennon and Hill (2006)	Libre	Canal rectangular; Fr₁=1.4-3	Velocidad media, tensiones de corte turbulentas, intensidad turbulenta y vorticidad	PIV
Dey and Sarkar (2006)	Sumergido (flujo de pared)	Canal rectangular con fondo rugoso; Fr ₁ =2.58-4.87, S=0.96-1.85	Velocidad media, tensiones de corte turbulentas e intensidad turbulenta	ADV
Zare and Baddour (2007)	Sumergido	Canal rectangular con una expansion abrupta; Fr ₁ =2-3.75, S=0.7-0.9	Velocidad media	ADV
Dey and Sarkar (2007b)	Sumergido (flujo de pared)	Canal rectangular con fondo móvil (sedimentos); Fr ₁ =3.15-4.87, S=0.99-1.72	Velocidad media, tensiones de corte turbulentas e intensidad turbulenta	ADV
Dey and Sarkar (2008)	Sumergido (flujo de pared)	Canal rectangular con fondo rugoso; $Fr_1=2.58-4.87$, $S=0.96-1.85$	Velocidad media, tensiones de corte turbulentas e intensidad turbulenta	ADV
Misra et al. (2008)	Libre	Canal rectangular; Fr ₁ =1.19	Velocidad media, tensiones de corte turbulentas, vorticidad, intensidad turbulenta y energía cinética turbulenta	PIV
Castillo (2009)	Libre y Sumergido	Canal rectangular; Fr ₁ =2-5, h ₄ /h ₁ =4-10	Velocidad media	ADV
Dey et al. (2010a)	Sumergido (flujo de pared)	Canal rectangular con fondo rugoso; Fr ₁ =1.02, S=6.63-6.73	Velocidad media, tensiones de corte turbulentas, intensidad turbulenta y el momento de tercer orden	ADV
Dey et al. (2010b)	Sumergido (flujo de pared)	Canal rectangular con inyección y succión desde la pared; Fr1=2.82-1.02, S=3.07-7.07	Velocidad media, tensiones de corte turbulentas, intensidad turbulenta y el momento de tercer orden	ADV
Lin et al. (2012)	Libre	Canal rectangular; Fr ₁ =2.43-5.35	Velocidad media, tensiones de corte turbulentas e intensidad turbulenta	PIV
Nasrabadi et al. (2012)	Sumergido	Canal rectangular con sedimentos, $Fr_1=2-5$, $h_3/h_1=2.6-4.5$	Velocidad media	Tubo de Pitot
Romagnoli et al. (2012)	Libre	Canal rectangular; Fr1=3	Varianza y escala integral del tiempo	ADV
Estudio actual	Sumergido	Canal rectangular; Fr ₁ =2-5, S=0.18-2.3	Velocidad media, tensiones de corte turbulentas, vorticidad y energía cinética turbulenta	ADV y PTV

Tabla 3.1: Resumen de las investigaciones experimentales en el resalto hidráulico libre y sumergido desde 1990 con énfasis en las características internas del flujo.

En la bibliografía se encuentran disponibles numerosas investigaciones sobre simulaciones numéricas del resalto hidráulico (Ma et al., 2001; Federico et al., 2012; Chen et al., 2010; Amorim et al., 2004; Sung et al., 1999; Chippada et al., 1994; González y Bombardelli, 2005; Jesudhas et al., 2018). Sin embargo, solo algunos pocos de estos estudios han sido dedicados a los resaltos sumergidos, destacándose como una de las primeras contribuciones la realizada por Long et al. (1991). Ellos emplearon un modelo $k-\varepsilon$ estándar para predecir el flujo medio y las características turbulentas del resalto. Para discretizar el dominio de cálculo y lograr una correcta interpretación de la superficie libre, desarrollaron un método de desplazamiento del volumen de control. Ma et al. (2001) también estudiaron las características turbulentas del resalto sumergido mediante CFD. En este caso aplicaron el concepto de «fracción de volumen de fluido» o VOF, por sus siglas en inglés (Volume of Fluid Fraction) para seguir la superficie libre. Por su parte, Javan y Eghbalzadeh (2013) emplearon un método de malla móvil Lagrangiano para simular la superficie libre. En lo que respecta a la resolución de ecuaciones de Navier-Stokes (N-S), Ma et al. (2001) y Javan y Eghbalzadeh (2013) emplearon las ecuaciones impermanentes de N-S para predecir el comportamiento del flujo, mientras que Long et al. (1991) utilizaron las ecuaciones permanentes. A su vez, Nazari et al. (2012) llevaron adelante un análisis numérico del resalto sumergido implementando un método semi-implicito de movimiento de partículas. Gumus et al. (2016) desarrollan una comparación de diferentes modelos de turbulencia (k- ε estándar, RNG k- ε , k- ε realizable, SST y RSM) para dos condiciones de resalto sumergido, indicando que con el modelo RSM se consigen las mejores estimaciones del flujo.

Recientemente, en forma contemporánea a este trabajo de tesis, Jesudhas *et al.* (2017) presentaron una simulación numérica tridimensional utilizando «detached eddy simulation» (DES). En este último trabajo también se empleó el método VOF con un esquema de alta resolución (HRIC) para predecir el comportamiento de la superficie libre. Jesudhas *et al.* (2019), usando también una aproximación del tipo DES, presentan una simulación numérica de un resalto sumergido en una expansión abrupta (Zare y Baddour, 2007). En este artículo, las estructuras de flujo coherentes se examinan cuantitativamente utilizando el criterio λ_2 de identificación de vórtice y la descomposición ortogonal.

En la Tabla 3.2 se presenta un resumen de las simulaciones numéricas más destacadas del resalto sumergido, de donde se desprende que en todos los casos las simulaciones fueron bidimensionales, con excepción de Jesudhas *et al.* (2017) y Jesudhas *et al.* (2019), si bien este último presenta un caso particular del resalto. Sin embargo, como se dijo anteriormente, el resalto sumergido es un flujo turbulento de caracter tridimensional, con lo cual se estima que un aspecto fundamental de estos escurrimientos no ha

sido abordado en profundidad por las simulaciones numéricas precedentes.

Autor (año)	Método Computacional (dimensión)	Representación de la superficie libre	Resolución de la malla	Modelo de Turbulencia	Números adimensionales	Verificación y validación
Long et al. (1991)	FVM (2D)	Desplazamiento del volumen de control	Tres mallas no uniformes dependiendo de las condiciones experimentales 71x45, 74x50; 90x45	RANS (k-ɛ)	Fr ₁ =3.19-8.19; S=0.24-0.85	Validado vs. Long. et al (1990); no hay verificación
Ma et al. (2001)	FVM (2D)	VOF	Tres mallas no uniformes dependiendo de las condiciones experimentales 75x80, 95x40; 75x40	RANS (k-ɛ)	Fr ₁ =3.2-8.2; S=0.24-0.85	Validado vs. Long. et al (1990); verificación con convergencia de malla cualitativa
Nazari et al. (2012)	SPH (2D)	Inherente al método	30.000 partículas, con una distancia de 0.0005 m	Escala Sub-partícula (SPS)	Fr ₁ =5.49; S=0.63 Fr ₁ =8.19; S=0.24	Validado vs. Long. et al (1990); no hay verificación
Java y Eghbalzadeh (2013)	FVM (2D)	Remallado Lagrangiano	No uniforme 140x36	URANS (k-ɛ)	Fr ₁ =3.19-8.19; S=0.24-0.85	Validado vs. Long. et al (1990); no hay verificación
Gumus et al. (2016)	FVM (2D)	VOF	No uniforme 29900 celda	RANS (k-ɛ; RNG; realizable k-ɛ; SST; RSM)	Fr ₁ =1.24; S=1.84 Fr ₁ =2.06; S=0.74	Validado con mediciones propias; verificación con índice de convergencia GCI
Jesudhas et al. (2017)	FVM (3D)	VOF	No Uniforme 5.6 millones de celdas	DES	Fr ₁ =8.19; S=0.24	Validado vs. Long. et al (1990); verificación con convergencia de malla cualitativa
Jesudhas et al. (2019)	FVM (3D)	VOF	No Uniforme 3.5 millones de celdas	DES	Fr ₁ =2.00 (resalto en una expansión brusca)	Validado vs. Zare and Baddour (2007); verificación con convergencia de malla cualitativa
Estudio actual (2020)	FVM (3D)	VOF	No uniforme 5.3 millones de celdas	RANS (k-ɛ; k-ω; RNG) LES (Smagorinsky)	Fr ₁ =2.00; S=1.0	Validado con mediciones propias; verificación con convergencia de malla cualitativa e índice de convergencia GCI (RANS)

Tabla 3.2: Resumen de las simulaciones numéricas del resalto sumergido.

Capítulo 4

Objetivos

El resalto hidráulico ha sido objeto de diversas investigaciones experimentales a través de los años. Sobre la base de la evaluación de la literatura realizada en el capítulo 3, resulta evidente que existe abundante información sobre el flujo medio y los estadísticos turbulentos en el resalto sumergido, mayormente sobre el plano vertical central. Sin embargo, la evaluación también indica la escasa información sobre los detalles tridimensionales del flujo en las proximidades de la compuerta. En este marco, los datos disponibles darían una validación incompleta a los modelos matemáticos y numéricos en esa región del flujo. Por ese motivo, se puede afirmar que tener un mayor conocimiento de estas estructuras coherentes facilitará la validación de los modelos que traten de interpretar el fenómeno. Por lo tanto, uno de los principales objetivos de este trabajo de tesis es contribuir experimentalmente con una visión tridimensional del resalto sumergido.

En particular, las preguntas que se pretenden responder con los resultados de la actividad experimental de la investigación son las siguientes:

- a) ¿De qué manera interactúa la vorticidad de eje vertical con la vorticidad de eje horizontal? ¿Hay alguna relación entre el tamaño de los vórtices de eje vertical y horizontal?
- b) ¿Cuáles son los mecanismos que intervienen en la formación de los vórtices de eje vertical que se generan aguas abajo de la compuerta en el resalto sumergido?
- c) ¿Tiene influencia la anisotropía de la turbulencia en el tamaño y forma de los vórtices de eje vertical?
- d) ¿Qué relación existe en la intensidad de estos vórtices y los parámetros adimensionales como el número de Froude incidente Fr_1 y el índice de sumergencia S del resalto sumergido?

Asimismo, se dedica un apartado especial al estudio de la longitud del resalto sumergido (L_{rsj}) , una de las variables más significativas del fenómeno desde el punto de vista

de la turbulencia y del interés económico por el costo de los cuencos amortiguadores.

Otro aspecto que vale la pena mencionar es la aplicación de técnicas experimentales no intrusivas, de relativo bajo costo, que podrían ser usadas para explorar las características del flujo en el resalto hidráulico sumergido y que no habían sido empleadas todavía. En virtud de ello, en esta investigación se ha utilizado la técnica de PTV para ayudar a caracterizar los vórtices de eje vertical presentes en este complejo escurrimiento.

En relación a las simulaciones numéricas, la revisión bibliográfica llevada adelante en el capítulo 3 muestra que la mayoría de las simulaciones han sido desarrolladas bajo la hipótesis de un comportamiento bidimensional del resalto sumergido. En este sentido, otro de los objetivos generales de esta investigación es predecir el comportamiento de ese tipo particular de resalto a partir de simulaciones tridimensionales, investigando la capacidad que tienen diferentes modelos de turbulencia para representar las estructuras coherentes originadas en las proximidades de la compuerta (vórtices de eje vertical). De igual modo, habiendo logrado una validación detallada de la modelación, se pretende abordar la dinámica del flujo interno a partir de conocer los espectros de energía, y las frecuencias dominantes asociadas, de las variables más relevantes (presión, superficie libre y velocidad).

Otro aspecto que se profundiza en la presente tesis con referencia a las simulaciones CFD, está relacionada con el desprendimiento de la capa límite en el piso del resalto, teniendo en cuenta su importancia desde el punto de vista de la ingeniería, por su vinculación con las solicitaciones en los cuencos disipadores. El objetivo es aportar evidencias sobre las causas y consecuencias que dan origen a este fenómeno, que fuera expuesto a partir de mediciones de presiones instantáneas (Lopardo y Casado, 2007).

Parte II

CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL FLUJO TURBULENTO EN RESALTO HIDRÁULICO SUMERGIDO

Capítulo 5

Consideraciones preliminares

Esta parte de la tesis, dedicada al estudio experimental del resalto sumergido, está dividida en cinco capítulos. En el capítulo 6 se detallan las instalaciones experimentales empleadas para realizar esta investigación, junto con las condiciones de flujo ensayadas. En el capítulo 7 y 8 se describen las técnicas de ADV y de PTV respectivamente, que fueron utilizadas para caracterizar experimentalmente el resalto hidráulico. En estos capítulos se encuentran resumidas las características principales de los dispositivos utilizados, su principio de funcionamiento y el procesamiento de señales empleado para tener una buena representación de los parámetros medios y turbulentos del fenómeno.

En el capítulo 9 se presentan los resultados obtenidos en esta etapa. Las principales contribuciones de esta investigación en materia experimental se encuentran volcadas en los artículos *Experimental characterization of three-dimensional flow vortical structures in submerged hydraulic jumps* publicado en el Journal of Hydro-environment Research (de Dios *et al.*, 2017) y *Longitud del resalto sumergido: una mirada desde la turbulencia* (de Dios *et al.*, 2016) publicado en los anales del XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica.

En el anexo C se detallan todas las mediciones experimentales desarrolladas en esta etapa.

Capítulo 6

Instalación experimental y métodos

6.1. Canal de ensayo y dispositivos asociados

Las mediciones se desarrollaron en un canal rectangular, de 13.5 m de longitud, el cual tiene un ancho (W) de 0.6 m y un alto de 0.6 m, ubicado en el Departamento de Hidráulica de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina (Figura 6.1). Las paredes laterales y el fondo del canal están conformados en material acrílico transparente. El suministro de agua se realiza mediante una cisterna elevada que es alimentada por una bomba cuyo caudal máximo es de 0.25 m³/s. El flujo de agua es controlado por una válvula colocada en la tubería de alimentación de caudal, aguas arriba del canal de ensayos, mientras que una compuerta vertical es utilizada para mantener el tirante líquido aguas abajo del canal. En la Figura 6.2 se puede observar un esquema del circuito de ensayos empleado para las mediciones experimentales.

La compuerta plana utilizada para generar el resalto sumergido es de 3 cm de espesor, pero tiene el labio inferior en arista viva, de manera de obtener una contracción perfecta del flujo en un resalto hidráulico libre (Figura 6.3.a). La medición de caudal se efectuó mediante un vertedero en «V» a 90° con cresta en arista viva (Figura 6.3.b). Este vertedero ha sido construido siguiendo la Norma British Standard (ISO, 2008) y su fórmula de descarga viene dada por la ecuación 6.1.

$$Q = C_d \frac{8}{15} \tan \frac{\alpha_v}{2} \sqrt{2g} h_e^{2.5}$$
 (6.1)

donde Q es el caudal medido, C_d es el coeficiente de descarga, α_v es el ángulo del vertedero en «V» y h_e es la carga efectiva del vertedero.



Figura 6.1: Canal de ensayos - Departamento de Hidráulica - UNLP.

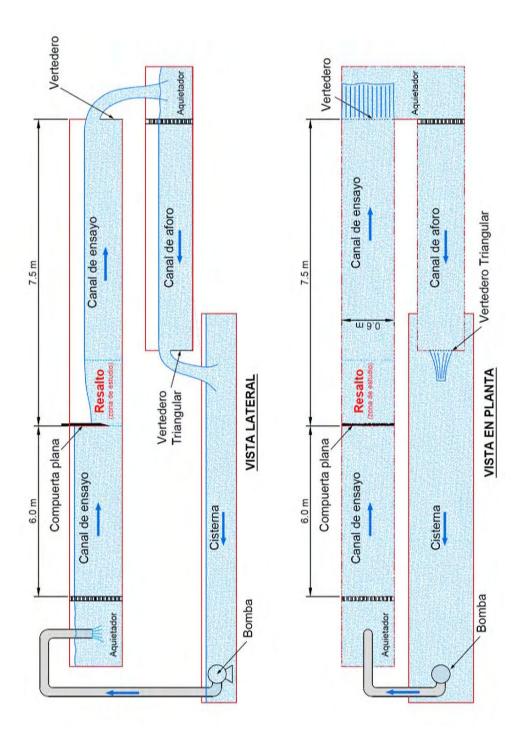


Figura 6.2: Esquema del canal de ensayos.

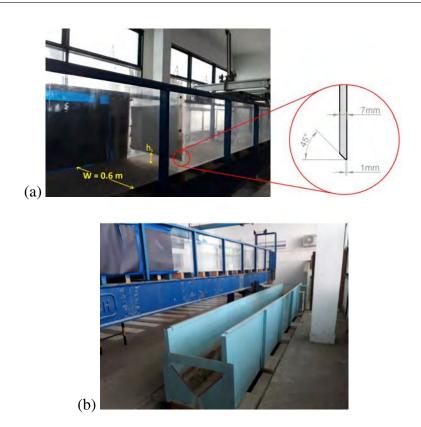


Figura 6.3: (a) Compuerta vertical para generar el resalto sumergido; (b) canal de aforo con vertedero en «V».

La incertidumbre en la medición del caudal de esta estructura de aforo, puede calcularse a partir de la combinación de todas las incertidumbres que contribuyen significativamente a la determinación del gasto. En este sentido, la ISO (2008) propone la siguiente ecuación 6.2 para la determinación de la incertidumbre estándar del caudal (σ_O) .

$$\sigma_Q = \sqrt{\left(\sigma_{C_d}\right)^2 + \left(\sigma_{tan\left(\frac{\alpha_v}{2}\right)}\right)^2 + \left(2.5\,\sigma_{h_e}\right)^2} \tag{6.2}$$

donde σ_{C_d} es la incertidumbre estándar del coeficiente de descarga, $\sigma_{tan(\frac{\alpha}{2})}$ es la incertidumbre estándar del ángulo «V», σ_{h_e} es la incertidumbre estándar de la carga efectiva, la cual es una combinación de la incertidumbre del instumento de medición y la incertidumbre estadística del dato medido.

En la Tabla 6.1 se resumen los valores de incertidumbre de las variables mencionadas anteriormente para las mediciones de caudal de la presente tesis. La máxima incertidumbre en la medición de caudal para los ensayos realizados resulta inferior a 2% al nivel de confianza del 95%.

	Valor	Fórmula	Observación
	0.5%		Valor obtenido a partir de ISO, 2008
$\sigma_{tanrac{a_p}{2}}$	0.36 %	$\frac{1}{\sqrt{6}} \left[\frac{\tan\left(\frac{90.5}{2}\right) - \tan\left(\frac{89.5}{2}\right)}{2} \right] \frac{100}{\tan\left(\frac{90}{2}\right)}$	Se estima que el valor de α está entre 90.5° y 89.5°. Se emplea una distribución triangular de la incertidumbre (ISO, 2008)
Incertidumbre estadística h _e	0.0004 m	$\frac{1}{\sqrt{6}} \left[\frac{0.7 \text{ mm} + 1.3 \text{ mm}}{2} \right]$	Durante los ensayos el dato medido $h_{\rm e}$ tuvo una desviación máxima de -1.3 mm y +0.7 mm (error estadistico del dato medido). Se emplea una distribución triangular de la incertidumbre (ISO, 2008)
Incertidumbre instrumento h _e	0.001 m		La incertidumbre del instrumento de medición de $h_{\rm e}$ es de 1 mm.
σ_{h_e}	0.46 %	$\sqrt{(0.0004)^2 + (0.001)^2} \frac{100}{0.234 mm}$	Es una combinación de la incertidumbre del instumento de medición y la incertidumbre estadística del dato medido. El ensayo con mayor desviación de h _e , tiene un valor medio de 0.234 mm
00	% 5670	Ecuación 6.1	
σ _{095%}	1.90%	200	Incertidumbre al nivel de confianza del 95% basado en un factor de cobertura de 2.

Tabla 6.1: Incertidumbre en la determinación del caudal

6.2. Condiciones de ensayo

Para caracterizar los ensayos se empleó la definición clásica de número de Froude (Fr_1) y número de Reynolds (Re_1) , $Fr_1 = U_1/(gh_1)^{0.5}$ y $Re_1 = (\rho U_1h_1)/\mu$ respectivamente, mientras que para el factor de sumergencia (S) se utilizó la ecuación 6.3 (Rajaratnam, 1967).

$$S = \frac{(h_4 - h_2)}{h_2} \tag{6.3}$$

donde h_2 es el tirante subcrítico del resalto libre para una determinada apertura de compuerta y caudal de descarga, y h_4 es el tirante «de restitución», aguas abajo (Figura 2.1).

Los ensayos experimentales abarcaron valores de número de Froude de ingreso de 2 a 5 y factores de sumergencia en el rango de 0.18 a 2.30.

La apertura de la compuerta (d_1) se varió de manera de obtener diferentes valores de Fr_1 manteniendo al mismo tiempo números de Reynolds relativamente elevados a la entrada del resalto hidráulico (Re_1 mayores a 40 000). La sección contraída (h_1) fue calculada como el producto de d_1 por 0.61, que corresponde con una contracción perfecta del flujo. Además, U_1 listado en la Tabla 6.2 es la velocidad media en la sección contraída.

De acuerdo a las condiciones de ensayo, y teniendo en cuenta el propósito de cada uno de ellos, se empleó la técnica de ADV y/o PTV. Mientras que la técnica de PTV fue utilizada en todos los ensayos para describir el campo de velocidades superficiales, y especialmente caracterizar los dos vórtices de eje vertical, las mediciones con ADV se efectuaron sólo para alguna de las condiciones donde se consideró importante tener un conocimiento más profundo de los estadísticos turbulentos y de las velocidades en el interior del resalto. Respecto a las mediciones con ADV, la mayoría de los ensayos fueron realizados en el plano vertical central del canal (y/W = 0.5).

Sin perjuicio de ello, en el caso del ensayo T_{19} se hicieron muestreos en otros planos verticales (y/W = 0.5, 0.25 y 0.11). Por otra parte, durante los ensayos T_2 , T_{18} y T_{19} se obtuvieron datos del escurrimiento en planos horizontales en la región cercana a la compuerta. Las secciones verticales donde se efectuó el muestreo no fueron equidistantes. Por el contrario, la distancia en la dirección del flujo desde la compuerta a cada vertical fue variando en cada condición de ensayo, de modo de obtener una representación más satisfactoria de las características del flujo. En cuanto a las observaciones en cada sección, el espaciamiento vertical fue variándose de acuerdo a la sumergencia, desde 0.01 a 0.03 m. En un número significativo de ensayos se determinaron las longitudes características L_{rsj} y L_v .

En la Tabla 6.2 se describen todas las condiciones de ensayo estudiadas y las técnicas de medición empleadas.

Ensayos	Fr ₁	5 [-]	Re ₁	d ₁ [m]	h ₁ [m]	U ₁ [m/s]	h ₂ [m]	h ₄ [m]	Mediciones realizadas
T ₁	2.0	0,61	43 839	0.060	0.037	1,20	0.09	0.140	PTV
T ₂	2.0	1.00	61240	0.075	0.046	1.34	0.11	0.217	ADV, PTV, L _{rsj} , L
T ₃	2.0	1.50	43 839	0.060	0.037	1.20	0.09	0.217	PTV
T ₄	2.0	2.30	43 839	0.060	0.037	1.20	0.09	0.287	PTV
Ts	3.0	0.24	65 659	0.060	0.037	1.79	0.14	0.171	ADV, PTV, L _{rsj} , L _v
T ₆	3.0	0.60	65 659	0.060	0.037	1.79	0.14	0.220	PTV, L _{rsj} , L _v
T ₇	3.0	1.05	65 659	0.060	0.037	1.79	0.14	0.282	PTV, L _{rsj} , L _v
T _g	3.0	2.00	65 659	0.060	0.037	1.79	0.14	0.414	PTV
T ₉	4.0	0.20	66 684	0.050	0.031	2,19	0.16	0.190	PTV, L _{rsj} , L _v
T ₁₀	4.0	0.20	42 227	0.037	0.023	1.87	0.12	0.140	PTV
Tii	4.0	0.61	66 684	0.050	0.031	2.19	0.16	0.254	L _{rsj} , L _v
T ₁₂	4.0	0.62	42 123	0.037	0.023	1.87	0.12	0.188	PTV
T ₁₃	4.0	1.05	66 684	0,050	0.031	2.19	0.16	0.324	L_{rsj} , L_{v}
T ₁₄	4.0	1.08	42 123	0.037	0.023	1.87	0.12	0.241	PTV
T ₁₅	4.0	1.80	42 227	0.037	0.023	1.87	0.12	0.325	PTV
T ₁₆	5.0	0.18	53 046	0.037	0.023	2.35	0.15	0.175	ADV, L _{rsj} , L _v
T ₁₇	5.0	0.21	52730	0.037	0.023	2.34	0.15	0.178	PTV
T ₁₈	5.0	0.61	52851	0.037	0.023	2,34	0.15	0.238	ADV, PTV, L _{rsj} , L
T ₁₉	5.0	1.04	53 272	0.037	0.023	2.36	0.15	0.304	ADV, Lrsj, Lv
T ₂₀	5.0	1.06	52610	0.037	0.023	2.33	0.15	0.303	PTV

Tabla 6.2: Condiciones experimentales ensayadas.

Capítulo 7

Velocimetría Acústica Doppler (ADV)

7.1. Aspectos Generales

El Vectrino es un velocímetro acústico de alta resolución basado en el principio Doppler, usado para mediciones de velocidad en tres dimensiones en un rango amplio de aplicaciones, que van desde registros en laboratorio hasta valores obtenidos en el océano. Este instrumento en particular ha sido desarrollado por la firma Nortek y se comercializa desde 2005. Es un sensor puntual de velocidades instantáneas que ofrece una frecuencia de medición de hasta 200 Hz en un volumen de muestreo relativamente pequeño (cilindro de 6 mm de diámetro y hasta 2.5 mm de largo) sin necesidad de calibración sistemática.

Durante los experimentos relativos al presente trabajo fue utilizado un Vectrino con «Vectrino Plus» firmware como el que se muestra en la Figura 7.1.





Figura 7.1: Velocímetro Vectrino.

Este sensor consta de una pequeña sonda de medición montada sobre un vástago fijo de 30 cm de longitud conectada a la carcasa principal. La sonda posee cuatro transductores de recepción, cada uno colocado dentro de un brazo receptor y un transductor de transmisión en el centro. En la Figura 7.2 se puede observar el esquema del cabezal de medición con las dos configuraciones posibles: «downlooking» y «sidelooking» para mediciones verticales y laterales respectivamente.

Las principales características del velocímetro utilizado en particular para los ensayos son:

• Resolución espacial (volumen de muestreo)

Diámetro: 6 mm

Altura: 2.5, 4, 5.5, 7, 8.5 mm (selectionable por el usuario)

Distancia desde el emisor: 0.05 m

Resolución temporal

Frecuencia de registro (f_R) : 1–200 Hz (seleccionable por el usuario)

Frecuencia interna de medición (f_s): 200–2564 Hz

Configuraciones de registro

Rango de velocidad: ± 0.01 , 0.1, 0.3, 1, 2, 4 m/s (seleccionable por el usuario)

Precisión en la medición de velocidad: ± 0.5% de la velocidad medida ± 1 mm/s

Pulso acústico

Frecuencia acústica: 10 MHz.

Resolución: 0.45 dB

Rango dinámico: 60 dB

Longitud del pulso: 0.3, 0.6, 1.2, 1.8, 2.4 mm (seleccionable por el usuario)

Sensor de temperatura (incorporado a la probeta)

Temperatura Rango: – 4 °C a 40°C.

Precisión/Resolución: 1 °C / 0.1 °C.

Tiempo de respuesta: 5 min





Figura 7.2: Esquema del cabezal de medición del Vectrino: configuración «Downlooking» (izquierda); configuración «Sidelooking» (derecha).

7.1.1. Efecto Doppler

El efecto Doppler es el cambio de frecuencia aparente de una onda acústica producto del movimiento relativo de la fuente respecto a su observador. Cuando las partículas se desplazan en sentido contrario a lo que lo hace el pulso acústico, la frecuencia de la señal recibida (f_{re}) es menor a la del pulso emitido (f_e) . De manera contraria ocurre cuando el objetivo se desplaza en la misma dirección que lo hace el pulso de sonido $(f_e < f_{re})$. En caso de que el desplazamiento sea transversal, o bien que no haya desplazamiento de partículas será $f_e = f_{re}$. En la Figura 7.3 se presenta en forma esquemática el principio del desplazamiento Doppler que sufre un pulso acústico.

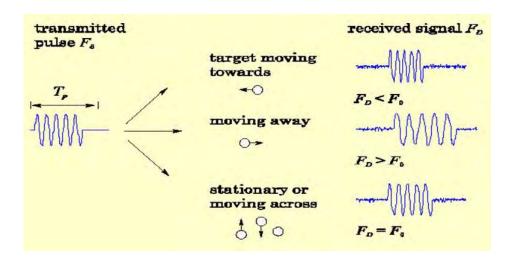


Figura 7.3: Principio del desplazamiento Doppler que sufre un pulso acústico (fuente: RCEM, 2009).

En forma genérica, la frecuencia recibida f_{re} se relaciona con la frecuencia emitida f_e a partir de la siguiente expresión de la física clásica:

$$f_{re} = \left(\frac{c \pm v_r}{c \pm v_s}\right) \cdot f_e \tag{7.1}$$

donde c es la velocidad de propagación del sonido en el medio, v_r es la velocidad del receptor con respecto al medio, positiva si el receptor se mueve hacia el emisor y negativa en la dirección contraria, v_s es la velocidad del emisor con respecto al medio, positiva si el emisor se aleja del receptor y negativa en la dirección contraria.

En el caso del Vectrino⁺, un pulso es transmitido desde un emisor central (transductor) y el cambio Doppler introducido por la reflexión de las partículas suspendidas en el agua es capturada por cuatro receptores (Nortek, 2004). Estas partículas son sedimentos suspendidos propios del agua o incorporados en ella artificialmente y se mueven con la misma velocidad que la corriente. En consecuencia, la velocidad que es registrada corresponde a la velocidad del agua (Nortek, 2004). El efecto Doppler que se produce en este instrumento puede ser interpretado como la suma de dos desfasajes. El primero es el que se produce entre el transductor (emisor fijo) y las partículas de agua que se mueven con una velocidad v_b (receptor móvil). La frecuencia de las ondas recibidas por las partículas (f_b) puede escribirse en función de la frecuencia emitida por el transductor (f_o) del siguiente modo:

$$f_b = \left(\frac{c + v_b}{c}\right) \cdot f_o \tag{7.2}$$

El segundo desfasaje es el que ocurre entre las partículas (emisor móvil) y los receptores del Vectrino⁺ (receptor fijo). Asumiendo las ondas reflejadas en el blanco como emitidas desde una fuente móvil con una frecuencia f_b , la frecuencia recibida por los receptores (f_r) estacionarios es:

$$f_r = \left(\frac{c}{c - v_b}\right) \cdot f_b \tag{7.3}$$

En consecuencia, el desfasaje Δf («Doppler shift frecuency») entre la frecuencia de la onda emitida f_0 y la frecuencia de la onda recibida f_r es igual a:

$$\Delta f = f_r - f_0 = f_b \left(\frac{c}{c - \nu_b}\right) - f_0 \tag{7.4}$$

Reemplazando la expresión 7.2 en la 7.4 se obtiene la siguiente ecuación para el desfasaje Δf :

$$\Delta f = f_0 \left(\frac{2v_b}{c - v_b} \right) \tag{7.5}$$

Es válido considerar que la velocidad del blanco (partículas) es muy inferior a la

velocidad del sonido ($v_b << c$), de este modo la ecuación 7.5 resulta:

$$\Delta f = f_0 \left(\frac{2v_b}{c} \right) \tag{7.6}$$

Finalmente, al tratarse de un esquema bi-estático el que utiliza el Vectrino⁺ (pues el emisor y receptor se encuentran separados) la proyección de v_b sobre la bisectriz del ángulo cenital formado entre el emisor y el eje del recepto (eje bi-estático o «bistatic axis») es la que contribuye al desplazamiento Doppler, como se observa en la Figura 7.4. La proyección de v_b se denomina velocidad radial v_i («beam velocity») y la expresión 7.6 puede escribirse como:

$$\Delta f = f_0 \left(\frac{2v_i cos\theta}{c} \right) \tag{7.7}$$

donde θ es denominado ángulo bi-estático, siendo éste el ángulo formado entre el eje bi-estático y el eje del receptor.

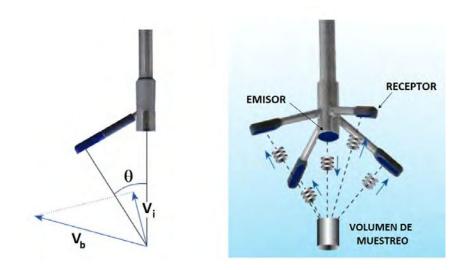


Figura 7.4: Esquema bi-estático utilizado en el Vectrino⁺ (fuente: Nortek, 2004).

7.1.2. Cómputo de velocidades

El Vectrino⁺ utiliza la técnica «pulso-a-pulso» coherente («pulse-to-pulse coherent Doppler techniques») para el cálculo del desfasaje Doppler (Lhermitte y Serafin, 1984). En esta técnica se emplea un esquema de doble par de pulsos que tienen diferente duración (t_1 y t_2) y que están separados un tiempo Δt . El desfasaje Doppler es estimado desde el cambio en fase entre estas dos señales ($\Delta \varphi$). En la Figura 7.5 se muestra en forma esquemática este cambio en fase.

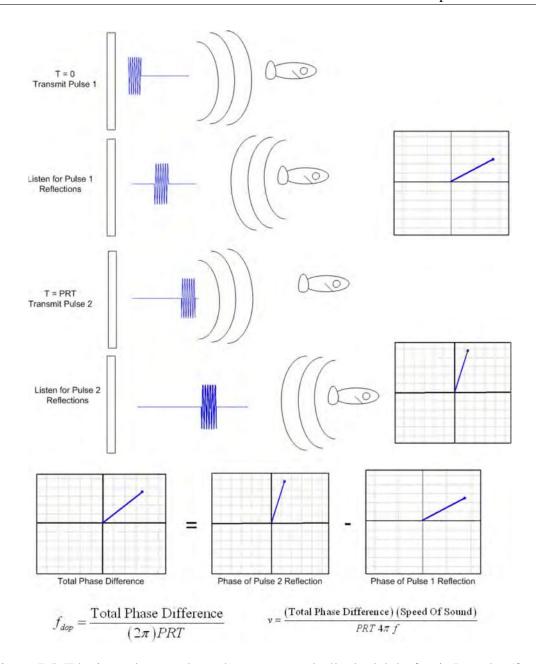


Figura 7.5: Técnica pulso-a-pulso coherente para el cálculo del desfasaje Doppler (fuente: Nortek, 2012).

En el instante inicial (t=0) se transmite el pulso 1, el cual es recibido en un tiempo menor a Δt $(t<\Delta t)$. Luego en $t=\Delta t$ se emite el segundo pulso, que se registra en un tiempo inferior a $2.\Delta t$ $(\Delta t < t < 2.\Delta t)$. Si se expresan las señales recibidas a partir de números complejos se obtiene que el cambio en fase $\Delta \phi$ es igual a :

$$\Delta \varphi = \varphi_2 - \varphi_1 \tag{7.8}$$

donde φ_1 es la fase del pulso 1 recibido y φ_2 es la fase del pulso 2 recibido. Luego $\Delta \varphi$ es usada en la relación Doppler para calcular la velocidad, es decir, para cada eje bi-estático es posible calcular la velocidad radial v_i en función del desplazamiento Doppler $\frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$ con la siguiente expresión:

$$v_i = \frac{c}{4\pi f_{vect}} \cdot \frac{\Delta \varphi_i}{\Delta t}, i = 1a4 \tag{7.9}$$

donde c es la celeridad de propagación del sonido en el agua, f_{vect} es la frecuencia de los pulsos acústicos emitidos por el Vectrino⁺ (10 MHz) y $\Delta \varphi_i$ es el desfasaje en frecuencia calculado en cada receptor. Este desfasaje en frecuencia ($\frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$) es obtenido a partir de la función autocorrelación y correlación cruzada utilizando la técnica «pulsoa-pulso» coherente (Lhermitte y Serafin, 1984).

Luego, mediante una matriz de transformación las velocidades v_i son convertidas al sistema de coordenadas cartesianas:

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_{z1} \\ v_{z2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix}$$

donde $(v_x, v_y, v_{z1}, v_{z2})$ es el vector velocidad en coordenadas cartesianas y (v_1, v_2, v_2, v_3) las velocidades en cada uno de los ejes bi-estáticos. Nótese que al tener cuatro receptores, el Vectrino⁺ permite una redundancia en el cálculo de la velocidad en vertical v_z de modo de poder contrastar la calidad del registro. Los elementos de la matriz transformación dependen del ángulo bi-estático θ (Figura 7.4) y son provistos por el fabricante, por lo que no necesitan ser calibrados.

De manera similar a lo expresado por McLelland y Nicholas (2000), para el caso del Vectrino⁺ las velocidades radiales v_i son computadas de manera secuencial en cada receptor, por lo que es necesario el siguiente tiempo T_{ADV} para completar una medición:

$$T_{ADV} = 4 (t_1 + \triangle t + t_2 + \triangle t + t_3 + \triangle t + t_4 + \triangle t)$$
 (7.10)

Este procedimiento es transmitido con una frecuencia f_s (1/T), que varía dependiendo de la frecuencia de registro f_r $(1 \ a \ 200 \ Hz)$ y del rango de velocidad adoptado $(0.03 \ m/s, 0.1 \ m/s, 0.3 \ m/s, 1 \ m/s, 2.5 \ m/s, 4 \ m/s)$. Como consecuencia de ésto, García $et \ al.$ (2005) expresan que la velocidad obtenida es un valor promedio de las velocidades reales en un intervalo de tiempo T_{ADV} . De este modo, el proceso de adquisición puede ser considerado como un filtro analógico de corte igual a f_s , y T_{ADV} como el tiempo de respuesta del instrumento. La consecuencia directa de este proceso, es que no es posible observar frecuencias mayores a f_s y que la energía para frecuencias $f_s/2 \ge f \ge f_s$ se doblará dentro del rango $0 \ge f \ge f_s/2$ (García $et \ al.$, 2005). Esto último se conoce como fenómeno de «aliasing» o doblamiento de la señal, siendo $f_s/2$ la frecuencia más

alta que puede resolver el instrumento, y es llamada frecuencia de Nyquist (Bendat y Piersol, 2011). En la Tabla 7.2 se presenta el valor máximo de frecuencia interna f_s del Vectrino con «Vectrino Plus» firmware en función del rango de velocidad adoptado.

Rango de velocidad [m/s]	Frecuencia interna de muestreo [Hz]
+/- 4.0	2 5 6 4
+/- 2.5	1818
+/- 1.0	1754
+/- 0.3	1 124
+/- 0.1	667
+/- 0.03	426

Tabla 7.2: Máxima frecuencia interna de medición del Vectrino con «Vectrino Plus» firmware.

Por otro lado, al definir el usuario la frecuencia de registro f_R , el instrumento realiza un promedio de N valores de manera que se genera una nueva señal digital que puede relacionarse con la frecuencia f_s por la expresión $f_R = f_s/N$. De acuerdo con García et al. (2005) este proceso de adquisición puede ser considerado como un filtro digital no recursivo («non-recursive filter»), cuyo factor de filtrado viene dado por la ecuación 7.11.

$$|H(f)| = \frac{f_R}{f_s} \sqrt{\frac{1 - \cos\left(2\pi \frac{f}{f_r}\right)}{1 - \cos\left(2\pi \frac{f}{f_s}\right)}}$$
(7.11)

La frecuencia de corte f_{corte} se define como aquella frecuencia donde $|H(s)| = \sqrt{2}/2$. Por ende, si se considera $f_r = 50$ Hz y $f_s = 1754$ Hz (máximo valor correspondiente al rango de velocidades de 1 m/s, tal como se expone en la Tabla 7.2) se obtiene una $f_{corte} = 22.2$ Hz (Figura 7.6). De este modo, siendo la frecuencia de corte inferior que la frecuencia de Nyquist $(f_r/2)$ se evita el aliasing de la señal.

7.2. Adquisición y procesamiento de señales

ADVs y Vectrinos usualmente proveen una buena descripción de los valores estadísticos turbulentos de las señales de velocidad, siempre que sean verificadas las condiciones de muestreo y sean tenidas en cuenta las diferentes fuentes de error (Nikora y Goring, 1998; Voulgaris y Trowbridge, 1998; Snyder y Castro, 1999; García *et al.*, 2005; Doroudian *et al.*, 2007; Rodríguez y García, 2008; Romagnoli *et al.*, 2012; Gil Montero *et al.*, 2014). En este sentido, los fabricantes de los instrumentos recomiendan verificar la calidad de las observaciones a través de la relación señal-ruido (SNR, por sus siglas en inglés) y del factor de correlación (COR).

La relación señal-ruido mide la amplitud de la señal acústica reflejada por las partículas suspendidas en el agua versus el nivel de ruido ambiente, que es inherente a la electrónica del instrumento. La SNR es evaluada en cada uno de los receptores a partir de la ecuación 7.12.

$$SNR = 20 \log \left(\frac{Amplitud_{se\tilde{n}al}}{Amplitud_{ruido}} \right)$$
 (7.12)

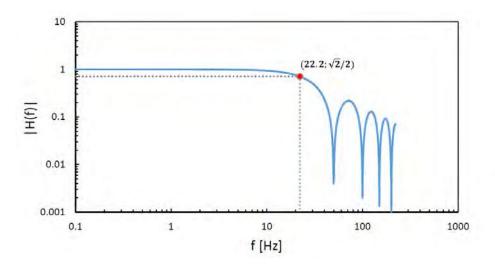


Figura 7.6: Factor de ganancia del filtro no recursivo para $f_R = 50 \text{ Hz y } f_s = 1754 \text{ Hz}.$

El parámetro COR cuantifica en forma porcentual la similitud entre los rebotes acústicos del par de pulsos coherentes que son emitidos para poder determinar un valor de la velocidad radial. Valores bajos de COR pueden estar asociados a una falta de partículas en el agua (SNR bajos), elevada turbulencia, velocidades fuera del rango de medición o presencia de burbujas. En términos generales, se recomienda contar con valores superiores a 70%, aunque también es sabido que para flujos de elevada turbulencia no es posible conseguir estos niveles de correlación.

Durante los experimentos realizados para la elaboración de esta tesis, todas las señales presentaron valores de SNR superiores a 15 db, y en cuanto a la correlación, se lograron alcanzar valores superiores a 50%, lo que se acepta habitualmente para flujos de alta turbulencia. Sólo se encontró una zona de valores de COR relativamente más bajos (del orden de 30-40%) en la parte inferior del jet que egresa por debajo de la compuerta. Para poder conseguir estos valores de SNR y COR fue necesario sembrar partículas en el agua durante los ensayos, para lo cual se utilizó talco industrial.

Sin embargo, a pesar de tener en cuenta las sugerencias realizadas por los fabricantes acerca de SNR y COR, las señales adquiridas tienen un cierto nivel de ruido que afecta el cómputo de los parámetros turbulentos (García *et al.*, 2005). En consecuencia, resulta fundamental detectar el mismo y proceder a su corrección. La metodología utilizada en este trabajo para calcular los estadísticos turbulentos se basa en un manual específico (García, 2005). En este texto se describen las diferentes fuentes de error que registran las señales obtenidas por ADVs y Vectrinos junto con su tratamiento correspondiente, que está volcado en el código TuDe.m (Turbulent description) detallado en el mismo manual.

En forma sintética, el procesamiento de cada registro de velocidad consistió en los siguientes pasos:

- 1. adquisición de las señales con el Vectrino de acuerdo a la configuración del instrumento detallada en la sección 7.3;
- 2. detección de los valores anómalos («spikes») utilizando la técnica «Phase-Space Thresholding Method» (PSTM), empleando el software WinADV32-Versión 2.030 (subsección 7.2.1);
- 3. reemplazo de los «spikes» utilizando un polinomio de tercer grado (subsección 7.2.1);
- 4. corrección del error Doppler en los parámetros estadísticos de la turbulencia a partir del código desarrollado por M. Romagnoli (Romagnoli, 2010) en base al programa TuDe.m (subsección 7.2.2);
- 5. corrección del efecto de filtrado por la estrategia de adquisición. Esta corrección se encuentra incluida en el código desarrollado por M. Romagnoli (Romagnoli, 2010) y se presenta en la subsección 7.2.3;
- 6. estimación de la incerteza de los valores reportados, expuesta en la subsección 7.2.4.

7.2.1. Remoción de valores anómalos (spikes)

Los valores anómalos o «spikes» presentes en las señales de velocidad del agua deben ser detectados primero y luego reemplazados. Si bien la sustitución de estos picos no deseados no es necesaria para los cálculos de los momentos estadísticos, es esencial para los cálculos de todos los parámetros de turbulencia derivados del espectro de energía y la función de autocorrelación (García *et al.*, 2005). El filtrado de las señales puede realizarse definiendo requisitos específicos para los parámetros de calidad de señal, por ejemplo, estableciendo umbrales mínimos para la SNR (> 15 db) y la COR (> 50% en el caso de flujos muy turbulentos) como fue mencionado en los párrafos anteriores. También existen otras técnicas más complejas como el filtro de picos de aceleración o la técnica de filtrado PSTM (Goring y Nikora, 2002; Wahl, 2003).

Después de detectar los picos, se pueden usar diferentes opciones para reemplazar los valores. Estas opciones incluyen la interpolación de los valores precedentes, el uso de la media general de la señal, o la interpolación entre los extremos del valor a remplazar.

En el caso del resalto hidráulico, una de las principales fuentes de «spikes» la constituyen las burbujas de aire que son incorporadas a la masa liquida. Aunque el arrastre de aire en resaltos hidráulicos sumergidos es esencialmente insignificante debido a dicha condición de sumergencia (sólo se observaron unas pocas burbujas en los experimentos), la alta turbulencia provoca que algunos picos aparezcan en las señales de velocidad. Para eliminar estos picos se empleó la técnica de filtrado PSTM que se incorpora en el software WinADV32-Versión 2.030. Siguiendo la sugerencias de Goring y Nikora (2002), se usó un polinomio de tercer orden a través de 12 puntos a ambos lados del valor anómalo para efectuar el reemplazo.

En la Figura 7.7 se muestra la señala original y la señal filtrada eliminando los «spikes» del registro mediante la técnica PSTM.

7.2.2. Corrección del ruido Doppler

En la bibliografía consultada existen varios trabajos dedicados a estudiar la forma en que los errores de muestreo del ADV afectan los estadísticos turbulentos (Nikora y Goring, 1998; Voulgaris y Trowbridge, 1998; Snyder y Castro, 1999; García *et al.*, 2005; Doroudian *et al.*, 2007; Rodríguez y García, 2008; Romagnoli *et al.*, 2012; Gil Montero *et al.*, 2014). El ruido Doppler es la principal fuente de error en las mediciones de ADV, y es muy importante corregir sus efectos sobre la observación de las variables estadísticas de turbulencia (Nikora y Goring, 1998). El ruido Doppler tiene sus orígenes en el movimiento aleatorio de los blancos dentro del volumen de muestreo. El mismo tiene características de ruido blanco, es decir, como una señal aleatoria que posee la misma densidad espectral de potencia a lo largo de toda la banda de frecuencias (Nikora y Goring, 1998; McLelland y Nicholas, 2000). Por esta razón, se hace imposible poder separar directamente las series temporales de velocidad utilizando filtros digitales (Romagnoli, 2010). Sin embargo, es posible determinar el nivel de ruido presente en la señal de velocidad y eliminarlo del espectro de energía por medio del «análisis espec-

tral» (Voulgaris y Trowbridge, 1998). El ruido blanco puede observarse en el espectro de energía de la señal como un amesetamiento para las frecuencias más altas, y de esta manera la señal adquirida con el Vectrino puede considerarse como la sumatoria entre el espectro real de energía más la energía aportada por el ruido Doppler (cuyo nivel de energía es constante para todas las frecuencias). En la Figura 7.8 se presenta el análisis espectral utilizado para quitar el ruido Doppler de las señales de velocidad adquiridas.

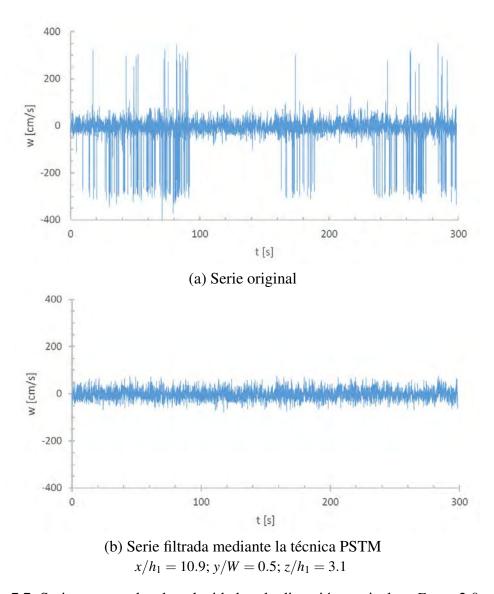


Figura 7.7: Series temporales de velocidad en la dirección vertical w, $Fr_1 = 2.0$ y S = 1.0: a) serie original; b) serie filtrada mediante la técnica PSTM.

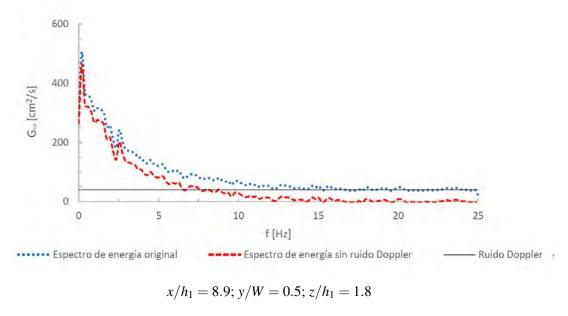


Figura 7.8: Corrección del ruido Doppler por análisis espectral. $Fr_1 = 5.0$ y S = 0.18.

7.2.3. Corrección del efecto de filtrado por la estrategia de adquisición

García *et al.* (2005) y Gil Montero *et al.* (2014) indican que los ADVs y Vectrinos producen una reducción en los valores de momentos pares de la velocidad del agua, causando un filtrado de la señal (promedio) debido a la estrategia de muestreo (filtrado temporal y espacial). Por otro lado, García (2005) manifiesta que estos efectos se reducen si la frecuencia adimensional F_{ADV} cumple con la siguiente condición:

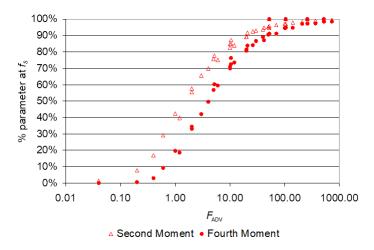
$$F_{ADV} = f_R \cdot L/U_c > 20$$
 (7.13)

donde f_R es la frecuencia de registro, L es la longitud de las grandes escalas y U_c es la velocidad convectiva.

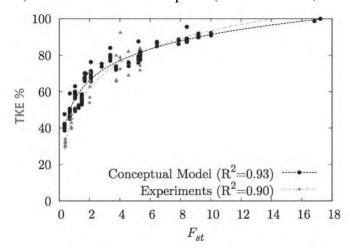
Gil Montero *et al.* (2014) definen el parámetro adimensional F_{st} que vincula la distancia al fondo (z) con la longitud característica L_{ADV} . Esta longitud se obtiene como el máximo valor entre el diámetro del volumen de muestreo (D), la altura del volumen de muestreo (h_v) y la longitud L_c ($L_c = U_c/f_R$). Por consiguiente, el parámetro adimensional F_{st} , que permite evaluar el promediado temporal y espacial de la señal, queda definido como:

$$F_{st} = \frac{z}{L_{ADV}} = \frac{z}{max(L_c; D; h_v)}$$

$$(7.14)$$



a) Reducción momentos pares (Fuente: García, 2005)



b) Reducción en la energía cinética turbulenta (Fuente: Gil Montero et al., 2014)

Figura 7.9: Efecto del promediado digital debido a la estrategia de muestreo (filtrado temporal y espacial): a) reducción momentos pares (fuente: García *et al.*, 2005); b) reducción en la energía cinética turbulenta (fuente: Gil Montero *et al.*, 2014).

Los mismos autores manifiestan que los efectos de filtrado tienen mayor incidencia para valores $F_{st} < 5$, indicando que, por ejemplo, la varianza en la dirección z ($\overline{w'^2}$) presenta una reducción del 80% para $F_{st} = 0.6$. En este mismo sentido, Scacchi (2017) refiere que los resultados obtenidos en sus ensayos experimentales de interacción entre el flujo turbulento y los procesos de erosión junto a estribos de puentes protegidos pueden considerarse satisfactorios cuando F_{st} es mayor a 5.

Tanto Gil Montero *et al.* (2014) como García (2005) proporcionan curvas que permiten una corrección de los efectos de la estrategia de muestreo en el cálculo de los diferentes estadísticos turbulentos (Figura 7.9). En el presente trabajo se ha empleado la corrección propuesta por García (2005) para $F_{ADV} < 20$ e implementada en el código publicado posteriormente por Romagnoli (2010).

7.2.4. Intervalos de confianza

El error o incerteza en la determinación experimental de parámetros turbulentos puede deberse a diferentes factores tales como: errores en la instalación (incorrecto posicionamiento del instrumento, por ejemplo), limitaciones del instrumento (en particular, efectos de filtrado temporal y espacial) y/o errores estadísticos debidos al registro de series aleatorias.

En caso de tomar todos los recaudos necesarios para minimizar los errores en la instalación experimental, y realizar las correcciones propias que requieren las señales obtenidas con ADV (que se tratan en 7.2.1, 7.2.2 y 7.2.3), es necesario atender los errores «estadísticos». De este modo, se requiere una estimación de la incertidumbre para cada parámetro estadístico de las señales registradas de velocidad (intervalo de confianza) con la finalidad de evaluar tendencias y diferencias entre los parámetros reportados en las diferentes condiciones experimentales. En este trabajo se utilizan las ecuaciones generales presentadas por Bendat y Piersol (2011) para estimar errores estadísticos de muestras correlacionadas. Es posible calcular el error estándar de la media (Err_{u_i}) y la varianza ($Err_{\sigma_u^2}$) de cada componente de velocidad registrada (u, v, w) de acuerdo a las expresiones 7.15 y 7.16 (Garcia et al., 2006).

$$Err_{u_i} = \sqrt{\frac{\sigma_u^2}{N_{mef}}}; N_{mef} = \frac{T_m}{2T}$$
 (7.15)

$$Err_{\sigma_u^2} = \sqrt{\frac{2}{N_{vef}} (\sigma_u^2)^2}; N_{vef} = \frac{T_m}{T}$$
 (7.16)

donde σ_u^2 es la varianza de la componente de velocidad en i (i = x, y, z), T_m es el tiempo de muestreo total y T es la escala integral de tiempo de tal componente. T se ha calculado integrando, al primer cruce por cero, la función de autocorrelación en el dominio del tiempo de acuerdo a Garcia et al. (2006) (Figura 7.10). En Garcia et al. (2006), las ecuaciones 7.15 y 7.16 han sido validadas contra datos experimentales y demostraron estar en buen acuerdo con la incertidumbre estimada usando la técnica de «bootstrap de bloque móvil», que es otra técnica de estimación de incertidumbre. Por su parte, el error estándar de la energía cinética turbulenta (Err_{TKE}) se estimó mediante la propagación de la incertidumbre (Gil Montero et al., 2014):

$$Err_{TKE} = 0.5 \left(Err_{\sigma_u^2} + Err_{\sigma_v^2} + Err_{\sigma_w^2} \right)$$
 (7.17)

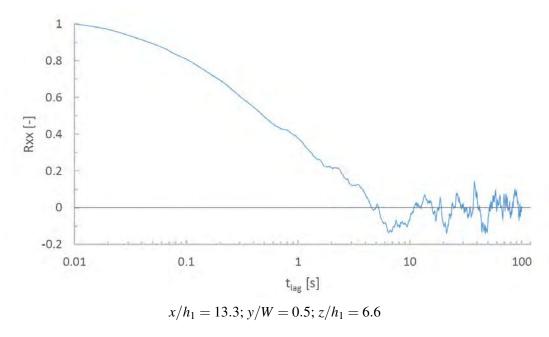


Figura 7.10: Función autocorrelación R_{xx} . Determinación de la escala integral de tiempo T. $Fr_1 = 5.0$ y S = 1.04.

7.3. Configuración de muestreo utilizada en los ensayos

El Vectrino con «Vectrino Plus» firmware brinda la posibilidad de seleccionar la altura del volumen de muestreo (h_v) desde 2.5 a 8 mm. Sin embargo, dado que la probeta de medición es un cilindro de 6 mm de diámetro (D), una altura menor a este valor no brinda mayor resolución espacial, ya que el promediado espacial está condicionado por el máximo valor entre h_v y D (Gil Montero $et\ al.$, 2014). En función de ello, se escogió 7 mm como la altura del volumen de muestreo.

En relación a la frecuencia de muestreo f_R , aunque es factible llegar a muestrear hasta 200 Hz con el Vectrino⁺, los fenómenos involucrados en el resalto se encuentran en los primeros 10 a 20 Hz, donde se concentra la totalidad de la energía del escurrimiento. Si se consideran los efectos del filtrado (que se comentaran en la subsección 7.2.3), en las zonas cercanas al fondo y próximas a la compuerta, donde las elevadas velocidades convectivas pueden inducir mayores errores (de acuerdo a la ecuación 7.14), se podría incrementar la frecuencia de muestreo. Sin embargo, debe tenerse presente que tal incremento traerá aparejado un mayor ruido Doppler. En busca de optimizar f_R , se decidió trabajar con 50 Hz en todo el dominio, ya que de este modo se tiene una buena resolución hasta 25 Hz (como se desprende del efecto de «aliasing», tratado en la subsección 7.3) y no se ve incrementado el nivel de ruido Doppler asociado a frecuencias más elevadas.

Con el objetivo de poder muestrear un número significativo de las estructuras vor-

ticosas de gran tamaño, y así reducir la incerteza de las mediciones debido a «errores estadísticos», la longitud del registro en cada punto de medición fue de $T_m = 300$ s. Este tiempo resulta ser significativamente mayor que la escala de tiempo de flujo (de 1 a 10 s), estimada a partir de la función de autocorrelación de la componente de velocidad en la dirección de la corriente en diversos lugares, como se observa en la Figura 7.10.

Finalmente, la mayoría de las mediciones se realizaron con una configuración «down-looking», aunque también se empleó la configuración lateral del instrumento (Figura 7.2) para obtener registros más cercanos a la superficie libre (2 cm por debajo) y a la pared lateral. Cerca de la región del piso del canal, el punto más bajo se localizó a 1.5 cm por encima del mismo, para evitar la interferencia de la señal del Vectrino con el fondo (Precht *et al.*, 2006). En la Tabla 7.3 se presenta un resumen de la configuración del instrumento y las características de las mediciones utilizadas durante los ensayos.

Volumen de muestreo - Diámetro ${\cal D}$	6 mm
Volumen de muestreo - Altura h_v	7 mm
Frecuencia de muestreo f_R	50 Hz
Longitud del registro T_m	300 s
Configuración del cabezal de medición	Dowlooking/Sidelooking

Tabla 7.3: Configuración de muestreo utilizada en los ensayos con el velocímetro Vectrino⁺.

Capítulo 8

Velocimetría por Seguimiento de Partículas (PTV)

8.1. Aspectos Generales

Las técnicas ópticas para la medición de velocidades se basan en un principio sencillo de la física que consiste en reconocer y cuantificar el desplazamiento de un trazador en un flujo. Dentro de este campo se encuentran las técnicas de Velocimetría por Imágenes de Partículas o PIV, acrónimo en inglés de «Particle Image Velocimetry», y la técnica de Velocimetría por Seguimiento de Partículas o PTV, acrónimo en inglés de «Particle Tracking Velocimetry». Si bien la incorporación de objetos o partículas al fluido para estudiar su comportamiento tiene sus orígenes muchos siglos atrás, la terminología PIV fue introducida en 1984 (Adrian, 1984). Los avances en la tecnología de adquisición de imágenes (cámaras digitales de gran resolución espacial y temporal) sumado a la gran capacidad de cálculo computacional actual, han permitido la utilización de estas técnicas en flujos más complejos (Willert y Gharib, 1991; Malik y Dracos, 1993; Raffel et al., 2007; Adrian et al., 2011; Nezu y Sanjou, 2011; Tien et al., 2013). Más recientemente incluso, se ha extendido su uso para cuantificar recursos naturales (Patalano, 2017), desarrollando lo que se conoce como «Velocimetría por Imágenes» o «Seguimiento de Partículas a Gran Escala» (LSPIV/LSPTV de los acrónimos en inglés «Large Scale Particle Image Velocimetry/Large Scale Particle Tracking Velocimetry»). En este sentido, numerosos autores han trabajado en la adaptación de las técnicas originales para poder determinar la velocidad superficial de cursos fluviales (Fujita et al., 2007; Creutin et al., 2003; Muste et al., 2008; Gunawan et al., 2012; Le Coz et al., 2014; Patalano, 2017).

La Velocimetría por Seguimiento de Partículas funciona en un marco de referencia langrangiano, que es una diferencia importante en comparación con la técnica PIV,

que es un método euleriano (Brevis *et al.*, 2011). En la velocimetría PIV se calcula la velocidad asociada de las partículas trazadoras de grupo en posiciones espaciales fijas, mientras que la velocimetría PTV permite la determinación de la velocidad asociada a trayectorias de partículas individuales (Baek y Lee, 1996; Brevis *et al.*, 2011). Esta última técnica se puede utilizar incluso si la densidad del marcador es pobre (Stitou y Riethmuller, 2001).

En su forma tradicional, las técnicas de PIV y PTV comparten los mismos elementos para su implementación, es decir: cámara digital, partículas de siembra, láser de alta potencia, lente semicilíndrica y sincronizador, tal como se observa en la Figura 8.1.

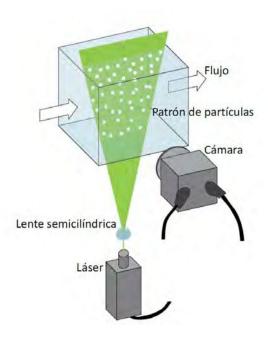


Figura 8.1: Principio de funcionamiento de la técnica PIV. (fuente: Patalano, 2017).

El emisor de láser emite un haz de alta potencia, ya que por lo general se utiliza el láser Nd-YAG con una longitud de onda de 1064 nanómetros. Este haz pasa por una lente semicilindrica que tiene por objeto expandirlo y comprimirlo en una faja delgada generando de esta manera un plano de iluminación. Las partículas de siembra, iluminadas en este plano, reflejan el láser que luego es captado por la cámara. El índice de refracción de estas partículas debe ser diferente al del fluido, por lo que se usan generalmente perlas de vidrio, poliestireno, polietileno, escamas de aluminio, etc. Otra cualidad fundamental de las partículas trazadoras, es que las mismas deben copiar razonablemente bien las propiedades del fluido, es decir, tener una densidad similar y ser de un tamaño reducido, de modo que los efectos de inercia no alteren el seguimiento de las trayectorias del flujo. Esto puede explicarse a partir de la ley de arrastre de Stokes, la cual describe el comportamiento de las partículas bajo un proceso de aceleración dentro

de un fluido. Para números de Reynolds bajos, se establece que el desfasaje entre la velocidad del fluido y las partículas ($\triangle U_p$) puede definirse como (Raffel *et al.*, 2007):

$$\Delta U_p = U_p - U = d_p^2 \frac{(\rho_p - \rho)}{18 \, \mu} a \tag{8.1}$$

donde Up y U son las velocidades de la partícula y el fluido respectivamente, d_p es el diámetro de la partícula, ρ la masa específica del fluido, ρ_p es la masa específico de la partícula, μ la viscosidad dinámica del fluido y a es la aceleración del fluido.

De esta manera, la ecuación 8.1 indica que la capacidad de las partículas para seguir el flujo ($\triangle U_p \to 0$) es inversamente proporcional a la diferencia de densidad entre las partículas y el fluido ($\rho - \rho_p$), e inversamente proporcional al cuadrado de su diámetro. Sin embargo, la luz reflejada por la partículas también es inversamente proporcional al cuadrado del diámetro (dispersión de Mie), por lo que la limitación de contar con partículas muy pequeñas radica en que reflejan poca luz y generan mayor ruido en las imágenes captadas por la cámara (Melling, 1997). En virtud de lo expuesto, resulta muy importante optimizar el tamaño de las partículas.

La cámara digital captura fotogramas con alta frecuencia, permitiendo contar con pares de imágenes consecutivas de las partículas trazadoras que, mediante el empleo de algún método de interrogación de imágenes, pueden relacionarse con el desplazamiento de las mismas y finalmente con su velocidad, si se conoce el tiempo transcurrido entre las imágenes.

En particular, en este trabajo se ha implementado la técnica de PTV, en forma complementaria a la velocimetría Doppler, para caracterizar las velocidades superficiales. El plano de iluminación está en coincidencia con la superficie del agua, por lo que se prescinde del láser de alta potencia, de la lente semicilíndrica y del sincronizador. En la Figura 8.2 se muestra un esquema de la implementación de la técnica PTV durante los ensayos realizados.

8.2. Secuencia metodológica y algoritmos para la implementación de la técnica PTV

En los últimos años, se han desarrollado varias herramientas informáticas para aplicar la técnica de PIV y PTV, tales como OpenPIV (Taylor *et al.*, 2010), PIVlab (Thielicke y Stamhuis, 2014), OpenPTV (Liberzon y Meller, 2013) y el PTVlab desarrollado por Patalano *et al.* (2013) en la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Este último código es el que se decidió utilizar en esta tesis con el objetivo de caracterizar el campo de velocidades y vorticidad media superficial.

El principio utilizado por la técnica de PTV para determinar la velocidad de las partículas es sencillo: conocida la posición \overrightarrow{x}_a de un trazador en un instante t_0 y su nueva posición \overrightarrow{x}_b trascurrido un tiempo Δt , la velocidad de la partícula \overrightarrow{u} queda definida por la expresión:

$$\overrightarrow{u} = \frac{\overrightarrow{x_b} - \overrightarrow{x_a}}{\Delta t}$$

Si bien este principio básico resulta simple, su implementación de manera sistemática requiere de la siguiente secuencia metodológica: adquisición del video, preprocesamiento de las imágenes, detección de las partículas, desplazamiento de las partículas y posprocesamiento.

En la Tabla 8.1 se describe la configuración utilizada durante los ensayos de PTV y a continuación se detalla cada uno de los procesos antes mencionados.

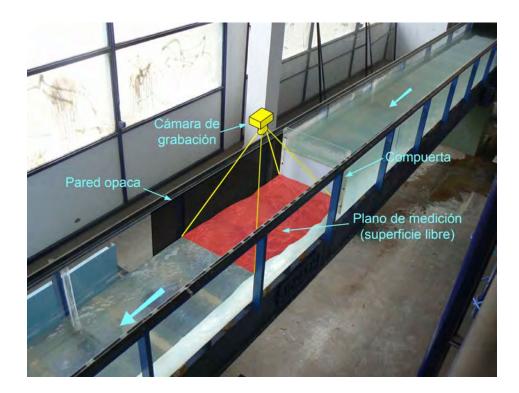


Figura 8.2: Esquema de la implementación de la técnica de PTV para caracterizar las velocidades superficiales en el resalto sumergido.

	Ancho de fotograma	1280			
	Alto de fotograma	720			
Adquisición de imágenes	Resolución	1 px~1 mm			
	Frecuencia de adquisición	30 fps			
	Longitud del registro	300 s			
Preprocesamiento	Transformación a escala de grises/sustracción del fo				
	Diámetro	15 mm			
Detección de partículas	Color	blanco			
	Identificación de centroides	Máscara Gausiana			
Desplazamiento de partículas	Correlación cruzada				
-					

Tabla 8.1: Configuración utilizada durante los ensayos de PTV.

8.2.1. Adquisición de imágenes

La definición de las características del video está directamente relacionada con el fenómeno físico que se está investigando. Consecuentemente, la resolución de las imágenes se establece en función de las partículas trazadoras, de manera de poder tener representado con un número suficiente de píxeles la geometría de los trazadores e indirectamente las estructuras del flujo más pequeñas que se desea captar. La velocidad de fotograma se define en función de la velocidad del escurrimiento, de manera de poder conseguir un desplazamiento de las partículas adecuado, es decir, que entre dos imágenes consecutivas los trazadores hayan sufrido un desplazamiento de varios píxeles que permita su posterior cuantificación. Finalmente, la extensión de los videos se selecciona, al igual de lo que ocurre en otras técnicas de medición, de acuerdo a los parámetros turbulentos que se desea registrar y de las características del flujo bajo estudio.

A partir de las consideraciones antes mencionadas, para la implementación de la técnica de velocimetría PTV se utilizó una cámara digital con un ancho de fotograma de 1280 px y un alto 720 px, obteniendo una resolución de 1 px igual a 1 mm. Considerando trazadores esféricos de 15 mm, el diámetro de las partículas queda representado por 15 píxeles. La frecuencia de adquisición fue definida en 30 fps y la duración del video en 300 s, similar a los registros realizados con el Vectrino expuestos en la sección 7.3. En la Tabla 8.1 se describen las características de los videos utilizados durante los ensayos de PTV.

8.2.2. Preprocesamiento

El primer paso, una vez obtenida la grabación, es convertir el video a imágenes en escala de grises. Para este paso el código PTVlab tiene implementada una rutina que permite extraer del video los cuadros de imágenes con una frecuencia menor o igual a la

frecuencia de adquisición. Cada una de estas imágenes instantáneas puede considerarse como la suma de una imagen media más una imagen o componente fluctuante, similar a lo que se conoce en la mecánica de fluidos como la descomposición de Reynolds del flujo turbulento. De esta manera, si durante el ensayo las condiciones del escurrimiento son permanentes, la componente media corresponde al fondo de la imagen, mientras que el desplazamiento de las partículas trazadores da lugar a la componente fluctuante de la imagen. La técnica de sustracción del fondo utilizada se describe en Honkanen y Nobach (2005) y permite resaltar los trazadores que luego van a ser detectados (ver subsección 8.2.3). Esta metodología consiste en realizar un promediado de todas las imágenes, lo que da origen a la «imagen media» o «fondo», y luego se substrae la imagen «fondo» a cada imagen individualmente, quedando las partículas resaltadas. En la Figura 8.3 se presenta la sustracción del fondo realizado para el ensayo $Fr_1 = 5.0$ y S = 0.6.

8.2.3. Detección de partículas

En la elección de las partículas trazadoras es necesario atender tres aspectos fundamentales: el diámetro, el color y la masa específica.

La selección del diámetro está relacionada con las estructuras de flujo que se desea captar y la resolución y posición de la cámara de adquisición. Las partículas deben ser suficientemente grandes para poder ser representadas por varios píxeles, sin que ello afecte a la inercia de los trazadores que deben copiar el patrón de flujo. Asimismo, el diámetro junto con el color, que se escoge de forma tal que se maximice el contraste con el fondo, resultan fundamentales para lograr individualizar cada partícula. En esta detección también cumple un rol fundamental la iluminación, que debe ser homogénea en toda la superficie y deben evitarse en lo posible fuentes de luz directa que sean susceptibles a ser reflejadas por la superficie. La mala iluminación es una de las mayores fuentes de error durante el procesamiento de las imágenes (Patalano *et al.*, 2013)

Respecto a la densidad, las partículas deben tener un peso específico levemente inferior al del agua (flotabilidad positiva) garantizando que la mayor parte de cada partícula se encuentre sumergida de modo de asegurar el arrastre del flujo.

En virtud de lo señalado precedentemente, se seleccionaron para los ensayos partículas esféricas de poliestireno expandido blancas con diámetro de 15 mm. Debido a que el peso específico del poliestireno es muy inferior al del agua (10 a 30 kg/m³) se incorporaron tornillos metálicos en su interior para aumentar su peso (Figura 8.4). Resultó suficiente la iluminación natural provista por las ventanas ubicadas en uno de los laterales de la nave de ensayo, y se cubrieron las paredes de acrílico del canal con un material opaco de manera de que la luz ingresara unicamente por la parte superior.

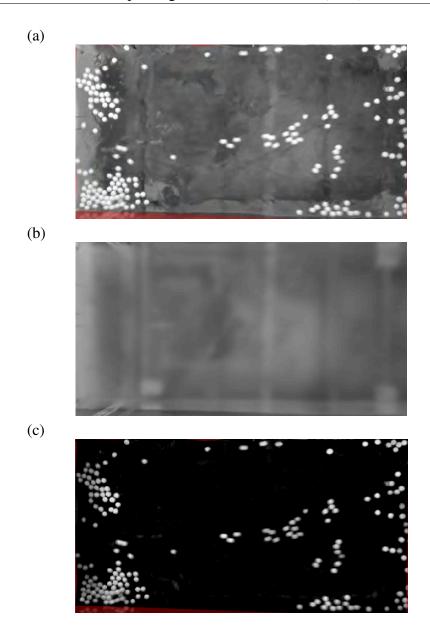


Figura 8.3: Pre-procesamiento de la imagen. Sustracción del fondo en el ensayo $Fr_1 = 5.0$ y S = 0.6: a) imagen instantánea original; b) imagen media o «fondo»; c) imagen instantánea mostrada en a) con la sustracción del «fondo».



Figura 8.4: Partículas trazadoras utilizadas en los ensayos de PTV (esferas de poliestireno expandido de 15 mm de diámetro).

Habiendo definido correctamente los trazadores y su iluminación durante los ensayos, el primer paso en la detección de las partículas una vez realizado el preprocesamiento es la segmentación de las imágenes, es decir, la partición en múltiples conjuntos de pixeles, simplificándolas y asignándoles etiquetas. Luego, según las partículas usadas, se utilizan diferentes filtros sobre las imágenes de manera de lograr identificar los trazadores. En el caso particular del PTVLab, están disponibles los filtros que se presentan en la Figura 8.5:

- Máscara Gaussiana (*Gaussian Mask* en inglés): este tipo de filtro se utiliza cuando hay baja densidad de partículas y tiene la ventaja de tener un reducido costo computacional. Las partículas se correlacionan con una «partícula ideal» que se encuentra definida por los parámetros α_g (umbral de brillo del pico) y σ_g (radio representativo de una partícula). Cada imagen es escaneada con la «partícula ideal» de modo que cuando un sector de la imagen tiene cierta correlación con el patrón de referencia queda definida la ubicación de un trazador. El porcentaje de correlación con la máscara gaussiana también se define por el usuario mediante el umbral de correlación (ver Figura 8.5).
- Umbralamiento dinámico (*Dynamic Threshold* en inglés): se emplea cuando existe una densidad de partículas importante. Consiste en un filtro adaptativo, donde la imagen se divide en subimágenes que se umbralan individualmente.
- Filtro de sobel (*Sobel filter* en inglés): está basado en la identificación de bordes de los objetos. Se utiliza un operador sobre los valores de intensidad de 3x3 para calcular el gradiente.

En todos los ensayos del presente estudio se ha empleado la máscara gaussiana para la detección de los trazadores.

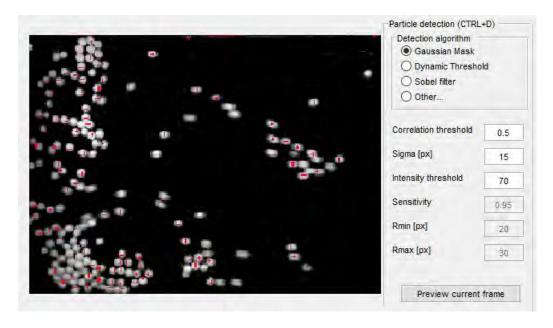


Figura 8.5: Opciones presentes en el PTVLab para la detección de partículas.

8.2.4. Desplazamiento de las partículas

Uno de los puntos centrales en la técnica de PTV es la determinación del desplazamiento de las partículas. Los algoritmos disponibles en el software PTVLab están descriptos en Brevis *et al.* (2011) y son los siguientes:

- Correlación cruzada (CC, Cross Correlation en inglés): se basa en hallar la mayor similitud de patrones de distribución de partículas. Tiene bajo costo computacional.
- Relajación (RM, *Relaxation* en inglés): es utilizado cuando hay gran densidad de partículas y el flujo es muy dinámico.
- Híbrido (CC+RM, Hybrid en inglés): es una combinación de los otros dos algoritmos.

Durante los ensayos, debido al bajo costo computacional y a la buena performance para el caso en estudio, se empleó el algoritmo de correlación cruzada. Para resolver el desplazamiento de las partículas con este algoritmo se seleccionan pares de imágenes consecutivas: Imagen 1 (en un tiempo t_0) e Imagen 2 (en un tiempo $t_0 + \Delta t$). En la Imagen 1 se definen matrices de intensidad de referencia, que se comparan con un conjunto de submatrices de la Imagen 2. Cada matriz de referencia de la Imagen 1, se delimita

a partir de una ventana de interrogación de dimensiones Iw, centrada en la partícula candidata i ubicada en la posición $\overrightarrow{x_i}$. Luego, se escanea la Imagen 2 con el patrón de referencia buscado y el desplazamiento se consigue cuando el coeficiente de correlación cruzada es máximo. En la segunda imagen la partícula candidata $j_{(i)}$ se encuentra ubicada en la posición $\overrightarrow{y_{j_{(i)}}}$, quedando definida la velocidad de cada partícula $\overrightarrow{u_i}$ como:

$$\overrightarrow{u_i} = \frac{\overrightarrow{y_{j(i)}} - \overrightarrow{x_i}}{\Delta t}$$

La implementación de este algoritmo requiere, además de la definición de la ventana de interrogación *Iw* (*interrogation area*), establecer la correlación mínima para el emparejamiento entre las partículas candidatas de la Imagen I y la Imagen II (*minimum correlation*) y definir un porcentaje de similitud de las partículas vecinas a la partícula candidata (*similarity neighbors*). Estos parámetros fueron ajustados en cada ensayo para conseguir el mayor número de vectores de velocidad en cada instante de tiempo.

En la Figura 8.6 se presentan en forma esquemática los fundamentos de la correlación cruzada, mientras que en la Figura 8.7 se muestran las opciones para la determinación del desplazamiento de las partículas en el código PTVlab.

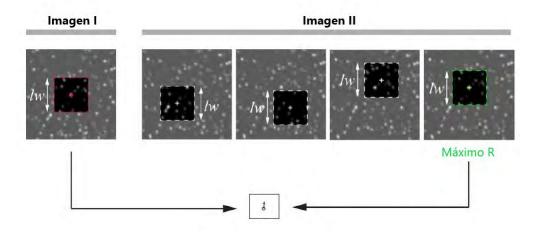


Figura 8.6: Fundamentos de la correlación cruzada. (fuente Patalano, 2017).



Figura 8.7: Opciones presentes en el PTVLab para la determinación del desplazamiento de partículas.

Capítulo 9

Resultados y discusión

9.1. Flujo medio

En primer lugar se llevó adelante la validación de los datos experimentales, corroborando que en el centro del canal la componente de velocidad en la dirección de la corriente promediada en el tiempo (*u*) sigue los mismos patrones reportados por Long *et al.* (1990), Dey y Sarkar (2007a,b), Castillo (2009) y Dey *et al.* (2010a,b). Para esta componente de la velocidad, que se muestra en la Figura 9.1, se evidencia el comportamiento de autosimilaridad en varios perfiles verticales para los diferentes ensayos. Sin perjuicio de que existen varias estimaciones para determinar estos perfiles de velocidad, en este trabajo se propone una nueva regresion (ecuación 9.1).

$$\frac{u}{u_{max}} = 2\left(\frac{z}{\delta_1}\right)^{1/7} \left[1 - erf(0.55\frac{z}{\delta_1})\right] - 0.39 \tag{9.1}$$

donde u_{max} es la velocidad máxima en cada vertical y δ_1 se define como la distancia desde el fondo del canal hasta donde $u = u_{max}/2$. Esta ecuación es válida para las velocidades de avance (en dirección hacia aguas abajo), excepto muy cerca de la pared.

En la Figura 9.2 se representan los valores de la velocidad en la dirección de la corriente (u) para la configuración $Fr_1 = 5.0$ y S = 1.04 en tres planos verticales ubicados a diferentes distancias del plano central (y/W = 0.11, y/W = 0.25 e y/W = 0.50). Es posible observar que el tamaño de la zona de recirculación se reduce a medida que el plano vertical de medición se acerca a la pared lateral, mientras que la región ocupada por la velocidad de avance aumenta cerca de la pared. El «roller» de eje horizontal no alcanza aguas arriba a tocar la compuerta, debido a la interacción con el vórtice de eje vertical correspondiente (Figura 9.2.c). Esto puede considerarse básicamente como un fenómeno de separación de la capa límite del flujo de retorno cerca de la superficie libre, que se comenta más adelante en otras secciones de este capítulo.

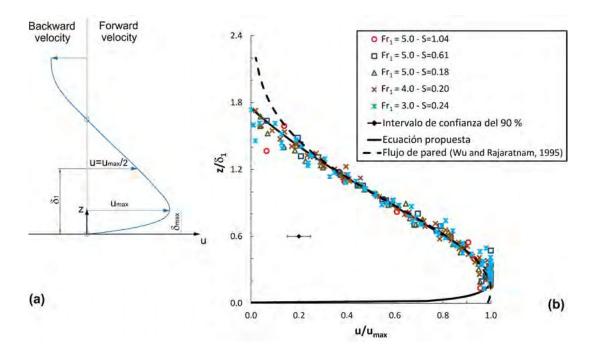
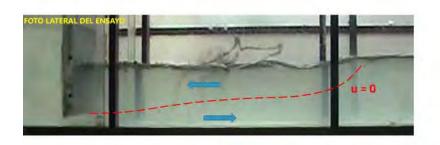


Figura 9.1: (a) Distribución vertical de la velocidad media típica en un resalto hidráulico sumergido; (b) perfiles adimensionales de velocidad de avance para las siguientes condiciones de flujo y secciones: $x/h_1 = 5.5$, 8.2, 10.9, 13.7, 19.1, 21.9, 27.3 para $Fr_1 = 3$, S = 0.24; $x/h_1 = 19.7$, 23.0, 26.2, 29.5, 32.8, 36.1 para $Fr_1 = 4$, S = 0.2; $x/h_1 = 31.0$, 35.4, 39.9 para $Fr_1 = 5$, S = 0.18; $x/h_1 = 31.0$, 35.4, 39.9, 44.3, 48.7 para $Fr_1 = 5$, S = 0.61; $x/h_1 = 48.7$, 57.6 para $Fr_1 = 5$, S = 1.04.



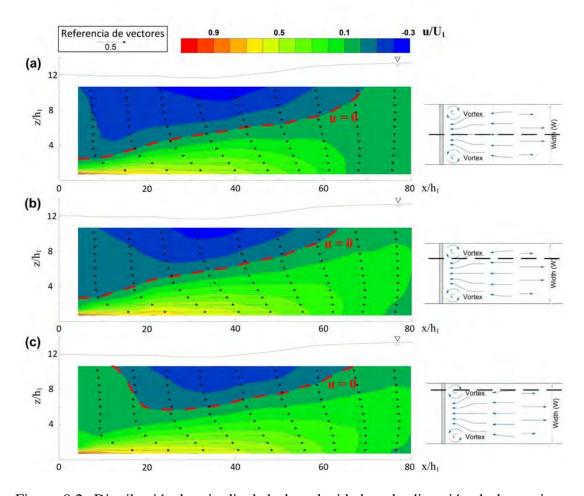


Figura 9.2: Distribución longitudinal de la velocidad en la dirección de la corriente (u/U_1) , en diferentes planos para $Fr_1 = 5$, S = 1.04: (a) y/W = 0.50; (b) y/W = 0.25; (c) y/W = 0.11. Los vectores también representan la componente longitudinal de la velocidad. Línea de puntos roja: isotaquia $u/U_1 = 0$. Se muestra una foto lateral del ensayo.

En la Figura 9.3, a su vez, se muestra la distribución de la velocidad en la dirección de la corriente referida a la velocidad incidente (u/U_1) en el plano horizontal $z/h_1=11.1$. A partir de esta distribución de velocidades se puede determinar el tamaño de los vórtices de eje vertical, siendo la escala de longitudes L_{ν}/h_1 aproximadamente igual a 17 (L_{ν} se define como la distancia desde la compuerta hasta el punto

donde la velocidad u es igual a cero cerca de la pared), mientras que L_{rsj}/h_1 alcanza el valor aproximado de 69 en el centro del canal. Se hace evidente que la aproximación cuasi-bidimensional es satisfactoria en la mayoría del dominio, pero deja de ser válida cerca de la compuerta. Los resultados experimentales muestran un comportamiento cuasi-bidimensional a partir de $x/h_1 = 50$.

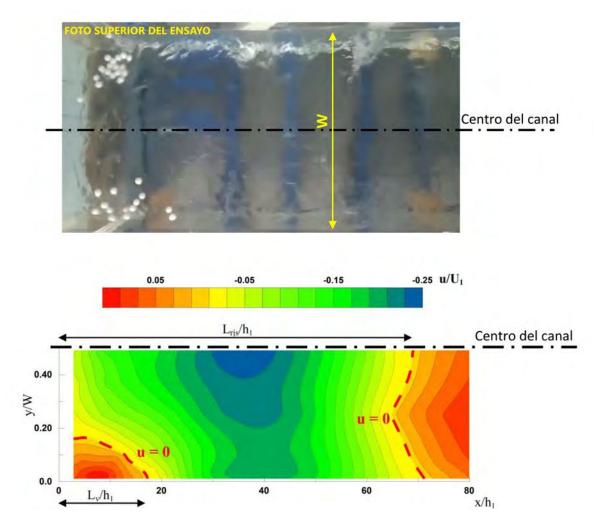


Figura 9.3: Distribución longitudinal de la velocidad en la dirección de la corriente (u/U_1) , en el plano horizontal $z/h_1 = 11.1$ para $Fr_1 = 5$, S = 1.04. Línea de puntos roja: isotaquia $u/U_1 = 0$. Se muestra una foto superior del ensayo.

9.2. Variables estadísticas turbulentas

La energía cinética turbulenta (TKE) se calculó siguiendo la definición estándar, $TKE = 0.5 \left(\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}\right)$. De manera análoga a las tensiones de Reynolds (Dey et al., 2010a), se encontró, por primera vez de acuerdo a conocimiento del autor, que los perfiles de TKE muestran un comportamiento de «autosimilitud», si se toma como es-

cala el valor máximo en cada sección (TKE_{max}) y la distancia donde $TKE = TKE_{max}/2$ (δ_2). En la Figura 9.4 se muestran los perfiles adimensionales de TKE obtenidos para diferentes valores de Fr_1 y S. A partir de ellos, resultó posible proponer una inédita regresión experimental (ecuación 9.2) para esta variable en el resalto sumergido:

$$\frac{TKE}{TKE_{max}} = 2.9 \left(\frac{z}{\delta_2}\right)^{1/4} \left[1 - erf\left(1.17\left(\frac{z}{\delta_2}\right)\right)\right] + 0.23 \tag{9.2}$$

que no resulta válida para z/δ_2 menor que 0.1.

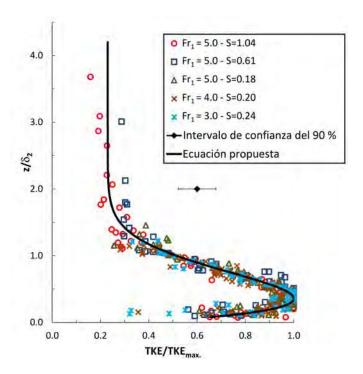


Figura 9.4: Perfiles adimensionales de energía cinética turbulenta (TKE/U_1^2) para las siguientes condiciones de flujo y secciones: $x/h_1 = 10.9, 13.7, 16.4, 19.1, 21.9, 27.3$ para $Fr_1 = 3, S = 0.24; x/h_1 = 13.1, 16.4, 19.7, 23.0, 26.2, 29.5, 32.8, 36.1 para <math>Fr_1 = 4, S = 0.2; x/h_1 = 17.7, 22.2, 26.6, 31.0, 35.4, 39.9 para <math>Fr_1 = 5, S = 0.18; x/h_1 = 13.3, 17.7, 22.2, 26.6, 31.0, 35.4, 39.9, 44.3, 48.7, 53.2 para <math>Fr_1 = 5, S = 0.61; x/h_1 = 13.3, 17.7, 22.2, 26.6, 31.0, 35.4, 39.9, 48.7 para <math>Fr_1 = 5, S = 1.04$. Se presenta también la regresión experimental obtenida.

En la Figura 9.5 se presentan las distribuciones de TKE/U_1^2 en los mismos tres planos de la Figura 9.2 (y/W=0.50, y/W=0.25 e y/W=0.11). La posición del máximo valor de TKE aumenta en elevación a medida que el perfil se aleja del centro. Por otra parte, los valores de TKE cerca de la pared son más pequeños que en otros planos verticales. El área de valores máximos de TKE/U_1^2 en el plano central del canal (y/W=0.5) presenta un pico de 0.027, que se logra a una distancia $x/h_1=17$ y a una altura $z/h_1=1.33$ aproximadamente. Luego, TKE «se difunde» aguas abajo, generando un segundo máximo relativo con menor intensidad (0.023) en $x/h_1=40$ y $z/h_1\simeq 3$.

Cerca de la pared esos valores máximos se encuentran en posiciones más elevadas, es decir, por encima de $z/h_1 \simeq 4$, como puede observarse en la Figura 9.5.b y c). Estas características sugieren que existe una especie de «efecto de ascenso» para TKE, y un efecto de separación de la capa límite en TKE ejercido por la cercanía de la pared, que también se ha notado en el caso de las velocidades promediadas en el tiempo (Long et al., 1990).

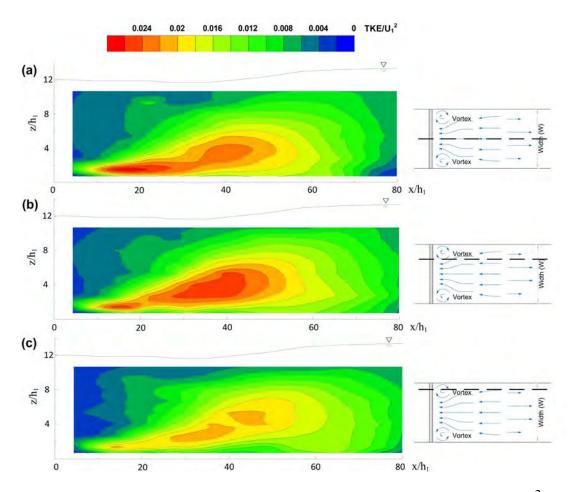


Figura 9.5: Distribución longitudinal de la energía cinética turbulenta (TKE/U_1^2) , en diferentes planos para $Fr_1 = 5$, S = 1.04: (a) y/W = 0.50; (b) y/W = 0.25; (c) y/W = 0.11.

9.3. Estructuras vorticosas tridimensionales

La longitud del «roller» (L_{rsj}) depende en gran medida de Fr_1 y S (Wu y Rajaratnam, 1995b). En la bibliografía, se ha utilizado usualmente para adimensionalizar esta variable el parámetro h_2 , que es el tirante conjugado subcrítico del resalto libre y que depende del número de Froude incidente Fr_1 y del tirante de ingreso al resalto h_1 . En este sentido, Wu y Rajaratnam (1995b) presentaron la siguiente ecuación 9.3 que vincula

 L_{rsj}/h_2 y S:

$$\frac{L_{rsj}}{h_2} = 6 + 4.14S \tag{9.3}$$

En la Figura 9.6.a se compara la regresión anterior con los valores de L_{rsj}/h_2 obtenidos en los nuevos ensayos experimentales.

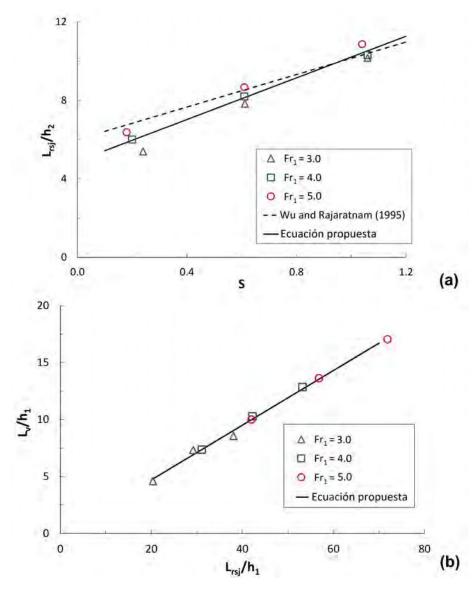


Figura 9.6: (a) Variación de la longitud del «roller» (L_{rsj}/h_2) con la sumergencia (S). (b) Relación entre la escala del «roller» de eje horizontal (L_{rsj}/h_1) y la escala del vórtice vertical (L_v/h_1) .

Para sumergencias bajas (*S* por debajo de 0.4 aproximadamente) las mediciones se desvían de la ecuación 9.3. Esto lleva a la necesidad de proponer una nueva ecuación que presente un mejor ajuste (ecuación 9.4):

$$\frac{L_{rsj}}{h_2} = 4.9 + 5.3S \tag{9.4}$$

En el límite cuando $S \to 0$ la ecuación 9.4 da resultados más cercanos a la conocida fórmula de Smetana que la regresión 9.3. Se recuerda que la ecuación de Smetana es una expresión clásica utilizada para calcular la longitud del resalto libre: $L_{rsj} = 6 (h_2 - h_1)$, Chow (1959).

Para estudiar las características del vórtice vertical, se presentan en la Figura 9.6.b la vinculación que existe entre la dimensión L_v/h_1 y la longitud del roller (L_{rsj}/h_1) . Es interesante notar que hay una relación directa entre ambas escalas adimensionales, encontrando que los resultados se alinean en una recta con una pendiente de 0.24. La regresión lineal puede escribirse del siguiente modo (ecuación 9.5):

$$\frac{L_{v}}{h_{1}} = 0.1 + 0.24 \frac{L_{rsj}}{h_{1}} \tag{9.5}$$

Se observa además que cuando el índice de sumergencia (S) es bajo los vórtices verticales tienen una elevada intensidad y a medida que este parámetro aumenta las estructuras coherentes van perdiendo entidad hasta desaparecer por completo. Este comportamiento queda evidenciado en la vorticidad superficial Ω_z . Las mediciones de PTV (Figura 9.7) muestran que la vorticidad superficial adimensionalizada ($\Omega_z h_2/U_1$) presenta un decaimiento lineal a medida que se incrementa la sumergencia. La ecuación 9.6 describe este comportamiento.

$$\frac{\Omega_z h_2}{U_1} = -0.242 \, S + 0.633 \tag{9.6}$$

Para S > 2.6 la intensidad de los vórtices es $\Omega_z \approx 0$ y ya no es posible distinguir en superficie las estructuras coherentes verticales. De este modo, podría definirse esta sumergencia como la frontera entre el resalto sumergido y el flujo de pared.

En la Figura 9.8 se presenta el campo de velocidad superficial media obtenido a partir de la técnica PTV para el caso de $Fr_1 = 5$, S = 0.61. Los vectores de velocidad promediados en el tiempo se muestran en la Figura 9.8.a, coloreadas por la magnitud de la velocidad media, mientras que la componente de vorticidad en la dirección vertical se presenta en 9.8.b, calculada por definición a partir del campo de la velocidad. Para una adecuada generalización de los resultados, la vorticidad se ha adimensionalizado con la velocidad de entrada (U_1) y con el tirante conjugado supercrítico (h_1) . Las dos zonas de recirculación en las proximidades de la compuerta quedan evidenciadas por la baja velocidad cerca de la pared, el cambio en la dirección de los vectores velocidad en la Figura 9.8.a, y los valores máximos de vorticidad en la Figura 9.8.b. En virtud de esto último, las dos estructuras de flujo se manifiestan claramente por el campo de vorticidad

en la superficie libre.

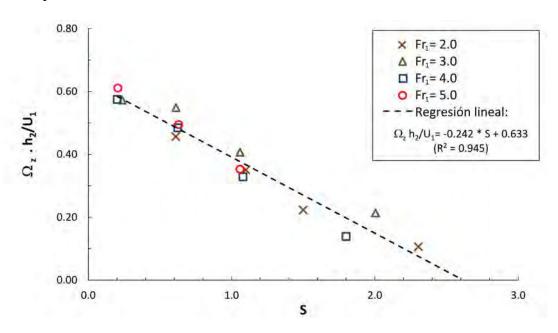


Figura 9.7: Intensidad de los vórtices verticales $\Omega_z \frac{h_2}{U_1}$ vs. el índice de sumergencia S.

Como se puede ver en la Figura 9.8.a, la separación de la capa límite aparece en ambas paredes debido al déficit de cantidad de movimiento en las cercanías del límite sólido, lo que es consistente con los resultados mostrados en la Figura 9.2. Como consecuencia de lo expuesto, la velocidad de retroceso cerca de la compuerta es mayor en el centro del canal (que no tiene desaceleración) que cerca de las paredes, generando así una diferencia de presión en la compuerta y un flujo neto desde el centro del canal hacia la pared. Esta explicación ha sido confirmada por simulaciones numéricas (Paik y Bombardelli, 2016), y puede asemejarse a lo que ocurre en una pila de un puente, con un flujo descendente en el último caso en lugar de un flujo transversal como en el caso del resalto sumergido.

Como se ha considerado previamente, los efectos de la anisotropía de las tensiones de corte turbulentas y la inclinación de las estructuras vorticosas («tilting») se han asociado tradicionalmente con la producción de vorticidad y corrientes secundarias (Nezu y Nakagawa, 1993).

En tal sentido, para poder establecer si existe alguna vinculación con estas variables en el caso de los vórtices de eje vertical, en la Figura 9.9 se presenta el desequilibrio de los valores medios cuadráticos de las fluctuaciones de velocidad en las dos direcciones horizontales $(\overline{u'^2} - \overline{v'^2})$, obtenidas a partir de las mediciones de Vectrino en el plano $z/h_1 = 7.1$. Allí es posible ver claramente que el valor máximo de anisotropía de la turbulencia se localiza cerca de la pared lateral, justo después del final del vórtice vertical. Se encuentra un resultado similar cuando se grafica el esfuerzo de corte $\overline{u'v'}/U_1^2$ (ver

Figura 9.10), observándose que el valor máximo se encuentra en esta área, algo alejado de la pared.

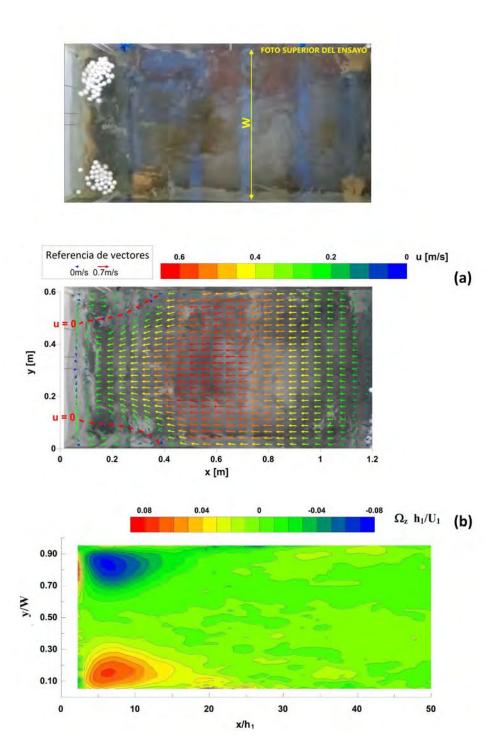


Figura 9.8: Variables del flujo obtenidas mediante la técnica de PTV para $Fr_1 = 5$, S = 0.61: (a) vectores velocidad en la superficie; (b) distribución de la vorticidad en la superficie ($\Omega_z h_1/U_1$). Se muestra una foto superior del ensayo.

Además, se calculó la vorticidad vertical para $Fr_1 = 5$ y S = 0.61 en tres planos

diferentes $(z/h_1 = 7.1, z/h_1 = 4.9 \text{ y } z/h_1 = 2.7)$ y se generó una superficie de isovorticidad para visualizar las estructuras coherentes (Figura 9.11). La representación del vórtice vertical muestra que esta estructura turbulenta sufre una inclinación hacia la pared lateral y un estiramiento hacia el chorro inferior. Sin embargo, dada la evidencia presentada en las Figuras 9.9 y 9.10, estos efectos de anisotropía e inclinación serían más una consecuencia que una causa del campo de vorticidad.

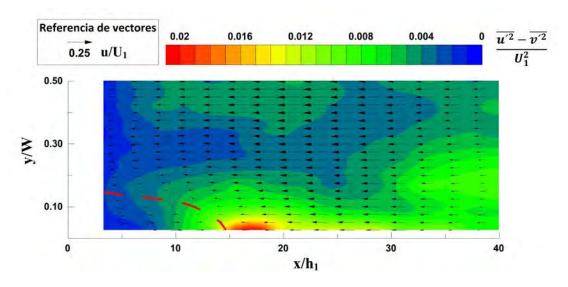


Figura 9.9: Distribución de $(\overline{u'^2} - \overline{v'^2})/U_1^2$ en el plano $z/h_1 = 7.1$ para $Fr_1 = 5$, S = 0.61. Línea de puntos roja: isotaquia $u/U_1 = 0$.

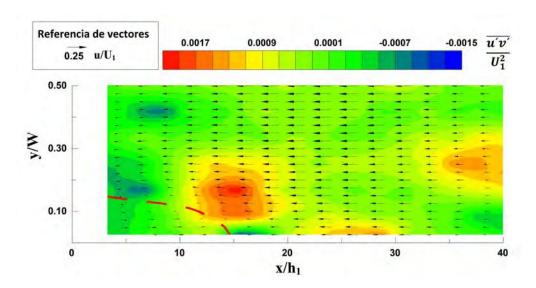


Figura 9.10: Distribución de $(\overline{u'v'})/U_1^2$ en el plano $z/h_1=7.1$ para $Fr_1=5, S=0.61$. Línea de puntos roja: isotaquia $u/U_1=0$.

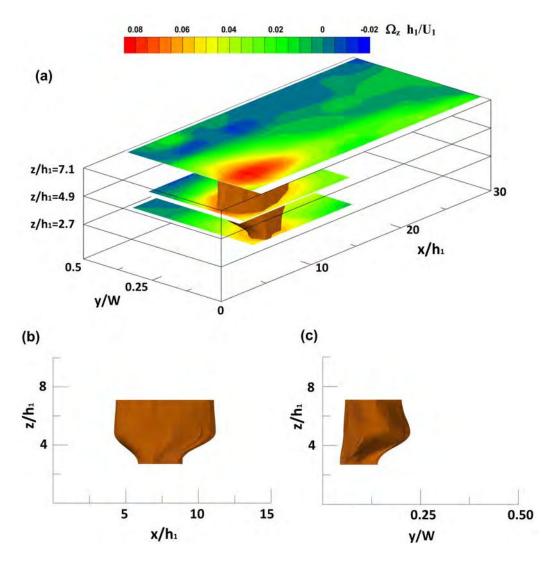


Figura 9.11: (a) Distribución de la vorticidad $(\Omega_z h_1/U_1)$ en diferentes planos y superficie de isovorticidad $\Omega_z h_1/U_1=0.6$; (b) vista lateral de la superficie de iso-vorticidad $\Omega_z h_1/U_1=0.6$; (c) vista frontal de la superficie de iso-vorticidad $\Omega_z h_1/U_1=0.6$. Los datos pertenecen a $Fr_1=5$, S=0.61

9.4. Longitud del resalto sumergido desde la turbulencia

9.4.1. Influencia del número de Froude de ingreso (Fr_1) y la Sumergencia (S) sobre la distribución de la energía cinética turbulenta (TKE)

La energía cinética turbulenta (TKE) es uno de los parámetros más utilizados para describir el grado de turbulencia que presenta un escurrimiento determinado. Siendo una de las características más salientes de los resaltos hidráulicos la disipación de energía y por ende la gran turbulencia que se genera en el interior del mismo, se presenta a continuación un análisis de la distribución de TKE en el resalto sumergido.

A partir de la medición de la varianza de las componentes de la velocidad se calculó la energía cinética turbulenta siguiendo la definición estándar $(TKE = 0.5 (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}))$ para cada uno de los puntos de medición. En cada vertical se calculó el valor máximo de esta variable $(TKE_{máx})$.

A efectos de poder evaluar la influencia de Fr_1 sobre la energía cinética turbulenta, en la Figura 9.12.a se muestra la variación de TKE_{max}/U_1^2 en función de x/h_1 a lo largo del plano central. Se puede apreciar que a medida que aumenta Fr_1 la distribución de TKE_{max}/U_1^2 se prolonga hacia aguas abajo y existe una reducción del valor máximo. Un comportamiento similar ocurre cuando se incrementa la sumergencia S (Figura 9.12.b), pues aquí también el valor máximo de TKE_{max}/U_1^2 disminuye y hay una mayor propagación hacía aguas abajo de la energía cinética turbulenta.

9.4.2. Interpretación de la longitud del resalto sumergido a partir de la energía cinética turbulenta (*TKE*)

Uno de los parámetros más relevantes del resalto hidráulico lo constituye la longitud en la que se desarrolla este flujo bruscamente variado. En la literatura, la definición de esta longitud característica está basada en variables macroscópicas. De esta manera la longitud del resalto, ya sea libre o sumergido, está definida en función de la longitud del «roller» de eje horizontal .

A lo largo del siglo pasado fueron desarrolladas numerosas investigaciones experimentales tratando de definir la longitud del resalto libre (USBR, 1955; Bradley y Peterka, 1957). En general, las expresiones resultantes establecen la longitud del resalto en función de Fr_1 y una longitud característica $(h_1, h_2 \text{ o el salto } h_2 - h_1)$.

Con respecto al resalto sumergido, como fue mencionado anteriormente, la longitud

del «roller» depende de Fr_1 y del índice de sumergencia S (Wu y Rajaratnam, 1995b). En la citada referencia bibliográfica, L_{rsj} aparece adimensionalizada con la longitud h_2 , que está directamente relacionada con Fr_1 . De esta manera esos autores presentaron una relación lineal entre L_{rsj}/h_2 y S (ver ecuación 9.3)

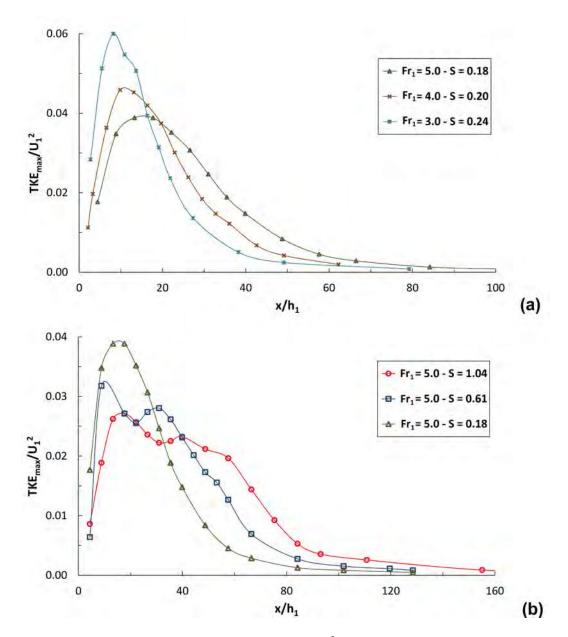


Figura 9.12: Distribución longitudinal TKE_{max}/U_1^2 vs. x/h_1 : (a) influencia de Fr_1 ; (b) influencia de S.

A partir de los nuevos ensayos desarrollados en este estudio se obtuvo una regresión lineal que se ajusta mejor a estos datos experimentales, arribando a la ecuación 9.4 (de Dios *et al.*, 2017).

Estas dos ecuaciones derivan de una visión macroscópica del resalto, que si bien tienen relación con los fenómenos turbulentos que se desarrollan en su interior, no brindan mayor información sobre la distancia a la que se alcanza el régimen uniforme luego de producirse el resalto sumergido. Existen algunas publicaciones recientes en la que se trata de establecer la longitud del resalto en función de parámetros turbulentos como las presiones fluctuantes (Wu y Rajaratnam, 1996; Lopardo *et al.*, 2004a) y la intensidad turbulenta (Zobeyer *et al.*, 2010; Romagnoli, 2010).

Debido al interés del tema y con los resultados obtenidos en este trabajo, se presenta un nuevo análisis que intenta establecer la relación entre la longitud del resalto sumergido convencional (L_{rsj}) y la turbulencia originada en este fenómeno.

En primer lugar, es necesario definir cuál es la energía cinética turbulenta de un régimen uniforme. Nezu y Nakagawa (1993) proponen una distribución exponencial para los perfiles de *TKE* que depende del tirante uniforme y de la velocidad de corte en el fondo del canal:

$$\frac{TKE}{U^{*2}} = 4.78 \exp(-2z/h_4) \tag{9.7}$$

donde, U^* es la velocidad de corte en el fondo del canal, z es la distancia desde el fondo y h_4 es el tirante de restitución.

De esta manera, la energía cinética turbulenta máxima en un escurrimiento uniforme (TKE_{MU}) se produce en la zona inferior del canal y resulta igual a $TKE_{MU} = 4.78 \cdot U^{*2}$.

En la Tabla 9.1 se resumen los valores de TKE_{MU} correspondientes a los ensayos desarrollados durante este estudio. El régimen uniforme se ha calculado considerando las características del canal de acrílico utilizado (coeficiente de Manning n = 0.01), ancho W = 0.6 m y una profundidad igual al tirante de restitución de cada ensayo (h_4) .

1000 PM	Chezy-Manning					(6)	(7)	/81	(9)	TKE _{MU}	TV -	(11)	TKEMII
	h 4 (1)	Ω (2)	R _h (3)	Q (4) [m³/s]	j (5)	W/h ₄ ⁽⁶⁾	α ⁽⁷⁾	τ ⁽⁸⁾ [Kg/m ²]	U* ⁽⁹⁾	U*2	TKE _{MU} [m ² /s ²]	TKE MAX (11)	TKE _{MAX}
	[m]	[m²]			[%]								
T ₅	0.17	0.10	0.11	0.04	0.028	3.51	0.900	0.044	0.0209	4.780	0.0021	0.193	0.0108
T ₉	0.19	0.11	0.12	0.040	0.022	3.16	0.860	0.035	0.0188	4.780	0.0017	0.220	0.0077
Tte	0.18	0.11	0.11	0.032	0.017	3.43	0.900	0.027	0.0165	4.780	0.0013	0.215	0.0061
T ₁₈	0.24	0.14	0.13	0.032	0.007	2.52	0.750	0.013	0.0114	4.780	0.0006	0.174	0.0035
T ₁₉	0.30	0.18	0.15	0.032	0.004	1.97	0.670	0.008	0.0088	4.780	0.0004	0.151	0.0025

⁽¹⁾ h₄: tirante aguas abajo del resalto

Tabla 9.1: Energía cinética turbulenta máxima en régimen uniforme (TKE_{MU}) .

⁽²⁾ Ω: área del canal

⁽³⁾ R_h; radio hidráulico

⁽⁴⁾ Q: es el caudal de cada uno de los ensayos del resalto realizados

⁽⁵⁾ j. pendiente del canal: [n.Q/(R_h^{2/3}.Ω)]² (Chezy-Manning)

⁽⁶⁾ B/h₄: relación ancho del canal tirante

 $^{^{(7)}}$ α : factor de corrección de la tensión de corte por efecto del ancho del canal.

 $^{^{(8)}}$ τ tensión de corte en el fondo: $\alpha.\gamma.h_4.j$, donde γ es el peso específico del agua

⁽⁹⁾ U*: Velocidad de corte= $(\tau/\rho)^{0.5}$, donde ρ es la masa específico del agua

⁽¹⁰⁾ TKE_{Mc}/U*2: TKE máximo en régimen uniforme adimensionalizada

⁽¹¹⁾ TKE_{MAX}. TKE máximo obtenido en cada ensayo

Si se grafican los resultados presentados en la Figura 9.12, ahora adimensionalizados a partir de las variables TKE_{MAX} (máximo valor de TKE de cada ensayo) y L_{rsj} , todos los puntos siguen aproximadamente una misma curva (Figura 9.13). Los valores máximos de TKE ($TKE_{max}/TKE_{MAX}=1$) se localizan en la primera mitad del resalto (entre $x/L_{rsj}=0,17$ y 0,40). También es posible observar que en la progresiva correspondiente a la longitud del «roller» horizontal ($x/L_{rsj}=1$) todavía existe un 40% aproximadamente de la energía turbulenta máxima producida.

En virtud de estos resultados, el decaimiento de TKE tiene un punto de inflexión en $x/L_{rsj} = 1.5$ aproximadamente, en el que la turbulencia llega a un 15% de su valor máximo. En tanto que los valores de turbulencia propios de un régimen uniforme se alcanzan más allá de $x/L_{rsj} = 3$ (entre $x/L_{rsj} = 3.3$ y 3.7 dependiendo de las condiciones de ensayo). Este resultado es concordante con el análisis presentado por Romagnoli (2010), en el que se ha utilizado el decaimiento de la intensidad de turbulencia para resaltos libres.

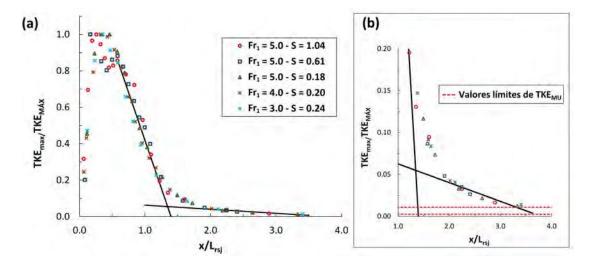


Figura 9.13: Distribución longitudinal TKE_{max}/TKE_{MAX} vs. x/Lrjs: (a) variación completa de la variable; (b) detalle para x/Lrjs > 1. Incluye valores límites de TKE_{MU} .

9.4.3. Relación entre la intensidad de turbulencia y las presiones fluctuantes

En el estudio del resalto hidráulico existen dos aspectos que resultan de sumo interés para el diseño de disipadores de energía: las presiones fluctuantes (utilizadas para el dimensionado de las losas de los cuencos y la tendencia a la cavitación por pulsos de presión) y la intensidad de turbulencia (vinculada con los procesos de erosión aguas abajo).

Estas dos variables pueden relacionarse a partir de la ecuación de Poisson (Favre

et al., 1976):

$$\sqrt{\overline{p'^2}} = \alpha \rho \sqrt{\overline{u'^2}} \tag{9.8}$$

donde $\sqrt{\overline{p'^2}}$ es la amplitud media cuadrática de las fluctuaciones de presión, α un coeficiente adimensional (Batchelor, 1951), ρ es la masa específica del líquido y $\sqrt{\overline{u'^2}}$ la amplitud media cuadrática de las fluctuaciones de velocidad.

Haciendo uso del análisis dimensional es posible encontrar la siguiente relación entre el coeficiente de presiones fluctuantes y la intensidad de turbulencia (Lopardo y Romagnoli, 2009):

$$I_t = \lambda_t \sqrt{C'_p} \tag{9.9}$$

donde $I_t = \sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$ es intensidad de turbulencia, λ_t es un coeficiente de proporcionalidad empírico y C_p el parámetro adimensional del coeficiente de presiones fluctuantes, definido como:

$$C'_{p} = \frac{\sqrt{\overline{p'^{2}}}}{\rho \frac{U_{1}^{2}}{2}}$$
 (9.10)

A partir de ensayos en resalto libre se propone un coeficiente $\lambda_t = 0, 6$, que podría extenderse al caso de resalto sumergido en las cercanías del lecho (Lopardo y de Dios, 2012).

Con el objetivo de validar esta relación, se compararon los ensayos de presiones fluctuantes en el piso de resaltos sumergidos realizados por Sauma Haddad (1992) y las nuevas mediciones de velocidad de la presente tesis. Para el caso de las velocidades cercanas al fondo, se emplearon los registros obtenidos a 1.5 cm por encima del mismo. En la Figura 9.14 se presentan los resultados de estos dos ensayos, donde el mejor ajuste entre la medición directa e indirecta de la intensidad turbulenta se obtiene con un coeficiente $\lambda_t = 0.7$, valor razonablemente próximo al previamente comentado.

Es interesante destacar que los ensayos, si bien corresponden a valores similares de Fr_1 y S ($Fr_1 = 3$, S = 0.3), fueron realizados en instalaciones experimentales diferentes (ancho y material de canal, apertura de compuerta, instrumentación obviamente diversa, distancia del punto de medición de velocidad al piso no exactamente la misma y veintiocho años de diferencia). No debe tampoco olvidarse que la presión es una magnitud escalar, mientras que la velocidad es una magnitud vectorial.

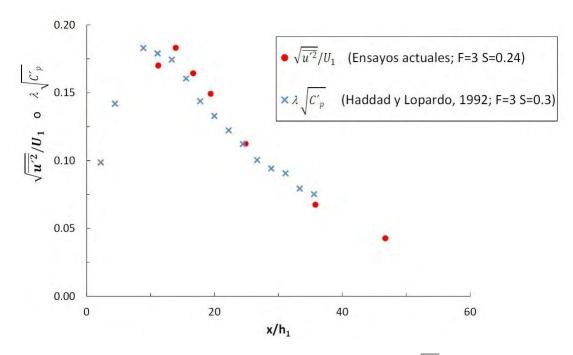


Figura 9.14: Comparación entre la intensidad de turbulencia $(\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1)$ y el coeficiente de presiones fluctuantes $(\lambda_t \sqrt{C_p'})$

Parte III SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL RESALTOS HIDRÁULICO SUMERGIDO

Capítulo 10

Consideraciones generales

En esta parte de la tesis se aborda la caracterización del resalto sumergido mediante la dinámica de fluidos computacional (CFD). La denominación CFD se refiere a una rama de la mecánica de fluidos que utiliza análisis numérico y estructuras de datos para analizar y resolver problemas que involucran flujos de fluidos. En particular, produce predicciones cuantitativas de fenómenos de escurrimientos a partir de las ecuaciones de Navier-Stokes (N-S). Estas ecuaciones, provenientes de las leyes de conservación de masa, momento y energía, conforman un conjunto de ecuaciones en derivadas parciales no lineales. Como es bien conocido, su resolución analítica no resulta posible, exceptuando algunos casos particulares, por lo que se recurre al análisis numérico para llegar a una solución.

En el caso de flujos turbulentos, como el que trata la presente tesis, existen tres aproximaciones principales para poder resolver las ecuaciones de Navier-Stokes. Una de ellas es la Simulación Numérica Directa (DNS, por su acrónimo en inglés «Direct Numerical Simulation»), otra es la Simulación de los Grandes Vórtices (LES, por su acrónimo en inglés «Large Eddy Simulation») y la tercera el Promediado de Reynolds (RANS, por su acrónimo en inglés «Reynolds-Averaged Navier-Stokes»).

En el caso de la DNS, las ecuaciones de Navier-Sokes se resuelven utilizando esquemas numéricos muy precisos en una malla espacial muy fina de manera de simular todas las escalas características de tiempo y longitud (Jayanti, 2018). Teóricamente, todos los flujos turbulentos pueden ser simulados resolviendo numéricamente esas ecuaciones en forma completa.

En el enfoque LES, las estructuras turbulentas de gran escala se resuelven y calculan por completo a partir de las ecuaciones filtradas de N-S, mientras que las estructuras de la escala de Kolmogorov (de dimensiones muy reducidas) se modelan utilizando un cierre de turbulencia para la submalla (Jayanti, 2018).

En el enfoque RANS, que es el más utilizado en flujos industriales, se resuelven las

ecuaciones N-S promediadas en el tiempo. En este caso todas las escalas de turbulencia son modeladas, existiendo diferentes modelos que permiten realizar el «cierre de turbulencia» (S-A, k- ε , k- ϖ , RNG k- ε , SST, RSM, etc).

En los últimos años han sido desarrollados un nuevo grupo de modelos que resultan de la combinación de los enfoques RANS y LES. Spalart (1997) fue el primero que propuso las simulaciones «Detached Eddy Simulation» o DES por su acrónimo en inglés. Luego diferentes variantes de modelos híbridos LES/RANS fueron postulados por Davidson y Peng (2003), Temmerman *et al.* (2002), Tucker y Davidson (2004) y Hamba (2003) entre otros autores. Tanto en DES como en los modelos híbridos LES/RANS, las regiones cerca de los bordes sólidos y donde la longitud de la escala de turbulencia es menor que la máxima dimensión de la malla se resuelven con el enfoque RANS. A medida que la escala de longitud turbulenta excede la dimensión de la malla, las regiones se resuelven utilizando el modo LES. Por lo tanto, la resolución de la malla no es tan exigente como en LES puro, lo que reduce considerablemente el costo del cálculo. En la Figura 10.1 se presenta en forma esquemática la resolución que cada uno de los principales enfoques numéricos tiene respecto a las escalas de turbulencia.

El costo computacional de las simulaciones DNS es prohibitivo para números de Reynolds elevados, por lo que no resulta aplicable para flujos en casos industriales. Por este motivo, las posibilidades de simulaciones en el resalto sumergido se restringen en la presente tesis a los enfoques LES y RANS.

Lo brevemente expuesto llevó a plantear modelaciones RANS con tres cierres de turbulencia distintos (k- ε , k- ϖ , RNG k- ε , ver anexo D) y una simulación LES con modelación de pared (LES-NWM, por las siglas en inglés «near-wall modeling»). Las condiciones de flujo estudiadas corresponden a un resalto sumergido en particular, de parámetros característicos $Fr_1 = 2.0$ y S = 1.0.

Con el objeto de evaluar la capacidad que tienen las diferentes simulaciones realizadas para predecir el comportamiento tridimensional característico del resalto sumergido, en la Figura 10.2 se han graficado los vectores de velocidad en el plano $z/h_1=3.50$. Como queda de manifiesto, sólo con el enfoque LES-NWM se logran captar los vórtices verticales cercanos a la compuerta.

En consecuencia, siendo la simulación LES-NWM la única que permite caracterizar correctamente los fenómenos tridimensionales de este tipo de escurrimientos, en los siguientes capítulos se presentan los detalles de esta simulación.

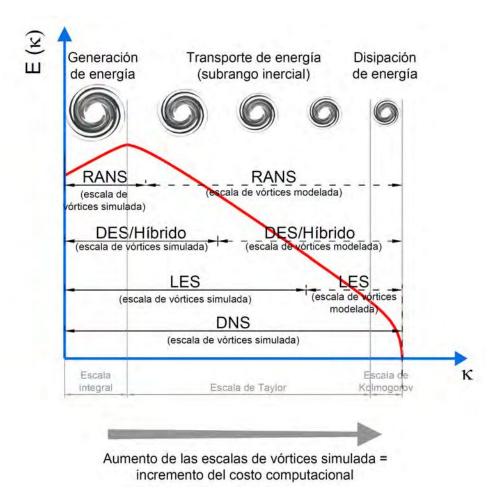


Figura 10.1: Resolución de las escalas de turbulencia a partir de los enfoques DNS, LES, DES y RANS.

En el capítulo 11 se describen las ecuaciones de N-S filtradas (aproximación utilizada en LES) y el tratamiento de las condiciones de borde utilizado en la simulación (superficie libre, tratamiento de la pared y condiciones de frontera propias del resalto).

En el capítulo 12 se resumen las características del código FLOW-3D® y el arreglo de mallas utilizado para la modelación.

Por último, en el capítulo 13 se presenta una validación completa de la simulación a partir de las mediciones experimentales de velocidad, expuestas en la parte II de la presente tesis. Es importante destacar que la comparación realizada abarca no solo parámetros medios del escurrimiento, sino también la verificación del espectro de energía de las fluctuaciones de velocidad con el objetivo de estudiar la resolución alcanzada con la simulación LES-NWM. Asimismo, se detallan las principales contribuciones de este trabajo en referencia a la simulación numérica del resalto sumergido, que serán oportunamente presentadas en un artículo específico sobre la caracterización numérica de resaltos sumergidos utilizando el enfoque LES-NWM.

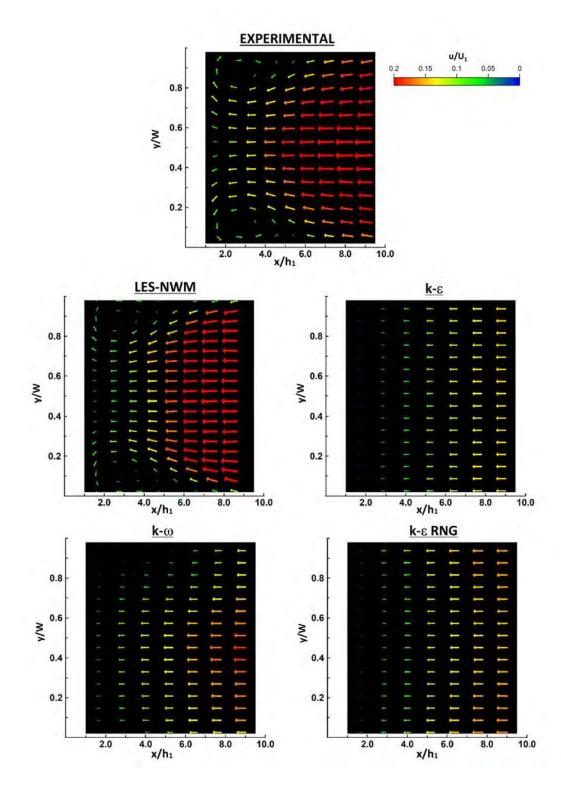


Figura 10.2: Identificación de vórtices verticales a partir de los vectores de velocidad en el plano $z/h_1=3.50$ (coloreadas por la magnitud de la velocidad) para las diferentes simulaciones: RANS/k- ε ; RANS/k- σ ; RANS/k- σ ; RANS/k- σ ; LES-NWM. Se muestra también los resultados experimentales obtenidos con el Vectrino.

Capítulo 11

Modelo matemático

11.1. Ecuaciones gobernantes

Como fuese indicado en el capítulo 10, el enfoque utilizado para predecir el flujo turbulento tridimensional en el resalto sumergido es el de la Simulación de Grandes Vórtices (LES) (Smagorinsky, 1963; Lilly, 1967; Deardorff, 1974; Smagorinsky *et al.*, 1993). En este enfoque la macro escala del flujo turbulento es simulada a partir de las ecuaciones, mientras que las escalas más pequeñas de la turbulencia se modelan (Pope, 2001). Para realizar esta división se aplica un filtrado de paso bajo, que permite descomponer el campo de velocidad en la suma del componente filtrado (atribuible a las escalas más grandes de turbulencia) y el componente residual (escala de la submalla). El componente filtrado se obtiene directamente resolviendo las ecuaciones de Navier-Stokes. La ecuación de momentum contiene un término adicional que representa la influencia de la escala de la submalla (tensor de tensiones residuales). Para tener en cuenta el tensor de tensiones residuales, se utiliza un modelo simple de viscosidad de remolino como cierre de turbulencia. De esta manera, en un flujo incompresible, las ecuaciones de Navier-Stokes filtradas son las siguientes:

$$\nabla . \underline{u_f} = 0$$

$$\frac{\delta(\rho_0 \underline{u_f})}{\delta(t)} + \nabla \cdot (\rho_0 \underline{u_f} \otimes \underline{u_f}) = -\nabla \underline{p_f} + \rho_0 \underline{g} + \nabla \cdot \left[(\mu + \mu_t) \left(\nabla \underline{u_f} + \nabla \underline{u_f^T} \right) \right]$$
(11.1)

donde ρ_0 es la masa específica de referencia, $\underline{u_f}$ es el vector de velocidad filtrada, $(\underline{p_f})$ indica presión filtrada, \underline{g} es la aceleración de la gravedad, μ la viscosidad dinámica y μ_t es la llamada «viscosidad turbulenta» de la submalla.

En los términos de las ecuaciones anteriores, \otimes es la notación del producto entre tensores, $(.)^T$ simboliza la matriz transpuesta del tensor (.) y las líneas inferiores indican vectores.

Para obtener el valor μ_t , es decir, los efectos de las pequeñas escalas de turbulencias, se emplea el modelo de viscosidad de remolino de Smagorinsky (Smagorinsky, 1963). Este modelo supone que la viscosidad de remolino es proporcional a la escala de longitud característica de la submalla y a las fluctuaciones de velocidad en esa escala:

$$\mu_t = \rho_0 (C\Delta)^2 \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \tag{11.2}$$

donde μ_t es la viscosidad turbulenta de la submalla, C es el coeficiente de Smagorinsky, Δ se refiere a la escala de longitud característica de la submalla, definida como $\Delta = \sqrt[3]{\delta_x + \delta_y + \delta_z}$, donde δ_x , δ_y , δ_z son las dimensiones de la celda de cálculo y S_{ij} es el tensor de deformación de velocidad, definido como $S_{ij} = \frac{1}{2}(\nabla \underline{u_f} + \nabla \underline{u_f}^T)$. En las simulaciones se empleó un valor constante C = 0.1 para el coeficiente de Smagorinsky. Se pueden encontrar más detalles sobre el modelo de turbulencia empleado en este trabajo en las publicaciones de Yakhot y Smith (1992), Pope (2001), Sagaut (2013), Geurts (1997) y Wilcox (2006).

Para resolver numéricamente la ecuación 11.1, se utilizó un esquema de segundo orden con monotonicidad preservada («monotonicity-preserving, second-order scheme») para el cálculo de los términos advectivos de la velocidad, mientras que para el cálculo de la presión se empleó un esquema implícito.

11.2. Localización de la superficie libre

Las ecuaciones de Navier-Stokes mencionadas en la sección anterior se resuelven en un dominio en el que la superficie líquida representa una de las condiciones de contorno. Esa superficie libre es un límite interno móvil y su ubicación debe calcularse en cada paso del tiempo. Por lo tanto, una definición adecuada de esta condición es importante para representar con precisión la dinámica de la superficie libre. Para este propósito, se utiliza en este trabajo el método de Volumen de Fluido (VOF, por sus siglas en inglés «Volume Of Fluid») en su versión «verdadera» agregado al código FLOW-3D $^{\otimes}$ (Hirt y Nichols, 1981). La implementación de este método se basa en tres elementos claves: la definición de la función de fluido (F), un método para resolver la ecuación de transporte VOF y el establecimiento de las condiciones de contorno en la superficie libre.

La función F, que representa la fracción de cada celda ocupada por fluido, toma valores de 0 (sin fluido en el volumen) a 1 (celda completamente llena de fluido). Obviamente, la superficie libre se encuentra en las celdas donde F tiene un valor intermedio,

utilizandose generalmente el valor de F = 0.5 (Flow Science, 2008).

La función F se obtiene en cada paso de tiempo resolviendo la siguiente ecuación de transporte:

$$\frac{\delta F}{\delta t} + \nabla \underline{u_f} F = 0 \tag{11.3}$$

Para obtener la solución de la ecuación anterior se emplea un método de diferencias finitas conservativo de alto orden, de manera de asegurar una baja difusión numérica de la superficie libre. En el caso de estudio, por tener grandes oscilaciones de la superficie libre con gradientes elevados, se decidió implementar el *Split Lagrangian Method*.

El método original de advección de VOF, introducido por Hirt y Nichols (1981), permite llenar o vaciar en exceso las celdas computacionales cuando los flujos de volumen son significativos en las tres direcciones y cuando el paso del cálculo (δ_t) está cerca del límite de estabilidad local de Courant. El *Split Lagrangian Method*, si bien implica un mayor costo computacional, produce un error de volumen acumulado más bajo, exhibiendo una buena precisión en el seguimiento de interfaces en movimientos tridimensionales complejos.

En el *Split Lagrangian Method* la interfase de fluido es reconstruida en tres dimensiones utilizando una representación lineal por tramos, donde se la asume plana en cada volumen de control o celda. El volumen de control definido por la interfase y las caras de la celda es luego desplazado de acuerdo al vector velocidad local de manera lagrangiana. Finalmente, el volumen ya desplazado es superpuesto nuevamente con la malla euleriana para obtener los nuevos valores de la función de fracción de fluido. Por lo tanto, este método resulta de una combinación de una metodología lagrangiana-euleriana. Más detalles del mismo se encuentran desarrollados en Barkhudarov (2004).

En la Figura 11.1 se observa la función VOF para un instante de tiempo de la simulación LES-NWM realizada.

11.3. Otras condiciones de borde

Como condiciones de borde, además de la superficie libre, se incorporaron en la simulación las condiciones de presión aguas arriba y aguas abajo de la compuerta según los tirantes líquidos ensayados experimentalmente.

Una condición de borde de salida «realista» es muy difícil de lograr en este tipo de flujos, porque las oscilaciones generadas en el resalto hidráulico se propagan hacia abajo e interactúan con dicha condición de contorno. En Storti *et al.*, 2008 y Bombardelli *et al.* (2011) se presenta una discusión sobre las condiciones de borde para flujos con cambio en las condiciones hidrodinámicas dentro del dominio. Este hecho puede origi-

nar ondas no deseadas en el dominio computacional y oscilaciones físicamente irreales en la simulación. Para solucionar este problema, se utilizó un vertedero de altura variable que permite controlar el nivel de restitución, constituyendo una «sección de control» que garantiza la independencia de los efectos de la condición de contorno sobre el comportamiento del resalto hidráulico. El esquema resulta similar al correspondiente ensayo experimental y el vertedero se ha localizado en el mismo lugar del canal, es decir, a 7.5 m aguas abajo de la compuerta. Esta configuración requiere de una adecuada calibración de la altura del vertedero para lograr el nivel de restitución correcto.

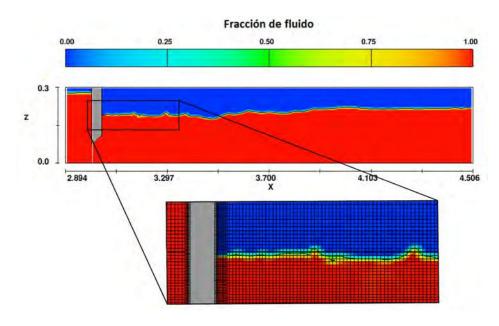


Figura 11.1: Representación de la superficie libre a partir del método VOF en la simulación LES-NWM del resalto sumergido.

Respecto a los bordes sólidos, en LES existen dos posibles tratamiento de la zona cercana a la pared (Pope, 2001):

- LES con resolución de pared (LES-NWR, por las siglas en inglés «near-wall resolution»)
- LES con modelación de pared (LES-NWM, por las siglas en inglés «near-wall modeling»)

En LES-NWR la malla es suficientemente fina como para resolver a través de la componente filtrada de la velocidad el 80% de la energía en cualquier lugar, incluido la región viscosa de la pared (Pope, 2001). En contrapartida, en LES-NWM el ancho de banda del filtro y el tamaño de malla son demasiado gruesos, de modo que los procesos cercanos a la pared no son resueltos, sino que son modelados.

Debido al elevado costo computacional de llevar adelante una modelación del tipo LES-NWR para un flujo de alto número de Reynolds se decidió utilizar el enfoque LES-NWM. Por lo tanto, las condiciones de borde para los contornos sólidos (compuerta, fondo y laterales del canal) son: velocidad normal nula y ley de pared logarítmica para las velocidades tangenciales (ver Figura 11.2.a).

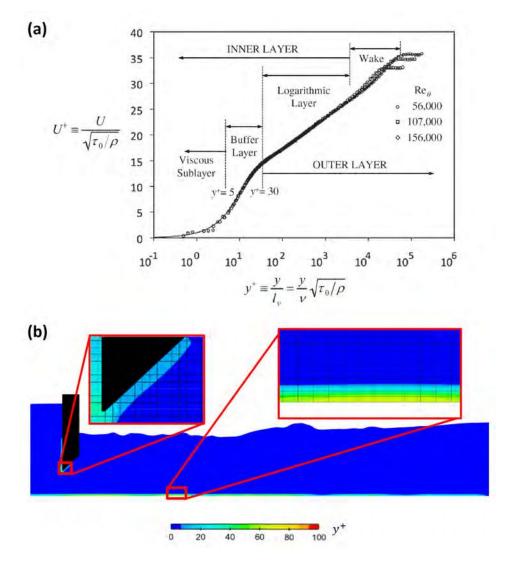


Figura 11.2: (a) Perfil de velocidad media de la capa límite turbulenta de una placa plana lisa, trazada en coordenadas log-lineales con normalizaciones de la ley de pared (Kundu $et\ al.$, 2012); (b) distancia adimensional y^+ en la simulación LES-NWM.

El tamaño de la malla cerca de las paredes, la compuerta y especialmente el labio inferior de la misma se dimensionó cuidadosamente para garantizar que la primera celda se encuentre en la región donde se asume la validez de la ley logarítmica ($30 < y^+ < 500$), y por consiguiente son aplicables las funciones de pared (Kundu *et al.*, 2012). La Figura 11.2.b muestra la distancia de pared adimensional y^+ en las regiones de interés.

En resumen, las condiciones de borde impuestas en el modelo fueron las siguientes (Figura 12.2):

- Aguas arriba: condición de presión. El valor de presión se establece de manera de conseguir las mismas condiciones reportadas en el ensayo de laboratorio.
- Aguas abajo: condición de presión. Se fijó un valor de 0.1 m de modo de que el vertedero final descargue de manera libre (la condición de borde para el resalto se obtiene a partir del vertedero final).
- Compuerta: condición de no deslizamiento, con función de pared lisa.
- Fondo y paredes laterales del canal: condición de no deslizamiento, con función de pared lisa.
- Vertedero final: condición de no deslizamiento, con función de pared lisa.

Capítulo 12

Código numérico

12.1. Características principales del código

En esta investigación se utilizó el código comercial FLOW-3D®, que es un software de dinámica de fluidos computacional de uso general o CFD (Flow Science, 2008).

Las ecuaciones gobernantes presentadas en la sección 11.1 se resuelven mediante el método de volúmenes finitos/diferencias finitas en una cuadrícula rectangular estructurada. FLOW-3D® utiliza el método de representación de obstáculos de fracción de área/volumen (Hirt y Sicilian, 1985) para representar los sólidos. A partir de ellos, todas las ecuaciones utilizadas se reformulan como funciones de porosidad de área y volumen. Este método, llamado método FAVOR (por sus siglas en inglés «Fractional Area-Volume Obstacle Representation»), permite modelar geometrías complejas. En la Figura 12.1 se muestra en forma esquemática el método FAVOR utilizado en el código.

En FLOW-3D® la construcción de la cuadrícula es independiente de la geometría. Esta característica permite cambiar la geometría manteniendo la misma cuadrícula o bien redefinir la malla para el mismo obstáculo (por ejemplo, para realizar la convergencia de malla). Además, el dominio computacional se puede representar mediante cuadrículas de uno o varios bloques. Con el objetivo de representar fenómenos de diferente escala es posible anidar mallas, reduciendo el requisito de memoria y el costo computacional de las simulaciones. Las variables del flujo (velocidades, presiones, energía cinética turbulenta, concentración, etc.) se calculan por separado para cada bloque y la información se transfiere entre ellos. Sobre este tema en particular se puede encontrar más información en la bibliografía ya mencionada, Flow Science (2008).

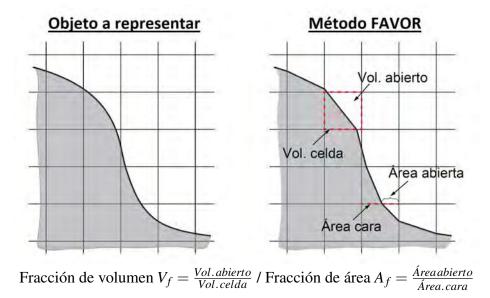


Figura 12.1: Representación esquemática del método FAVOR para representar objetos sólidos. Cálculo del coeficientes de fracción de área y volumen, A_f y V_f , para un objeto sólido (área sombreada) inserto en una cuadrícula rectangular.

12.2. Implementación del modelo numérico

Siendo el resalto sumergido un fenómeno esencialmente tridimensional, para lograr una adecuada predicción del comportamiento del flujo ha sido necesario desarrollar una simulación en tres dimensiones. Además, como se menciona en la sección 11.1, se emplearon ecuaciones LES para la caracterización del flujo turbulento. Es oportuno recordar que las condiciones de flujo simuladas corresponden a un resalto de bajo número de Froude incidente ($Fr_1 = 2$) y elevado índice de sumergencia (S = 1.0)

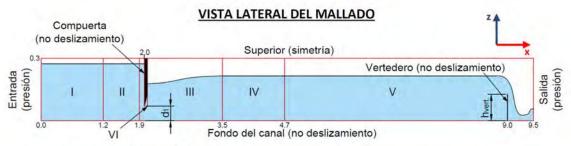
La discretización del dominio se llevó adelante utilizando una malla multibloque con el fin de alcanzar una buena precisión con un bajo requerimiento computacional. El arreglo final consistió en cinco mallas principales: de entrada (malla I), de resalto sumergido (malla III), de salida (malla V) y de las transiciones (mallas II y IV). Los bloques de entrada y salida son mallas gruesas y constituyen una zona de «amortiguamiento» para la región de interés, como se observa en la Figura 12.2. La malla en la zona del resalto es la más fina y se extiende desde 0.1 m aguas arriba de la compuerta hasta 1.5 m aguas abajo de la misma. Este bloque se materializó utilizando una malla no uniforme de celdas de 268 x 152 x 90 (los números indican la cantidad de celdas en las direcciones longitudinal, transversal y vertical, respectivamente). Además, se utilizó una malla anidada para obtener una buena representación del labio inferior de la compuerta, ya que la resolución de esta área tiene una fuerte influencia en la dinámica del resalto. Esa malla anidada (malla VI) está compuesta por celdas uniformes de 2 mm de

lado. El número total de celdas de cálculo fue de 5 299 490.

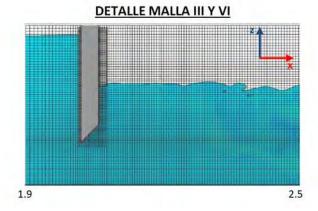
Para garantizar un cálculo correcto de los parámetros de turbulencia, así como del espectro de energía, el tiempo de simulación fue de 300 s y el intervalo de muestreo de 0.02 s, similar a la frecuencia de registro de las mediciones de Vectrino (50 Hz). Las características principales de la simulación se resumen en la Figura 12.2.

Fr_1	S	Re	d_1	h_1	U ₁	h _{vert}
2.0	1.0	6.2 x 10 ⁴	0.075	0.046	1.35 m/s	0.128 m





^{*} Entre paréntesis se indica la condición de borde



TOTAL DE CELDAS: 5 299 490

Malla	# de celdas				
IVIdila	x	У	Z		
1	50	38	22		
11	58	75	45		
III	268	152	90		
IV	100	75	45		
V	200	38	22		
VI	27	300	110		

Figura 12.2: Características principales de la simulación LES-NWM.

Capítulo 13

Resultados y discusión

13.1. Validación de la solución

En esta sección se presenta la validación de la simulación LES-NWM sobre la base de las mediciones de velocidad realizadas con el velocímetro Vectrino⁺ que se han detallado en el capítulo 7. En el análisis se incluyen el flujo medio en el plano central, en términos de velocidad en la dirección del escurrimiento (u), y la identificación de los vórtices de eje vertical que otorgan la característica tridimensional al fenómeno. Posteriormente, los estadísticos turbulentos ($\overline{u'w'}$ y TKE) y los espectros de energía se comparan con los resultados experimentales para obtener una validación completa de la simulación CFD.

13.1.1. Flujo medio

De manera similar a los trabajos antecedentes de simulaciones numéricas en resalto hidráulico, la primera variable contrastada fue la velocidad media en la dirección de la corriente u (considerada «media» como promediada en el tiempo) y el decaimiento de su valor máximo en el plano central.

La Figura 13.1.a muestra los perfiles de velocidad típicos del resalto (Rajaratnam, 1965), donde se distingue tanto el flujo hacia aguas abajo como el flujo de retroceso en la zona desarrollada $(2.2 < x/h_1 < 21.9)$. Se puede observar que se obtiene una adecuada concordancia entre los resultados experimentales y los de CFD para la totalidad del dominio. Luego, si se selecciona la velocidad máxima en cada sección (u_{max}) , el decaimiento de u_{max} en la dirección de la corriente sigue el mismo patrón descripto por otros autores (Long *et al.*, 1990). La curva de distribución de velocidad máxima alcanza un pico en la progresiva $x/L_u = 0.42$ y disminuye asintóticamente hacia aguas abajo. Para adimensionalizar la distancia horizontal a partir de la compuerta se ha utilizado la va-

riable L_u , definida como la distancia desde la compuerta hasta donde se alcanza el valor de $u_{max}/U_1 = 2$. El valor de L_u surge de la ecuación 13.1 propuesta en la publicación de Long *et al.* (1990). La distribución de u_{max}/U_1 se muestra en la Figura 13.1.b.

$$\frac{L_u}{h_1} = \frac{49}{1 + 2710^{0.5S} Fr_1} \tag{13.1}$$

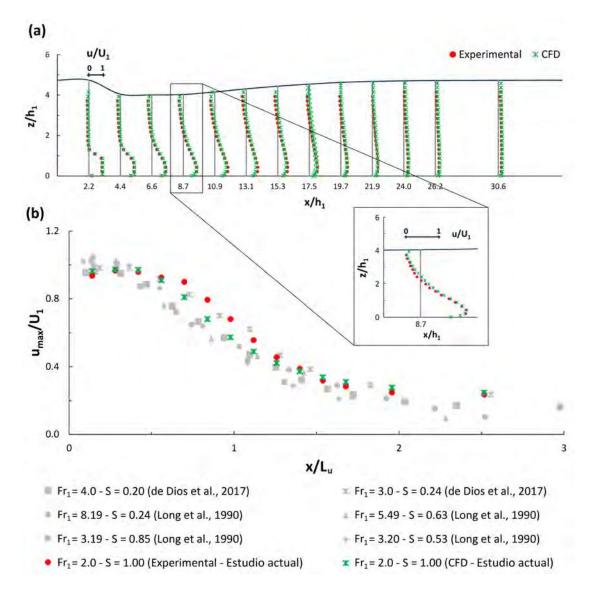


Figura 13.1: (a) Perfiles de velocidad en la dirección del escurrimiento (u/U_1) en el plano central; (b) distribución de la velocidad máxima u_{max}/U_1 en el plano central.

El campo de flujo tridimensional es una característica relevante del resalto sumergido y, como se mencionara anteriormente, se encontró una única referencia (Jesudhas *et al.*, 2017) que aborda este aspecto a partir de modelaciones CFD. En este trabajo no solo se contrasta la velocidad de la corriente con resultados experimentales en un plano horizontal (Figura 13.2.a), lo que sería similar al caso tratado en la referencia mencio-

nada, sino que además se efectúa la comparación del tamaño de los vórtices verticales L_v .

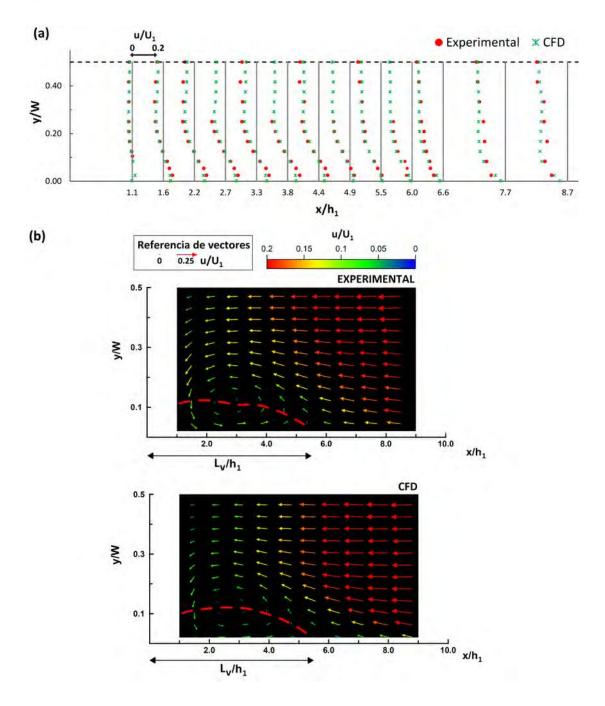


Figura 13.2: (a) Componente de la velocidad en la dirección de la corriente (u/U_1) en el plano horizontal $z/h_1 = 3.50$; (b) vectores velocidad (coloreados por la magnitud de la velocidad) y longitud característica de los vórtices de eje horizontal (L_v/h_1) en el plano $z/h_1 = 3.50$. Línea de puntos roja: isotaquia $u/U_1 = 0$. Ensayo $Fr_1 = 2.0$, S = 1.0.

En la Figura 13.2.b se representa la distribución de velocidad en la dirección de la corriente u/U_1 en el plano $z/h_1=3.50$ y los vectores de velocidad que permiten

visualizar la recirculación antihoraria en las proximidades de la compuerta. El parámetro L_{ν}/h_1 es igual a 5.4 y 5.6 para los resultados experimentales y los obtenidos mediante CFD respectivamente.

Por lo tanto, la simulación numérica presenta una excelente concordancia con los valores experimentales de laboratorio, con una diferencia del 3.6%. Este resultado permite confirmar que las características tridimensionales del campo de flujo de la modelación numérica han sido validadas satisfactoriamente.

13.1.2. Estadísticos turbulentos

En la Figura 13.4 se presentan los perfiles de tensiones de Reynolds $(\overline{u'w'}/U_1^2)$ y de energía cinética turbulenta en el plano central (TKE/U_1^2) . De la misma manera que ocurre con la velocidad media, que se ilustra en la Figura 13.1, la concordancia entre los resultados experimentales y los de CFD es exitosa y se cumple la condición de autosimilitud de los esfuerzos de Reynolds y TKE, distintivos en este tipo de flujos. Por otra parte, en la Figura 13.3 se presentan los perfiles TKE adimensionalizados con el valor máximo en cada sección (TKE_{max}) y por la distancia donde $TKE = TKE_{max}/2$, incluyéndose además la regresión ya publicada en de Dios *et al.* (2017).

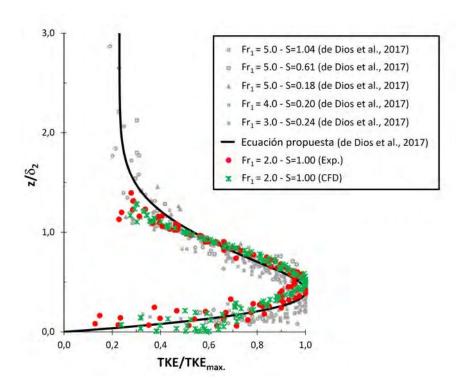


Figura 13.3: Perfiles adimensionales de energía cinética turbulenta TKE/TKE_{max} .

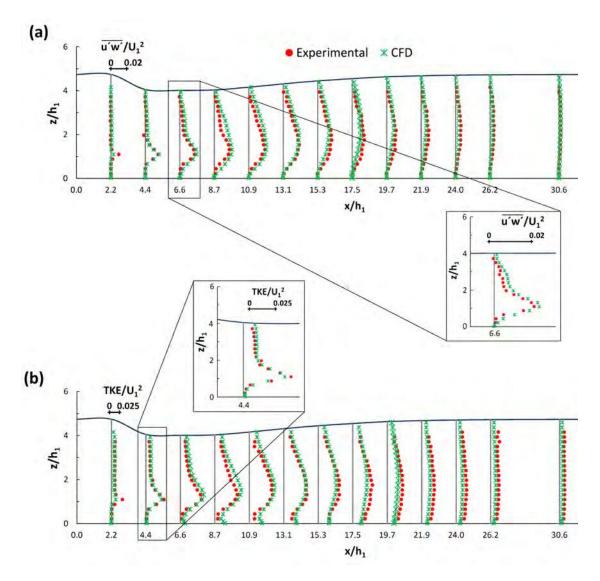


Figura 13.4: (a) Perfiles de tensiones de corte turbulentas $(\overline{u'w'}/U_1^2)$ en el plano central; (b) perfiles de energía cinética turbulenta (TKE/U_1^2) en el plano central. Ensayo $Fr_1 = 2.0, S = 1.0$.

13.1.3. Espectro de energía. Resolución de la simulación LES-NWM

Para efectuar una validación completa de la simulación numérica, se comparan en este apartado los resultados obtenidos del análisis espectral de las fluctuaciones de velocidad. Para la determinación del espectro de potencia se ha utilizado el método de Welch. Este método reduce el ruido en la estimación del espectro de potencia frente a otros métodos, por ejemplo, el del pediograma estándar. El menor ruido se logra a expensas de reducir la resolución en el campo de las frecuencias.

El espectro de energía de turbulencia tridimensional obtenido por un registro de presiones continuo para altos números de Reynolds muestra en general zonas bien definidas: a) para los valores más bajos de frecuencia, los vórtices de mayor tamaño, de

carácter permanente, toman energía del flujo medio, b) el pico o valor máximo del espectro resulta coincidente con los torbellinos que contienen energía, c) una región donde no es posible inyectar energía exterior ni disipar energía, que suele denominarse como «subrango inercial», es decir de carácter conservativo, y d) una región en la que se produce la disipación de energía por efecto de la viscosidad, coincidente con las más altas frecuencias del registro.

En la Figura 13.5 se puede observar un espectro de potencia de las fluctuaciones de la componente longitudinal de velocidad (G_{xx}). El punto seleccionado para la comparación entre la simulación numérica y las mediciones experimentales se encuentra en la zona desarrollada del resalto ($x/h_1 = 13.1$; y/W = 0.5; $z/h_1 = 1.53$). Esta figura muestra claramente que una gran parte de la cascada de energía se ha representado con éxito a partir de las simulaciones LES-NWM. Ello involucra la escala integral de longitudes (en frecuencias bajas), desde donde se capta energía del flujo medio, hasta la microescala de Taylor, en la que se producen los fenómenos de disipación turbulenta (en frecuencias altas). El tramo correspondiente al «subrango inercial», en el que no se toma ni se pierde energía de acuerdo con la ley de Kolmogorov, debería aparecer en gráfico doble logarítmico del espectro con una recta de pendiente -5/3. Por lo tanto, es posible afirmar que el «subrango inercial» se ha simulado correctamente y que los posibles efectos viscosos no han alterado los registros experimentales.

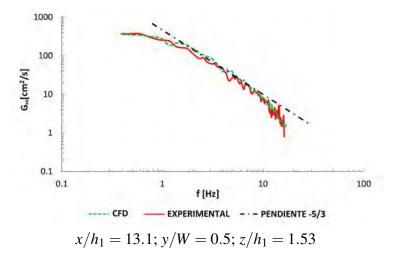


Figura 13.5: Espectro de potencia de las fluctuaciones de la componente longitudinal de velocidad en el dominio de la frecuencia (G_{xx}). Se incluye la pendiente -5/3 (espectro de Kolmogorov). Ensayo $Fr_1 = 2.0$, S = 1.0.

Resulta oportuno estudiar la resolución alcanzada con esta simulación, de modo de clarificar si efectivamente puede considerarse como LES-NWM (Pope, 2001) o bien estamos en presencia de un modelo híbrido, por caso, Smagorisky-Hybrid (ver capítulo 10). Para poder profundizar en este sentido, se presenta a continuación un análisis

desarrollado a apartir del espectro de energía unidimensional de las fluctuaciones de velocidad en el dominio de onda κ_i (E_{ii}).

Si se asume como válida la hipótesis de turbulencia congelada de Taylor, la frecuencia f y el número de onda κ se relacionan mediante la expresión 13.2.

$$\kappa_i = \frac{2\pi f}{Uc_i} \tag{13.2}$$

donde Uc_i es la componente de la velocidad convectiva en la dirección cartesiana i. De este modo, el espectro de energía unidimensional en la dirección longitudinal (E_{xx}) puede expresarse de acuerdo a la ecuación 13.3.

$$E_{xx}(\kappa_x) = \frac{Uc_x}{2\pi} G_{xx} \left(\frac{\kappa_x Uc_x}{2\pi} \right)$$
 (13.3)

Bajo la hipótesis de Kolmogorov (Kolmogorov, 1941), para números de Reynolds suficientemente elevados, el espectro de energía en altos números de onda adopta una forma universal particular y la tasa de disipación de la energía cinética turbulenta (ε) puede calcularse a partir del ajuste de la pendiente -5/3 en el subrango inercial de la ecuación 13.4.

$$E_{xx} = C_1 \cdot \kappa_x^{-5/3} \cdot \varepsilon^{2/3} \tag{13.4}$$

donde $C_1 = 0.49$ (Pope, 2001)

Conociendo la tasa de disipación turbulenta es posible calcular las escalas características de la turbulencia: la microescala de Taylor (λ) y la microescala de Kolmogorov (η).

La microescala de Taylor define aproximadamente el límite donde los efectos viscosos son importantes. Las escalas del flujo superiores a λ no se encuentran mayormente afectadas por la viscosidad y constituyen en parte el subrango inercial. Por debajo de la mircroescala de Taylor, los movimientos turbulentos están sujetos a fuertes fuerzas viscosas y comienza el rango de disipación.

La microescala de Taylor puede estimarse a partir de la tasa de disipación de la energía cinética turbulenta, utilizando la relación sugerida por Pope (2001) para turbulencia isotrópica $\lambda = (\frac{30 \, v}{\varepsilon} \overline{u'^2})^{0.5}$.

Por otro lado, la microescala de Kolmogorov es la escala de longitudes más pequeña de la turbulencia y es donde tienen lugar los fenómenos de disipación viscosa de la energía, haciendo que la energía cinética turbulenta se disipe en calor. A partir del análisis dimensional queda definida como $\eta = \left(\frac{v^3}{\varepsilon}\right)^{1/4}$ (Pope, 2001)

En la Figura 13.6 se presentan los espectros unidimensionales de las fluctuaciones de velocidad en el dominio de onda $(E_{xx}, E_{yy} \text{ y } E_{zz})$ para el mismo punto de la Figura

13.5 ($x/h_1 = 13.1$; y/W = 0.5; $z/h_1 = 1.53$). En este sector la longitud máxima de las celdas de cálculo está en la dirección «x», $\delta_x = 5.8$ mm, mientras que las escalas características de la turbulencia resultan ser $\lambda = 3.9$ mm y $\eta = 0.049$ mm. Por lo tanto, las dimensiones de las celdas de cálculo en el dominio computacional son del mismo orden de magnitud que la microescala de Taylor, es decir, solo es necesario modelar con el cierre de Smagorinsky (Smagorinsky, 1963) una porción limitada del espectro, el sector correspondiente a la disipación turbulenta.

En esta misma Figura 13.6 se observa en color amarillo la componente de la energía cinética turbulenta resuelta a partir de la ecuaciones LES (k_{res}). La componente modelada con el cierre de turbulencia de Smagorinsky (k_{sm}) puede estimarse extrapolando la pendiente del espectro de energía hasta la microescala de Kolmogorov (área celeste en la Figura 13.6). La componente simulada, k_{res} , representa el 99 % del total de la energía cinética turbulenta, $k_{res}/(k_{res}+k_{sm})=0.99$.

Pope (2001) sugiere que cuando el k_{res} supera el 80% de la energía cinética turbulenta total, la simulación LES puede considerarse «bien resuelta». Si bien este porcentaje en algunos casos resulta insuficiente, por ejemplo Davidson (2009) menciona que simulaciones con k_{res} mayores a 85% no logran una buena representación, conseguir una relación entre la energía cinética turbulenta resuelta y la total del 99% podría ser un indicativo suficiente para considerar que se está en presencia de una simulación LES en la región alejada de la pared. Pero sin duda lo que ratifica esta definición es que la resolución de la malla en el sector del labio inferior de la compuerta, donde tiene lugar el desprendimiento de los vórtices que dominan el fenómeno, es suficientemente fina para resolver todas las escalas de turbulencia que se quieren estudiar. Lo anterior queda de manifiesto en el hecho de que se logra representar satisfactoriamente todo el subrango inercial del espectro (Figura 13.5), se simulan correctamente las frecuencias de los vórtices principales del flujo (sección 13.2) y se consigue explicar las causas y consecuencias del fenómeno de «separación» de la capa límite en el piso del resalto (sección 13.3).

Por consiguiente, esta simulación puede enmarcarse dentro de lo que se denomina LES-NWM.

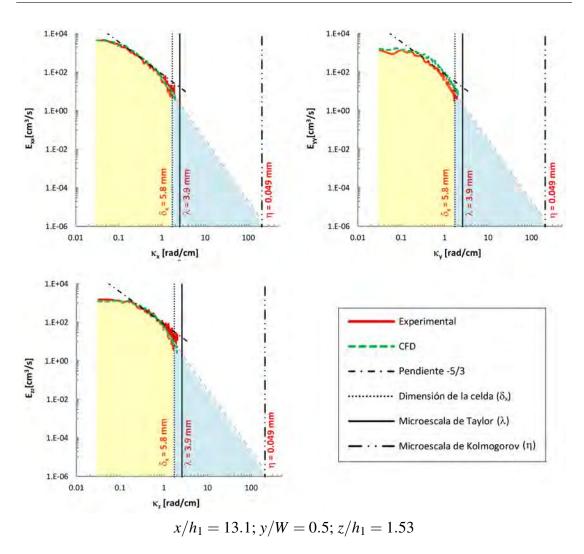


Figura 13.6: Espectros unidimensionales de las fluctuaciones de velocidad en el dominio de onda (E_{xx}, E_{yy}, E_{zz}) . Se incluye la pendiente -5/3 (espectro de Kolmogorov), la dimensión de la celda de cálculo (δ_x) , la microescala de Taylor (λ) y la microescala de Kolmogorov (η) . Ensayo $Fr_1 = 2.0$, S = 1.0

13.2. Análisis espectral

Con el objetivo de poder alcanzar una mayor comprensión de los fenómenos complejos que tienen lugar en el resalto hidráulico sumergido, en esta sección se presenta un análisis específico de las principales variables hidráulicas (superficie libre, presión y velocidades) en términos de sus fluctuaciones. Como en el caso del parágrafo anterior, se emplea el método de Welch para la estimación del espectro de potencia, así como el número de Strouhal (*St*) para adimensionalizar las frecuencias en diferentes regiones del resalto:

$$St = \frac{f_m h_1}{U_1} \tag{13.5}$$

donde f_m es la frecuencia dominante del espectro (que presenta la mayor potencia), h_1 es la sección contraída aguas abajo de la compuerta y U_1 es la velocidad media en la sección de contracción.

13.2.1. Espectro de potencia de las fluctuaciones de la superficie libre

Los espectros de potencia de las fluctuaciones de la superficie libre (Figura 13.7) muestran una frecuencia dominante diferente para cada zona. En la región del «roller» horizontal $(x/h_1 < 21.9)$ esta frecuencia dominante tiene un valor de 1.76 Hz, con excepción del punto $x/h_1 = 4.4$, donde la máxima potencia se produce para la frecuencia 1.95 Hz. Esta diferencia puede tener su explicación en la presencia de los vórtices verticales cercanos a la compuerta, que modifican, aunque levemente, la frecuencia dominante. El mismo comportamiento se puede observar en la Figura 13.8, en la que se ha graficado la distribución del número de Strouhal de la frecuencia dominante (St_H) en la dirección de la corriente.

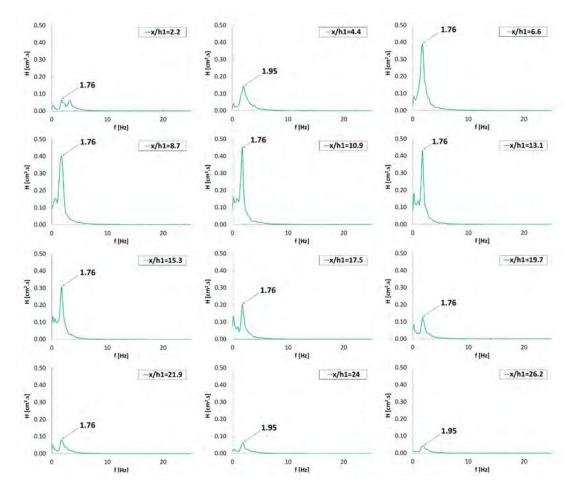


Figura 13.7: Espectro de potencia de las fluctuaciones de superficie libre, H (CFD).

Si se analiza la componente vertical de la velocidad cerca de la superficie libre, se observa un comportamiento similar al de la superficie libre, que se refleja en la forma del espectro. En la Figura 13.9 se presentan los espectros de las fluctuaciones de la componente vertical de la velocidad (G_{zz}), obtenidos tanto de manera experimental como numérica, en tres puntos representativos cercanos a la superficie. Las frecuencias máximas en el espectro de velocidad (izquierda) y el espectro de superficie libre (derecha) coinciden satisfactoriamente. Allí es posible incluso observar efectos de segundo orden, como es el caso del primer pico ubicado en el punto P3 ($x/h_1 = 13.11 - z/h_1 = 3.93$).

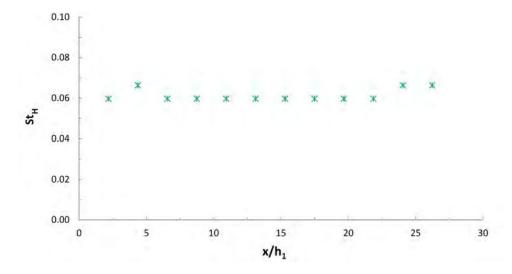


Figura 13.8: Distribución longitudinal del número de Strouhal de la frecuencia dominante de las fluctuaciones de superficie libre, St_H (CFD).

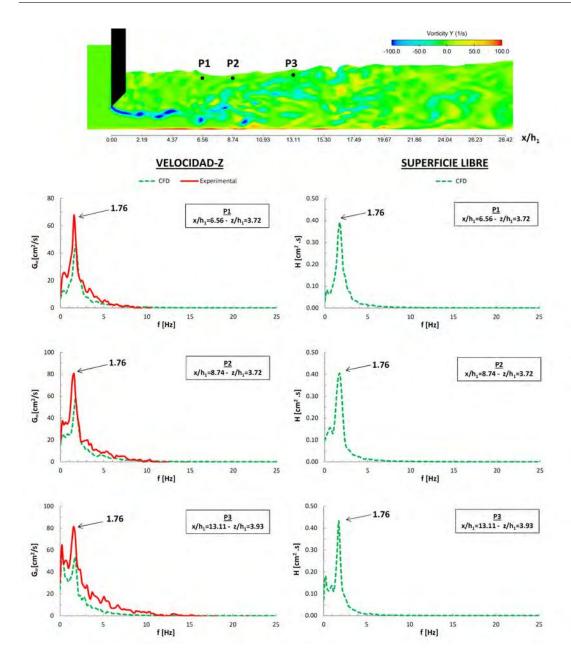


Figura 13.9: Análisis de las fluctuaciones de la superficie libre: espectro de fluctuaciones de la componente vertical de velocidad, G_{zz} (izquierda); espectro de fluctuaciones de superficie libre, H (derecha).

13.2.2. Espectro de potencia de las fluctuaciones de presión

En la Figura 13.10 se grafican los espectros de potencia de las fluctuaciones de presión en el fondo del canal. Se manifiesta una frecuencia dominante hasta la progresiva $x/h_1 = 8.7$ (es decir, aproximadamente hasta 40 % de L_{rsj}), que varía de 1.56 a 2.34 Hz. Más allá de la mitad del resalto, no es posible detectar un valor definido de frecuencia dominante en el espectro de potencia. Esta característica ya ha sido descrita por otros investigadores tanto para el resalto libre como sumergido (Lopardo y Casado, 2007;

Lopardo et al., 2018).

Por lo tanto, es posible afirmar que las fluctuaciones de presión en la parte inferior del resalto sumergido muestran un comportamiento diferenciado entre la primera mitad del roller (abscisa hasta $x/h_1 = 8.7$) y la segunda. Otros autores (Wang *et al.*, 2015) describen un desempeño similar para el caso de resalto libre. Las correlaciones entre la deformación de la superficie libre, el arrastre de aire y la fluctuación de presión muestran diferentes tendencias dependiendo que se esté ubicado aguas arriba de $0.5 L_{rsj}$ o después de este punto.

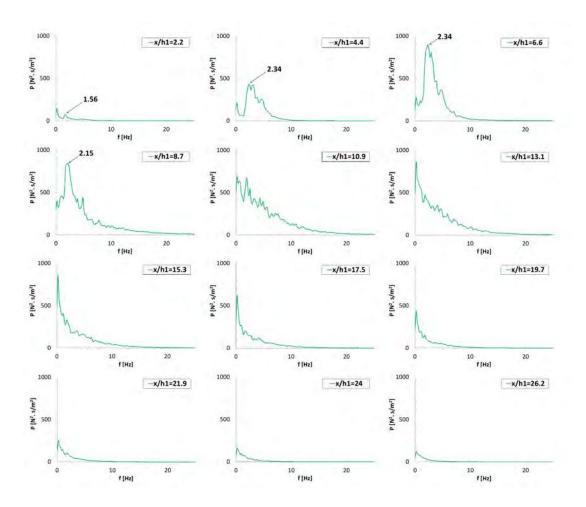


Figura 13.10: Espectro de potencia de las fluctuaciones de presión en el fondo del resalto, *P* (CFD).

13.2.3. Espectro de potencia de las fluctuaciones de velocidad

En la Figura 13.12 se presentan seis espectros de potencia de las fluctuaciones de la componente de velocidad longitudinal (G_{xx}) ubicados en diferentes sectores del resalto. Se distingue una zona superior ($z/h_1 > 1.09$) en la que no aparece una frecuencia dominante y una parte baja ($z/h_1 < 1.09$), caracterizada por espectros de potencia con

valores máximos de baja frecuencia identificables (siempre inferiores a $10 \, Hz$). Este hecho puede ser explicado a partir de relacionar la velocidad convectiva con el patrón de flujo (velocidad media). Mientras que en la zona inferior los vórtices del labio de la compuerta se propagan hacia aguas abajo, encontrando una correlación directa entre las fluctuaciones de velocidad y la frecuencia de desprendimiento de vórtices, en la zona superior, el flujo está asociado con el «roller» de eje horizontal y su consiguiente velocidad de retroceso, perdiéndose la relación con el desprendimiento de vórtices de la compuerta.

La Figura 13.11 muestra la distribución del número de Strouhal de la frecuencia dominante de las fluctuaciones de velocidad (St_u) en la en la zona inferior ($z/h_1 < 1,09$). Allí puede observarse que el valor de St_u decae rápidamente desde $St_u = 0.36$ cerca de la compuerta ($x/h_1 = 2.2$) hasta un valor entre 0.09 a 0.05 para las progresivas $6 \le x/h_1 \le 14$. Luego de la progresiva $x/h_1 > 15$, ya no es posible distinguir una frecuencia característica.

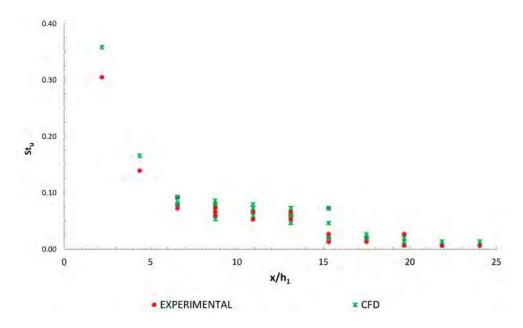


Figura 13.11: Distribución longitudinal del número de Strouhal de la frecuencia dominante de las fluctuaciones de la componente longitudinal de velocidad (St_u) .

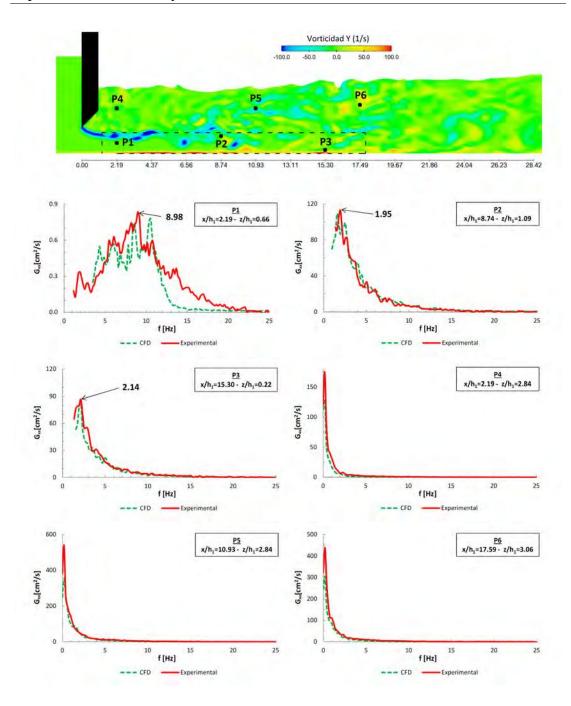


Figura 13.12: Espectros de potencia de las fluctuaciones de la componente longitudinal de velocidad, G_{xx} , en el interior del resalto.

13.3. Separación de la capa límite en el piso del resalto

Los procesos generados en la base del resalto hidráulico están estrechamente vinculados a las cargas dinámicas y las solicitaciones que afectan a los cuencos disipadores de energía (cavitación por pulsos de presión, fatiga en los anclajes de las losas, erosión en la salida de los cuencos, etc.). De esta manera, diverso autores han abordado el análisis de las presiones fluctuantes en la base del resalto con motivo de poder evaluar la interacción del flujo con los contornos que lo contienen (Lopardo y Solari, 1980; Lopardo $et\ al.$, 1982, 1984; Lopardo y Henning, 1985; Lopardo, 1987; Lopardo $et\ al.$, 2004b, 2018; Gomez, 2000; Teixeira, 2003; Alves, 2008; Marques, 1995; Marques $et\ al.$, 1997, 1999, 2000, 2004, 2017; Steinke Jr $et\ al.$, 2021). Dentro de este análisis, el coeficiente de presiones fluctuantes C'p se emplea habitualmente para poder conocer el comportamiento del resalto bajo diferentes condiciones del flujo. En la Figura 13.13 se muestra la distribución de C'p en el fondo del canal obtenidas en la simulación CFD y los resultados experimentales para resaltos sumergidos con diferentes Fr_1 y S (Lopardo $et\ al.$, 2004a). En ellos se observa que las máximas solicitaciones se producen en la primera mitad del resalto, entre 0.3 y 0.5 L_{rsj} .

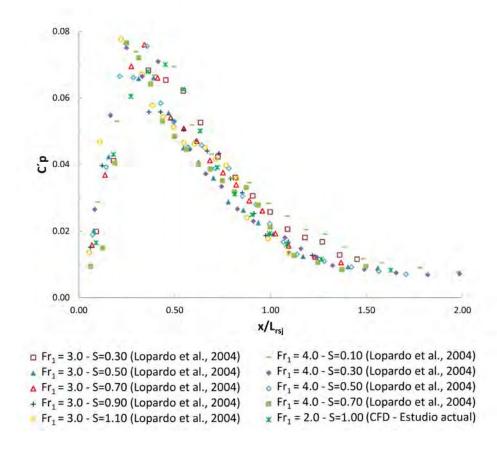


Figura 13.13: Distribución del coeficiente de presiones fluctuantes C'p en el fondo del canal para diferentes condiciones del resalto.

Si en un flujo real el gradiente positivo de presión $(\partial p/\partial s)$ es muy elevado, puede producirse en el interior de la capa límite un escurrimiento opuesto a la dirección de la velocidad media del flujo. El punto a partir del cual este fenómeno se produce se llama punto de separación y se dice que a partir de allí el fluido presenta «separación»

respecto del borde sólido por lo que la noción de capa límite pierde todo valor ya que la velocidad no se mantiene paralela a la pared (Figura 13.14).

Si $\partial p/\partial s$ es positivo, las partículas fluidas que se desplazan fuera de la capa límite van perdiendo velocidad de acuerdo con el teorema de Bernoulli. Pero en el interior de la capa límite, la energía cinética se consume debido al roce y las partículas no tienen suficiente velocidad para remontar el incremento de presión. Por ese motivo, su desplazamiento hacia aguas abajo puede llegar a anularse y luego producirse en sentido inverso. Cuando se presenta el fenómeno de separación el movimiento de retroceso provoca en general torbellinos, cuyas dimensiones son crecientes, y finalmente se apartan de la pared.

La separación puede ocurrir tanto en régimen laminar como en régimen turbulento. De todas formas, su aparición modifica completamente el campo general de escurrimiento aguas abajo del punto de separación o del obstáculo que la genera. En particular, la repartición de presiones a partir de ese punto sufre un cambio radical, formándose una estela.

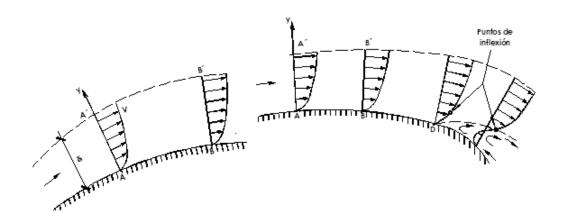


Figura 13.14: Separación de la capa límite producto de un gradiente adverso de presiones.

La elevada macroturbulencia del resalto y la dificultad de observación del fenómeno en caso de resalto libre por los torbellinos, la elevada turbulencia y la incorporación de aire no facilitan la observación del fenómeno de separación, por lo que sabiendo que se produce, no resulta sencillo de visualizar y menos aún de medir con la tecnología habitual de medición de velocidades a tan infinitésimas distancias del borde.

A efectos de poder determinar en forma indirecta el punto de separación en flujo macroturbulento, en particular en el caso de resaltos hidráulicos, se ha propuesto utilizar un criterio basado en la diferencia entre los valores positivos y negativos extremos de la función de densidad de probabilidad de amplitud de presiones instantáneas en el piso

del resalto. Se ha observado experimentalmente que la ecuación de Gauss no interpreta correctamente esta función de densidad de probabilidad en todo su recorrido (Lopardo *et al.*, 2018). La distribución estadística muestra en general una cierta asimetría (A_s), que se define como la ecuación 13.6.

$$A_s = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} p'^3 P_{(p')} dp'}{\sqrt{\overline{p'^2}}}$$
 (13.6)

donde $P_{(p')}$ es la función de probabilidad de la variable p', que es la fluctuación de la presión instantánea. La asimetría de la función de densidad de probabilidad de amplitud es un parámetro estadístico que caracteriza a algunos aspectos interesantes de las señales aleatorias.

Debe tenerse en cuenta que la transición de valores positivos a valores negativos de A_s a lo largo del piso del cuenco indica la posibilidad de una separación de la capa límite más allá de la mitad de la longitud del resalto libre (Lopardo y Casado, 2007).

En la Figura 13.15 se presentan un conjunto de imágenes obtenidas en el centro del canal (y/W=0.5) para diferentes pasos de tiempo, en donde las estructuras coherentes se identifican a partir del valor del *criterio* – Q. Este criterio define un vórtice como una región de fluido conectada con un segundo invariante positivo del tensor del gradiente de velocidad (Hunt *et al.*, 1988). Al analizar la definición del segundo invariante (ecuación 13.7) podemos ver que los vórtices, de acuerdo a este criterio, quedan definidos como áreas donde la magnitud de la vorticidad Ω_{ij} es mayor que la magnitud del tensor de deformación de velocidad S_{ij} (Kolář, 2007).

$$criterio - Q = \frac{1}{2} \left(u_{i,j}^2 - u_{i,j} u_{j,i} \right) = -\frac{1}{2} u_{i,j} u_{j,i} = \frac{1}{2} \left(\left\| \Omega_{ij} \right\|^2 - \left\| S_{ij} \right\|^2 \right) > 0$$
 (13.7)

La calle de vórtices generada en el borde de la compuerta tiene una conducta oscilante, causando el impacto de los vórtices en el fondo del canal entre las progresivas $7 < x/h_1 < 10$. En la Figura 13.16 se presenta el mismo comportamiento en una vista tridimensional, donde las estructuras coherentes, definidas con el criterio - Q = 0.5, se colorean con la vorticidad y (Ω_y). Es posible visualizar claramente que la capa límite ($\Omega_y > 0$) se separa del fondo en coincidencia con el paso del vórtice de eje transversal ($\Omega_y < 0$) que se origina en la compuerta.

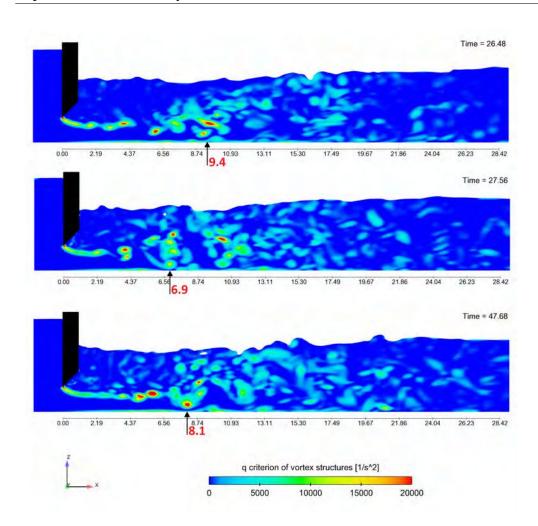


Figura 13.15: Estructuras coherentes, definidas a partir del criterio - Q, en el centro del canal (y/W = 0.5) para diferentes pasos de tiempo. Se incluye el punto de impacto de los vórtices en el fondo del canal.

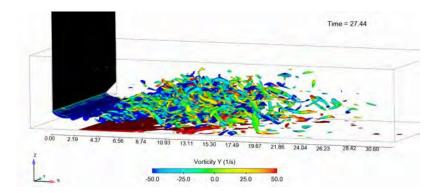


Figura 13.16: Estructuras coherentes definidas con el *criterio* – Q=0.5 y coloreados con la vorticidad en la dirección cartesiana $y(\Omega_y)$.

Las consecuencias derivadas del desprendimiento de la capa límite se muestran en la Figura 13.17. En la distribución del número de Strouhal St_p (Figura 13.17.b), obtenida

a partir de la frecuencia máxima del espectro de fluctuaciones de presión, se puede identificar una frecuencia dominante coincidiendo con el desarrollo de la capa límite (hasta $x/h_1 = 8.74$), que luego desaparece en forma abrupta debido al desprendimiento de la misma. En correspondencia con ese efecto, puede observarse que la asimetría de la función de densidad de probabilidad de amplitud de presiones (A_s) experimenta un cambio de signo en la progresiva $x/h_1 = 10$ pasando de positiva a negativa, tal como se presenta en la Figura 13.17.c.

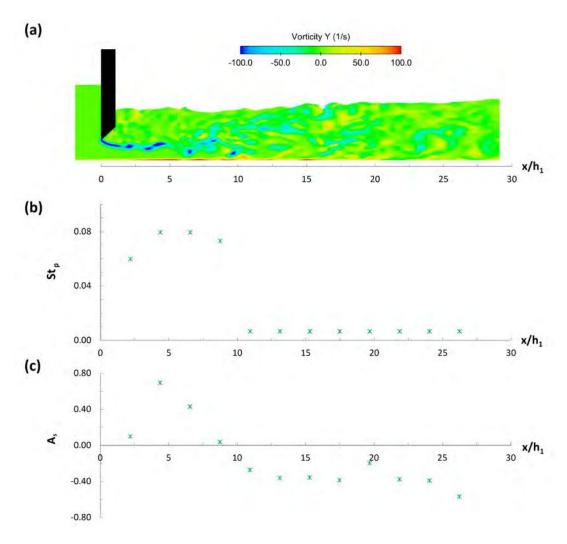


Figura 13.17: Separación de la capa límite en el fondo del canal: (a) vorticidad-y en el plano central (Ω_y) ; (b) presiones fluctuantes en el fondo del canal. Número de Strouhal de la frecuencia dominante (S_p) ; (c) asimetría de la amplitud de presiones fluctuantes en el fondo del canal (A_s)

Parte IV CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Capítulo 14

Conclusiones referidas a la caracterización experimental

La parte II de esta tesis proporciona un nuevo conjunto de datos experimentales de velocidades medias e instantáneas correspondientes a resaltos hidráulicos sumergidos, con el objetivo de cubrir características esencialmente tridimensionales que no han sido tenidas en cuenta en contribuciones anteriores. Las condiciones ensayadas abarcan un rango amplio de números de Froude incidente Fr_1 (2.0, 3.0, 4.0 y 5.0) y de índices de sumergencia S (2.3 a 0.18). Para este fin se han utilizado satisfactoriamente las técnicas de velocimetría ADV y PTV.

En el capítulo 9 se demuestra que las nuevas mediciones presentan un buen acuerdo con estudios anteriores desarrollados en otros laboratorios, dando credibilidad a las observaciones realizadas. En este mismo capítulo se verifica la existencia del comportamiento de autosimilaridad en los perfiles verticales de energía cinética turbulenta TKE para diferentes condiciones de flujo, ello si se representan gráficamente como TKE/TKE_{max} contra z/δ_2 . En esos resultados se observó un cierto «efecto de ascenso» en la distribución de TKE a medida que los puntos de medición se acercan a las paredes laterales, en acuerdo con el efecto reportado por Long *et al.* (1990) para el caso de las velocidades.

Además, se puso en evidencia que la presencia de las paredes del canal induce un efecto de separación de la capa límite, que sería responsable de la vorticidad de eje vertical. Al analizar la anisotropía de la turbulencia registrada en este flujo, surge la conclusión de que dicha anisotropía es más una consecuencia que una causa de la vorticidad de eje vertical.

Por otra parte, se pudo determinar que existe una relación entre la escala de longitud de los dos vórtices verticales y el «roller» de eje horizontal. En efecto, el tamaño del vórtice vertical L_v/h_1 muestra una relación lineal con la longitud del «roller» L_{rsj}/h_1

para diferentes condiciones de ensayo. Asimismo, del análisis entre la intensidad de los vórtices verticales ($\Omega_z h_2/U_1$) y el índice de sumergencia se desprende que para S > 2.6 las estructuras coherentes pierden entidad por completo, pudiendo definirse esa sumergencia como la frontera entre el resalto sumergido y el flujo de pared.

La definición clásica de la longitud del resalto, la cual surge de un análisis de variables macroscópicas, está lejos de asegurar la disipación total de la energía turbulenta producida en el fenómeno (de Dios *et al.*, 2016). El valor de energía turbulenta (medido en términos de TKE) luego de superarse la longitud del «roller» (L_{rsj}) es de aproximadamente el 40% del valor máximo. En definitiva, la condición de régimen uniforme se alcanza más allá de tres veces la longitud del torbellino de eje horizontal (entre 3.3 y 3.7 veces L_{rsj} dependiendo de las condiciones de ensayo). La curva de decaimiento de TKE es asintótica hasta el valor del régimen uniforme, encontrando un punto de inflexión en $1.5 L_{rsj}$ (con TKE del orden de 1.5% del valor máximo). Otro resultado interesante que se analiza en esta parte de la tesis, es la relación que existe entre el Fr_1 y S con la longitud del resalto. Se demostró que cuanto mayor sea Fr_1 , la distribución de TKE/U_1^2 se propaga más hacia aguas abajo y se presenta una disminución de los valores máximos. Algo similar ocurre con el incremento del índice de sumergencia (S).

Adicionalmente, se verificó la relación que existe entre el coeficiente de presiones fluctuantes (C'p) y la intensidad de turbulencia (I_t). Para ello se compararon los valores de presiones fluctuantes medidos por Sauma Haddad (1992) con los nuevos ensayos de velocidades instantáneas, encontrando un coeficiente de proporcionalidad entre estas dos variables de $\lambda_t = 0.7$, que resulta del mismo orden del obtenido para resaltos libres (Lopardo y Romagnoli, 2009).

Capítulo 15

Conclusiones referidas a la simulación numérica

En la parte III de de la presente tesis se ha desarrollado una caracterización numérica (CFD) del flujo turbulento en el resalto hidráulico sumergido para un número de Froude incidente $Fr_1 = 2.0$ y un índice de sumergencia S = 1.0. Se empleó para este fin el código numérico FLOW-3D[®].

Para la resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes se utilizaron los enfoques LES-NWM y RANS, este último con tres modelos de turbulencia diferentes (k- ε , k- ω y RNG k- ε).

Se demostró que sólo el tipo de simulación LES-NWM logra representar las estructuras coherentes que se forman en el resalto sumergido en las proximidades de la compuerta (vórtices de eje vertical), es decir, que permite caracterizar correctamente los fenómenos tridimensionales de este tipo de escurrimientos. El acuerdo alcanzado con los resultados experimentales es muy alentador, con una diferencia del 3.6% en la predicción de la longitud de los vórtices verticales (L_{ν}).

En la sección 13.1 se presenta una validación completa de la simulación LES-NWM a partir de las mediciones experimentales de velocidad obtenidas con el Vectrino⁺. La concordancia entre los resultados experimentales y los de CFD es satisfactoria, cumpliendo con la condición de autosimilitud de los perfiles de velocidad, esfuerzos de Reynolds y TKE, característicos de este tipo de escurrimientos. Además, pudieron representarse satisfactoriamente los espectros de potencia de las fluctuaciones de velocidad en gran parte de la cascada de energía, verificándose en gráfico doble logarítmico que la tasa de transferencia de energía en el «subrango inercial» (sector donde no se toma ni se pierde energía de acuerdo con la ley de Kolmogorov) responde a la recta con pendiente -5/3. Estos resultados fueron obtenidos con celdas de cálculo de dimensiones similares a las de la microescala de longitud de Taylor (λ). Se estudió la resolución al-

canzada con la simulación LES mediante los espectros de energía unidimensional de las fluctuaciones de velocidad en el dominio de onda κ_i (E_{ii}), demostrandose que la componente simulada de la energía cinética turbulenta (k_{res}) representa el 99% del total. Esta verificación, sumado a que la resolución de la malla en el sector del labio inferior de la compuerta (donde tiene lugar el desprendimiento de los vórtices que dominan el fenómeno) es suficientemente fina para resolver todas las escalas de turbulencia que se quieren estudiar, permite afirmar que se está en presencia de una simulación LES-NWM.

El análisis espectral permitió determinar que la deformación de la superficie libre tiene una frecuencia dominante de 1.76 Hz (equivalente a $St_H = 0.06$) en toda la longitud del «roller» horizontal ($x/h_1 < 21.9$), con excepción del punto $x/h_1 = 4.4$, donde la frecuencia dominante es levemente diferente, posiblemente por la interacción con los vórtices verticales.

Con respecto a los espectros de potencia de las fluctuaciones de velocidad, es posible distinguir una zona superior $(z/h_1 > 1.09)$ en la que no aparece una frecuencia dominante, y una parte baja $(z/h_1 < 1.09)$ caracterizada por espectros de potencia con picos de baja frecuencia identificables. Este hecho puede ser explicado a partir de relacionar la velocidad convectiva con el patrón de flujo (velocidad media). Mientras que en la zona inferior los vórtices del labio de la compuerta se propagan hacia aguas abajo, encontrando una correlación directa entre las fluctuaciones de velocidad y la frecuencia de desprendimiento de estos vórtices, en la zona superior el «roller» de eje horizontal y su consiguiente velocidad de retroceso gobiernan este sector, perdiéndose la relación con el desprendimiento de los vórtices de la compuerta.

En cuanto a las presiones fluctuantes en la base del resalto, se comprueba que el coeficiente de presiones fluctuantes C'p sigue el comportamiento que ha sido reportado en la bibliografía (Lopardo *et al.*, 2004a) para diferentes condiciones de Fr_1 y S. Este resultado abre un interesante abanico de posibilidades de predecir el campo de presiones instantáneas (al menos en sus valores medios cuadráticos) en la base de un resalto hidráulico a partir del campo de velocidades calculado con la técnica de modelación numérica empleada en esta investigación.

Finalmente, se ha desarrollado un estudio específico de la capa límite sobre el piso bajo el resalto. Se verificó allí la presencia del fenómeno de separación de la capa límite, manifestado en un cambio de signo de la asimetría de la función de densidad de probabilidad de las amplitudes de presión A_s y una caída abrupta del número de Strouhal St_p de la frecuencia dominante, como fuese reportado por otros autores (Lopardo y Lopardo, 2019). En el caso particular simulado, ese punto de separación se localiza aproximadamente en la progresiva $x/h_1=10$.

Se destaca que el presente estudio permite la identificación de las posibles causas

que provocan este desprendimiento. En efecto, a partir de la visualización de las estructuras coherentes, mediante el criterio - Q, se advierte que la calle de vórtices generada en el borde de la compuerta tiene un comportamiento oscilante, causando el impacto de los vórtices en el fondo del canal entre las progresivas $x/h_1 = 7$ y $x/h_1 = 10$. De esta manera, se podría asociar el desprendimiento de la capa límite del fondo del resalto con este impacto.

Capítulo 16

Recomendaciones

En esta investigación se ha abordado de manera integral, mediante mediciones experimentales y simulaciones numéricas, el comportamiento tridimensional del resalto sumergido. Si bien el aporte de esta tesis puede enmarcarse dentro de la mecánica de fluidos elemental, se considera que su interés va más allá de este aspecto ya que el resalto hidráulico constituye un fenómeno de gran importancia en la ingeniería hidráulica, debido fundamentalmente a su extenso uso como disipador de energía.

Sin embargo, aún queda una gran cantidad de incógnitas a resolver para afirmar que se tiene una completa descripción de las características internas del resalto hidráulico. A modo de ejemplo, se mencionan algunos posibles temas pendientes que podrían surgir como continuación de la línea de trabajo desarrollada en esta tesis de doctorado:

- Realizar simulaciones CFD del resalto sumergido con LES-NWM para números de Froude mayores a 2, haciendo extensivo los resultados obtenidos en este estudio para casos más generales, en particular para llegar a resaltos estables con $4.5 < Fr_1 < 9$.
- Estudiar la capacidad que tienen las simulaciones LES-NWM para representar fluctuaciones de presión y velocidad extremas. En particular, estudiar los percentiles de presión en el piso debajo del resalto (asociados a fenómenos de cavitación y arrancamiento de losas en cuencos amortiguadores) y fundamentalmente pulsos de velocidad, que pueden resultar de gran utilidad para estimar la aparición de erosiones localizadas y para diseñar protecciones a la salida de cuencos disipadores de energía.
- En cuanto a los instrumentos de medición experimental, haciendo uso de simulaciones LES-NWM correctamente validadas, se podrá profundizar la metodología publicada por de Dios *et al.* (2010) para la corrección del ruido Doppler en los valores extremos de señales registradas con ADV.

Bibliografía

- ADRIAN, L., ADRIAN, R.J., Y WESTERWEEL, J. *Particle image velocimetry*. 30. Cambridge university press (2011)
- ADRIAN, R.J. Scattering particle characteristics and their effect on pulsed laser measurements of fluid flow: speckle velocimetry vs particle image velocimetry. *Applied optics* **23**(11):1690–1691 (1984)
- ALVES, A.A.M. Caracterização das solicitações hidrodinâmicas em bacias de dissipação por ressalto hidráulico com baixo número de Froude. Proyecto Fin de Carrera, IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil (2008)
- AMORIM, J.C.C., RODRIGUES, R.C., Y MARQUES, M.G. A numerical and experimental study of hydraulic jump stilling basin. *Advances in Hydroscience and Engineering* **4** (2004)
- ASME. Standard for verification and validation in computational fluid dynamics and heat transfer. *American Society of Mechanical Engineers* (2009)
- BAEK, S. Y LEE, S. A new two-frame particle tracking algorithm using match probability. *Experiments in Fluids* **22**(1):23–32 (1996)
- BARKHUDAROV, M.R. Lagrangian VOF Advection method for FLOW-3D. *Flow Science Inc* **1**(10) (2004)
- BATCHELOR, G. Pressure fluctuations in isotropic turbulence. En *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, tomo 47, págs. 359–374. Cambridge University Press (1951)
- BENDAT, J.S. Y PIERSOL, A.G. *Random data: analysis and measurement procedures*, tomo 729. John Wiley & Sons (2011)
- BHUIYAN, F., HABIBZADEH, A., RAJARATNAM, N., Y ZHU, D.Z. Reattached turbulent submerged offset jets on rough beds with shallow tailwater. *Journal of Hydraulic Engineering* **137**(12):1636–1648 (2011)

- BOMBARDELLI, F.A., MEIRELES, I., Y MATOS, J. Laboratory measurements and multi-block numerical simulations of the mean flow and turbulence in the non-aerated skimming flow region of steep stepped spillways. *Environmental Fluid Mechanics* **11**(3):263–288 (2011)
- BRADLEY, J.N. Y PETERKA, A.J. The hydraulic design of stilling basins. *Journal of the Hydraulics Division* **83**(5):1401–1406 (1957)
- BREMEN, R. Y HAGER, W. The submerged hydraulic jump in an abrupt lateral expansion (Le ressaut noyé dans un élargissement brusque)-Disscussion. *Journal of Hydraulic Research* **28**(2):387–391 (1990)
- BREVIS, W., NIÑO, Y., Y JIRKA, G. Integrating cross-correlation and relaxation algorithms for particle tracking velocimetry. *Experiments in Fluids* **50**(1):135–147 (2011)
- CASTILLO, L. Measurement of velocities and characterization of some parameters inside of free and submerged hydraulic jumps. En *Proceedings of 33rd International Association of Hydraulic Engineering & Research Congress* (2009)
- CELIK, I.B., GHIA, U., ROACHE, P.J., Y FREITAS, C.J. Procedure for estimation and reporting of uncertainty due to discretization in CFD applications. *Journal of fluids Engineering-Transactions of the ASME* **130**(7) (2008)
- CHANSON, H. Y BRATTBERG, T. Experimental study of the air–water shear flow in a hydraulic jump. *International Journal of Multiphase Flow* **26**(4):583–607 (2000)
- CHANSON, H. Y GUALTIERI, C. Similitude and scale effects of air entrainment in hydraulic jumps. *Journal of Hydraulic Research* **46**(1):35–44 (2008)
- CHEN, J.G., ZHANG, J.M., XU, W.L., Y WANG, Y.R. Numerical simulation of the energy dissipation characteristics in stilling basin of multi-horizontal submerged jets. *Journal of Hydrodynamics* **22**(5):732–741 (2010)
- CHIPPADA, S., RAMASWAMY, B., Y WHEELER, M.F. Numerical simulation of hydraulic jump. *International Journal for Numerical Methods in Engineering* **37**(8):1381–1397 (1994)
- CHOW, V.T. *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill Book Company, Inc, New York (1959)
- CREUTIN, J., MUSTE, M., BRADLEY, A., KIM, S., Y KRUGER, A. River gauging using PIV techniques: a proof of concept experiment on the Iowa River. *Journal of Hydrology* **277**(3-4):182–194 (2003)

- DAVIDSON, L. Large eddy simulations: how to evaluate resolution. *International Journal of Heat and Fluid Flow* **30**(5):1016–1025 (2009)
- DAVIDSON, L. Y PENG, S.H. Hybrid LES-RANS modelling: a one-equation SGS model combined with $ak-\omega$ model for predicting recirculating flows. *International Journal for Numerical Methods in Fluids* **43**(9):1003–1018 (2003)
- DE DIOS, M., GARCÍA, C.M., Y LOPARDO, R.A. Metodología para la corrección de valores extremos de señales velocidad registradas con ADV y afectadas por ruido Doppler. En *Tercer Simposio de Métodos Experimentales en Hidráulica, Santa Fe, Argentina* (2010)
- DE DIOS, M., BOMBARDELLI, F.A., LISCIA, S.O., LOPARDO, R.A., Y PARRAVICI-NI, J.A. Longitud del resalto sumergido: una mirada desde la turbulencia. En *XXVII* Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Lima, Perú (2016)
- DE DIOS, M., BOMBARDELLI, F.A., GARCÍA, C.M., LISCIA, S.O., LOPARDO, R.A., Y PARRAVICINI, J.A. Experimental characterization of three-dimensional flow vortical structures in submerged hydraulic jumps. *Journal of Hydro-environment Research* **15**:1–12 (2017)
- DEARDORFF, J.W. Three-dimensional numerical study of the height and mean structure of a heated planetary boundary layer. *Boundary-Layer Meteorology* **7**(1):81–106 (1974)
- DEY, S. Y SARKAR, A. Response of velocity and turbulence in submerged wall jets to abrupt changes from smooth to rough beds and its application to scour downstream of an apron. *Journal of Fluid Mechanics* **556**:387–419 (2006)
- DEY, S. Y SARKAR, A. Computation of Reynolds and boundary shear stress in submerged jets on rough boundaries. *Journal of Hydro-environment Research* **1**(2):110–117 (2007a)
- DEY, S. Y SARKAR, A. Effect of upward seepage on scour and flow downstream of an apron due to submerged jets. *Journal of Hydraulic Engineering* **133**(1):59–69 (2007b)
- DEY, S. Y SARKAR, A. Characteristics of turbulent flow in submerged jumps on rough beds. *Journal of engineering mechanics* **134**(1):49–59 (2008)
- DEY, S., NATH, T.K., Y BOSE, S.K. Fully rough submerged plane wall-jets. *Journal of Hydro-environment Research* **4**(4):301–316 (2010a)

- DEY, S., NATH, T.K., Y BOSE, S.K. Submerged wall jets subjected to injection and suction from the wall. *Journal of fluid mechanics* **653**:57–97 (2010b)
- DOROUDIAN, B., HURTHER, D., Y LEMMIN, U. Discussion of «turbulence measurements with acoustic doppler velocimeters» by Carlos M. García, Mariano I. Cantero, Yarko Niño, and Marcelo H. García. *Journal of Hydraulic Engineering* **133**(11):1286–1289 (2007)
- EAD, S. Y RAJARATNAM, N. Plane turbulent wall jets on rough boundaries with limited tailwater. *Journal of engineering mechanics* **130**(10):1245–1250 (2004)
- ENDRES, L.A.M. Contribuição ao desenvolvimento de um sistema para aquisição e tratamento de dados e pressões instantâneas em laboratorio. Proyecto Fin de Carrera, IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil (1990)
- FAVRE, A., KOSVAZNAY, L., DUMAS, R., GAVIGLIO, J., Y COANTIC, M. La Turbulence en mécanique des fluides: bases théoriques et expérimentales, méthodes statistiques. Bordas (1976)
- FEDERICO, I., MARRONE, S., COLAGROSSI, A., ARISTODEMO, F., Y ANTUONO, M. Simulating 2D open-channel flows through an SPH model. *European Journal of Mechanics-B/Fluids* **34**:35–46 (2012)
- FLOW SCIENCE, I. FLOW-3D User Manual, Version 9.3. Los Alamos, New Mexico, USA (2008)
- FUJITA, I., WATANABE, H., Y TSUBAKI, R. Development of a non-intrusive and efficient flow monitoring technique: The space-time image velocimetry (STIV). *International Journal of River Basin Management* **5**(2):105–114 (2007)
- GARCÍA, C.M., CANTERO, M.I., NIÑO, Y., Y GARCÍA, M.H. Turbulence Measurements with Acoustic Doppler Velocimeters. *Journal of Hydraulic Engineering* **131**(12):1062–1073 (2005)
- GARCIA, C.M., JACKSON, P.R., Y GARCIA, M.H. Confidence intervals in the determination of turbulence parameters. *Experiments in fluids* **40**(4):514–522 (2006)
- GARCÍA, C. Tudecode a Matlab Program to Compute Turbulence Parameters. *University of Illinois, Urbana-Champaign.* (2005)
- GEURTS, B.J. Inverse modeling for large-eddy simulation. *Physics of Fluids* **9**(12):3585–3587 (1997)

- GIL MONTERO, V.G., ROMAGNOLI, M., GARCÍA, C.M., CANTERO, M.I., Y SCAC-CHI, G. Optimization of ADV sampling strategies using DNS of turbulent flow. *Journal of hydraulic research* **52**(6):862–869 (2014)
- GOMEZ, J.F. Visualização de escoamento turbulento ressalto hidráulico a jusante de uma comporta. Proyecto Fin de Carrera, IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil (2000)
- GONZÁLEZ, A. Y BOMBARDELLI, F.A. Two-phase-flow theoretical and numerical models for hydraulic jumps, including air entrainment. En *Proceedings of the Ko-rea Water Resources Association Conference*, págs. 28–29. Korea Water Resources Association (2005)
- GORING, D.G. Y NIKORA, V.I. Despiking acoustic Doppler velocimeter data. *Journal of hydraulic engineering* **128**(1):117–126 (2002)
- GUMUS, V., SIMSEK, O., SOYDAN, N.G., AKOZ, M.S., Y KIRKGOZ, M.S. Numerical modeling of submerged hydraulic jump from a sluice gate. *Journal of irrigation and drainage engineering* **142**(1):04015037 (2016)
- GUNAWAN, B., SUN, X., STERLING, M., SHIONO, K., TSUBAKI, R., RAMESHWA-RAN, P., KNIGHT, D.W., CHANDLER, J.H., TANG, X., Y FUJITA, I. The application of LS-PIV to a small irregular river for inbank and overbank flows. *Flow Measure-ment and Instrumentation* **24**:1–12 (2012)
- HABIBZADEH, A., Wu, S., ADE, F., RAJARATNAM, N., Y LOEWEN, M. Exploratory study of submerged hydraulic jumps with blocks. *Journal of Hydraulic Engineering* **137**(6):706–710 (2011)
- HAGER, W.H. *Energy dissipators and hydraulic jump*, tomo 8. Springer Science & Business Media (1992)
- HAMBA, F. A hybrid RANS/LES simulation of turbulent channel flow. *Theoretical and computational fluid dynamics* **16**(5):387–403 (2003)
- HIRT, C. Y SICILIAN, J. A porosity technique for the definition of obstacles in rectangular cell meshes. En *International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics*, 4th (1985)
- HIRT, C.W. Y NICHOLS, B.D. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of computational physics* **39**(1):201–225 (1981)

- HONKANEN, M. Y NOBACH, H. Background extraction from double-frame PIV images. *Experiments in fluids* **38**(3):348–362 (2005)
- HORNUNG, H.G., WILLERT, C., Y TURNER, S. The flow field downstream of a hydraulic jump. *Journal of Fluid Mechanics* **287**:299–316 (1995)
- HUNT, J., WRAY, A., Y MOIN, P. Eddies, stream, and convergence zones in turbulent flows. *Center for turbulence research report CTR-S88* págs. 193–208 (1988)
- ISO, B.S. Hydrometry Open Channel Flow Measurement Using Thin-Plate Weirs (2008)
- JAVAN, M. Y EGHBALZADEH, A. 2D numerical simulation of submerged hydraulic jumps. *Applied Mathematical Modelling* **37**(10-11):6661–6669 (2013)
- JAYANTI, S. Computational fluid dynamics for engineers and scientists. Springer (2018)
- JESUDHAS, V., ROUSSINOVA, V., BALACHANDAR, R., Y BARRON, R. Submerged hydraulic jump study using DES. *Journal of Hydraulic Engineering* **143**(3):04016091 (2017)
- JESUDHAS, V., BALACHANDAR, R., ROUSSINOVA, V., Y BARRON, R. Turbulence characteristics of classical hydraulic jump using DES. *Journal of Hydraulic Engineering* **144**(6):04018022 (2018)
- JESUDHAS, V., BALACHANDAR, R., Y BOLISETTI, T. Numerical study of a symmetric submerged spatial hydraulic jump. *Journal of Hydraulic Research* págs. 1–15 (2019)
- JONES, W. Y LAUNDER, B.E. The prediction of laminarization with a two-equation model of turbulence. *International journal of heat and mass transfer* **15**(2):301–314 (1972)
- KOLÁŘ, V. Vortex identification: New requirements and limitations. *International journal of heat and fluid flow* **28**(4):638–652 (2007)
- KOLMOGOROV, A.N. The local structure of turbulence in incompressible viscous fluid for very large Reynolds numbers. *Cr Acad. Sci. URSS* **30**:301–305 (1941)
- KUNDU, P., COHEN, I., Y DOWLING, D. Fluid Mechanics, 5th Version. *Academic, Berlin* (2012)
- LAUNDER, B. Y SHARMA, B. Letters in Heat Mass Transfer, 1. VOI 1:131–138 (1974)

- LE COZ, J., JODEAU, M., HAUET, A., MARCHAND, B., Y LE BOURSICAUD, R. Image-based velocity and discharge measurements in field and laboratory river engineering studies using the free Fudaa-LSPIV software. En *Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, RIVER FLOW*, págs. 1961–1967 (2014)
- LENNON, J. Y HILL, D. Particle image velocity measurements of undular and hydraulic jumps. *Journal of Hydraulic Engineering* **132**(12):1283–1294 (2006)
- LHERMITTE, R. Y SERAFIN, R. Pulse-to-pulse coherent Doppler sonar signal processing techniques. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* **1**(4):293–308 (1984)
- LIBERZON, A. Y MELLER, Y. Openptv (2013)
- LILLY, D.K. The representation of small-scale turbulence in numerical simulation experiments. *IBM Form* págs. 195–210 (1967)
- LIN, C., HSIEH, S.C., LIN, I.J., CHANG, K.A., Y RAIKAR, R. Laboratory measurements of a steady breaker using PIV and BIV. *Coastal Engineering Proceedings* (33):30–30 (2012)
- LIU, M., RAJARATNAM, N., Y ZHU, D.Z. Turbulence structure of hydraulic jumps of low Froude numbers. *Journal of Hydraulic Engineering* **130**(6):511–520 (2004)
- LONG, D., STEFFLER, P., Y RAJARATNAM, N. LDA study of flow structure in submerged hydraulic jump. *Journal of Hydraulic Research* **28**(4):437–460 (1990)
- LONG, D., STEFFLER, P.M., Y RAJARATNAM, N. A numerical study of submerged hydraulic jumps. *Journal of Hydraulic Research* **29**(3):293–308 (1991)
- LOPARDO, R.A. Notas sobre fluctuaciones macroturbulentas de presion, medicion, analisis y aplicacion al resalto hidraulico. *Revista Latinoamericana de Hidráulica*. *São Paulo: Escola Politécnica. 44p* (1987)
- LOPARDO, R.A. Y DE DIOS, M. Intensidad de turbulencia en resaltos sumergidos. En XXV Congresso Latinoamericano de Hidráulica, San José, Costa Rica (2012)
- LOPARDO, R.A. Y HENNING, R.E. Experimental advances on pressure fluctuations beneath hydraulic jumps. En *Proceedings of the 21st IAHR Congress, Melbourne Australia*, tomo 3 (1985)
- LOPARDO, R.A. Y LOPARDO, M.A. Respuesta en frecuencia de la separación de capa límite en el piso de resaltos sumergidos. En *Sexto Simposio de Métodos Experimentales en Hidráulica, Paysandú, Uruguay* (2019)

- LOPARDO, R.A., DE LIO, J.C., Y VERNET, G.F. Physical modelling on cavitation tendency for macroturbulence of hydraulic jump. En *International Conference on the Hydraulic Modelling of Civil Engineering Structures Coventry, England*, págs. 22–24 (1982)
- LOPARDO, R.A., DE LIO, J.C., Y VERNET, G.F. Model-prototype comparisons on pressure fluctuations in hydraulic jump energy dissipators. En *Symposium on Scale Effects in Modelling Hydraulic Structures, Esslingen am Neckar, pg*, tomo 7, págs. 1–7 (1984)
- LOPARDO, R.A., FATTOR, C.A., CASADO, J.M., Y LOPARDO, M.C. Una aproximación por turbulencia remanente de la longitud del resalto sumergido. En *XXI Congresso Latinoamericano de Hidráulica*, *San Pablo*, *Brasil* (2004a)
- LOPARDO, R. Y CASADO, J. Boundary layer separation beneath submerged jump flows. En *Proceedings of the 32nd IAHR Congress*, 2, pág. 584. International Association for Hydraulic Research (2007)
- LOPARDO, R., FATTOR, C., LOPARDO, M., Y CASADO, J. Instantaneous pressure field on a submerged jump stilling basin. *Hydraulics of dams and river structures*. *London: AA Balkema* págs. 133–138 (2004b)
- LOPARDO, R.A. Y ROMAGNOLI, M. Pressure and velocity fluctuations in stilling basins. En *Advances in water resources and hydraulic engineering*, págs. 2093–2098. Springer (2009)
- LOPARDO, R.A. Y SOLARI, H.G. Fluctuaciones de presión en la base del resalto libre. En *IX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Mérida, Venezuela* (1980)
- LOPARDO, R.A., BACCHIEGA, J.D., Y LOPARDO, M.C. Descripción de algunas características macro turbulentas del resalto hidráulico a partir de las presiones en su base. En XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Buenos Aires, Argentina (2018)
- MA, F., HOU, Y., Y PRINOS, P. Numerical calculation of submerged hydraulic jumps. *Journal of hydraulic research* **39**(5):493–503 (2001)
- MALIK, N.A. Y DRACOS, T. Lagrangian PTV in 3D flows. *Applied Scientific Research* **51**(1-2):161–166 (1993)
- MARQUES, M.G., DRAPEAU, J.E., Y VERRETTE, J.L. Flutuação de pressão em um resalto hidráulico. En XVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, IAHR, Guayaquil, Ecuador (1997)

- MARQUES, M.G., TRIERWEILER, E., TEIXEIRA, E.D., Y ENDRES, L.A. Adimensionalização de flutuações de pressões em bacias de dissipaçõo por ressalto hidráulico. En I Congresso sobre Aproveitamento e Gestão de Recursos Hídricos em Países de Idioma Portugues, Río de Janeiro, Brasil (2000)
- MARQUES, M.G., TRIERWEILER, E., TEIXEIRA, E.D., Y ENDRES, L.A. Previsão de Pressões Extremas Junto ao Fundo de uma Bacia de Dissipação por Ressalto I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul Sudeste 23 Hidráulico Estudo de Caso. En IV Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas, Porto de Galinhas, Brasil (2004)
- MARQUES, M.G., HAMPE, R.F., SOUZA, P.E., Y TEIXEIRA, E.D. Previsão de pressões extremas mínimas em bacia de dissipação com baixo número de Froude. En 31st National Seminar on Large Dams. Belo Horizonte, Brasil. Comitê Brasileiro de Barragens (2017)
- MARQUES, M.G. *Nouvelle approche pour le dimensionnement des dissipateurs à auge*. Tesis Doctoral, Departement de Génie Civil, Université Laval, Québec, Canadá (1995)
- MARQUES, M.G., ALMEIDA, F.M., Y ENDRES, L.A.M. Adimensionalização de pressões médias em bacias de dissipação por ressalto hidráulico. En *XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos* (1999)
- MCCORQUODALE, J.A. Hydraulic jumps and internal flows. *Encyclopedia of fluid mechanics* **2**:120–173 (1986)
- MCLELLAND, S.J. Y NICHOLAS, A.P. A new method for evaluating errors in high-frequency ADV measurements. *Hydrological processes* **14**(2):351–366 (2000)
- MELLING, A. Tracer particles and seeding for particle image velocimetry. *Measure-ment science and technology* **8**(12):1406–1416 (1997)
- MENTER, F.R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA journal* **32**(8):1598–1605 (1994)
- MISRA, S., KIRBY, J., BROCCHINI, M., VERON, F., THOMAS, M., Y KAMBHAMET-TU, C. The mean and turbulent flow structure of a weak hydraulic jump. *Physics of Fluids* **20**(3):035106 (2008)
- MURZYN, F. Y CHANSON, H. Experimental assessment of scale effects affecting two-phase flow properties in hydraulic jumps. *Experiments in Fluids* **45**(3):513–521 (2008)

- MUSTE, M., FUJITA, I., Y HAUET, A. Large-scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments. *Water resources research* **44**(4) (2008)
- NASRABADI, M., OMID, M.H., Y FARHOUDI, J. Submerged hydraulic jump with sediment-laden flow. *International Journal of Sediment Research* **27**(1):100–111 (2012)
- NAZARI, F., JIN, Y.C., Y SHAKIBAEINIA, A. Numerical analysis of jet and submerged hydraulic jump using moving particle semi-implicit method. *Canadian Journal of Civil Engineering* **39**(5):495–505 (2012)
- NEZU, I. Y NAKAGAWA, H. Turbulence in open channel flow. IAHR monograph (1993)
- NEZU, I. Y SANJOU, M. PIV and PTV measurements in hydro-sciences with focus on turbulent open-channel flows. *Journal of hydro-environment research* **5**(4):215–230 (2011)
- NIKORA, V.I. Y GORING, D.G. ADV measurements of turbulence: Can we improve their interpretation? *Journal of hydraulic engineering* **124**(6):630–634 (1998)
- NORTEK. Vectrino Velocimeter. User Guide (2004)
- NORTEK. Vectrino II. A profiling bi-static acoustic velocimeter (2012)
- OHTSU, I., YASUDA, Y., Y ISHIKAWA, M. Submerged hydraulic jumps below abrupt expansions. *Journal of hydraulic engineering* **125**(5):492–499 (1999)
- PAIK, J. Y BOMBARDELLI, F.A. Scale-adaptive simulation of a confined turbulent wall jet in a flat open channel. *En preparación* (2016)
- PATALANO, A., BREVIS, W., GARCÍA, C., BLENINGER, T., Y RODRÍGUEZ, A. PT-Vlab, una herramienta grafica para el procesamiento digital en Velocimetría por Seguimiento de Partículas. En *Tercer Simposio de Métodos Experimentales en Hidráulica, Santa Fe, Argentina* (2013)
- PATALANO, A. Desarrollo e implementación en gran escala de técnicas de velocimetría por imágenes para caracterizar flujos de agua con superficie libre. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba (2017)
- PETERKA, A.J. *Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators*. 25. Department of the Interior, Bureau of Reclamation (1978)
- POPE, S.B. *Turbulent flows*. Cambridge University Press (2001)

- PRÁ, M.D. Uma abordagem para determinação das pressões junto ao fundo de dissipadores de energia por ressalto hidráulico. Tesis Doctoral, IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil (2011)
- PRECHT, E., JANSSEN, F., Y HUETTEL, M. Near-bottom performance of the Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) a comparative study. *Aquatic Ecology* **40**(4):481–492 (2006)
- RAFFEL, M., WILLERT, C., WERELEY, S., Y KOMPENHANS, J. Particle image velocimetry. Experimental fluid mechanics. *Springer, Berlin. doi* **10**(1007):978–3 (2007)
- RAJARATNAM, N. Hydraulic jumps. En *Advances in hydroscience*, tomo 4, págs. 197–280. Elsevier (1967)
- RAJARATNAM, N. Submerged hydraulic jump. *Journal of the Hydraulics Division* **91**(4):71–96 (1965)
- RESCH, F. Y LEUTHEUSSER, H. Reynolds stress measurements in hydraulic jumps. *Journal of Hydraulic Research* **10**(4):409–430 (1972)
- RESCH, F.J., LEUTHEUSSER, H.J., Y ALEMU, S. Bubbly two phase flow in hydraulic jump. *Journal of the Hydraulics Division* **100**(hy1) (1974)
- RICHARDSON, L.F. The approximate arithmetical solution by finite differences of physical problems involving differential equations, with an application to the stresses in a Masonry Dam. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character* **210**(459-470):307–357 (1910)
- RICHARDSON, L.F. Y GAUNT, J.A. The deferred approach to the limit. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, containing papers of a mathematical or physical character* **226**(636-646):299–361 (1927)
- ROACHE, P.J. Perspective: a method for uniform reporting of grid refinement studies. *Journal of Fluids Engineering. ASME* **116**(3):405–413 (1994)
- RODRÍGUEZ, J.F. Y GARCÍA, M.H. Laboratory measurements of 3-D flow patterns and turbulence in straight open channel with rough bed. *Journal of Hydraulic Research* **46**(4):454–465 (2008)
- ROMAGNOLI, M. Caracterización del flujo turbulento en resaltos hidráulicos libres. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario (2010)

- ROMAGNOLI, M., GARCÍA, C.M., Y LOPARDO, R.A. Signal postprocessing technique and uncertainty analysis of ADV turbulence measurements on free hydraulic jumps. *Journal of Hydraulic Engineering* **138**(4):353–357 (2012)
- ROUSE, H., SIAO, T.T., Y NAGARATNAM, S. Turbulence characteristics of the hydraulic jump. *Journal of the Hydraulics Division* **84**(1):1–30 (1958)
- SAGAUT, P. Multiscale and multiresolution approaches in turbulence: LES, DES and hybrid RANS/LES methods: applications and guidelines. World Scientific (2013)
- SAUMA HADDAD, J.C. Reporte INCYTH LHA-116-02-92. Resalto sumergido. Informe técnico, INA. Ezeiza, Argentina (1992)
- SCACCHI, G.B. Interacción entre el flujo turbulento y los procesos de erosión junto a estribos de puentes protegidos. Estudio experimental. Tesis Doctoral, Facultad de Ingenieria y Ciencias Hidricas. Universidad Nacional del Litoral (2017)
- SMAGORINSKY, J. General circulation experiments with the primitive equations: I. The basic experiment. *Monthly weather review* **91**(3):99–164 (1963)
- SMAGORINSKY, J., GALPERIN, B., Y ORSZAG, S. Large eddy simulation of complex engineering and geophysical flows. *Evolution of physical oceanography* págs. 3–36 (1993)
- SMITH, L.M. Y REYNOLDS, W.C. On the Yakhot–Orszag renormalization group method for deriving turbulence statistics and models. *Physics of Fluids A: Fluid Dynamics* **4**(2):364–390 (1992)
- SMITH, L.M. Y WOODRUFF, S.L. Renormalization-group analysis of turbulence. *Annual Review of Fluid Mechanics* **30**(1):275–310 (1998)
- SNYDER, W.H. Y CASTRO, I.P. Acoustic Doppler velocimeter evaluation in stratified towing tank. *Journal of Hydraulic Engineering* **125**(6):595–603 (1999)
- SPALART, P.R. Comments on the feasibility of LES for wings, and on a hybrid RANS/LES approach. En *Proceedings of first AFOSR international conference on DNS/LES*. Greyden Press (1997)
- STEINKE JR, R., DAI PRÁ, M., LOPARDO, R.A., MARQUES, M.G., DE MELO, J.F., PRIEBE, P.S., Y TEIXEIRA, E.D. Low Froude Number Stilling Basins. Hydrodynamic Characterization. *Journal of Hydraulic Engineering* **147**(4) (2021)

- STITOU, A. Y RIETHMULLER, M. Extension of PIV to super resolution using PTV. *Measurement Science and Technology* **12**(9):1398 (2001)
- STORTI, M.A., NIGRO, N.M., PAZ, R.R., Y DALCÍN, L.D. Dynamic boundary conditions in computational fluid dynamics. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* **197**(13-16):1219–1232 (2008)
- SUNG, J., CHOI, H., Y YOO, J. Finite element simulation of thin liquid film flow and heat transfer including a hydraulic jump. *International journal for numerical methods in engineering* **46**(1):83–101 (1999)
- SVENDSEN, I.A., VEERAMONY, J., BAKUNIN, J., Y KIRBY, J. The flow in weak turbulent hydraulic jumps. *Journal of Fluid Mechanics* **418**:25–57 (2000)
- TAYLOR, Z.J., GURKA, R., KOPP, G.A., Y LIBERZON, A. Long-duration timeresolved PIV to study unsteady aerodynamics. *IEEE Transactions on Instrumentation* and Measurement **59**(12):3262–3269 (2010)
- TEIXEIRA, E., TRIERWEILER, E., ENDRES, L., Y MARQUES, M. Determinação do coeficiente estatístico de distribuição de probabilidade para valores extremos de pressões no ressalto hidráulico. En XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (2003)
- TEIXEIRA, E.D. Previsão dos valores de pressão junto ao fundo em bacias de dissipação por ressalto hidráulico. Proyecto Fin de Carrera, IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil (2003)
- TEIXEIRA, E.D. Efeito de escala na previsão dos valores extremos de pressão junto ao fundo em bacias de dissipação por ressalto hidráulico. Tesis Doctoral, IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil (2008)
- TEMMERMAN, L., LESCHZINER, M., Y HANJALIC, K. A-priori studies of a nearwall RANS model within a hybrid LES/RANS scheme. En *Engineering Turbulence Modelling and Experiments 5*, págs. 317–326. Elsevier (2002)
- THIELICKE, W. Y STAMHUIS, E. PIVlab-towards user-friendly, affordable and accurate digital particle image velocimetry in MATLAB. *Journal of Open Research Software* **2**(1) (2014)
- TIEN, W., DABIRI, D., LIEU, V., Y SCHWARTZ, D. Volumetric Velocity Measurements of an Acoustic Streaming Microeddy Array using Color-Coded Three-Dimensional Micro Particle Tracking Velocimetry. En 10th International Symposium on Particle Image Velocimetry, Delft, The Netherlands (2013)

- TRIERWEILER NETO, E.F. Avaliação do campo de pressões em ressalto hidráulico formado a jusante de uma comporta com diferentes graus de submergência. Proyecto Fin de Carrera, IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil (2006)
- TUCKER, P.G. Y DAVIDSON, L. Zonal k-l based large eddy simulations. *Computers & Fluids* **33**(2):267–287 (2004)
- USBR. Research studies on stilling basins, energy dissipators and associated appurtenances. *Hydraulic Laboratory Report (USBR)*, no. HYD **399**:393–438 (1955)
- VOULGARIS, G. Y TROWBRIDGE, J.H. Evaluation of the acoustic Doppler velocimeter (ADV) for turbulence measurements. *Journal of atmospheric and oceanic technology* **15**(1):272–289 (1998)
- WAHL, T.L. Discussion of «Despiking acoustic doppler velocimeter data» by Derek G. Goring and Vladimir I. Nikora. *Journal of Hydraulic Engineering* **129**(6):484–487 (2003)
- WANG, H., MURZYN, F., Y CHANSON, H. Interaction between free-surface, two-phase flow and total pressure in hydraulic jump. *Experimental Thermal and Fluid Science* **64**:30–41 (2015)
- WILCOX, D.C. Reassessment of the scale-determining equation for advanced turbulence models. *AIAA Journal* **26**(11):1299–1310 (1988)
- WILCOX, D.C. Formulation of the ð- ð Turbulence Model Revisited. *AIAA Journal* **46**(11) (2008)
- WILCOX, D. Turbulence Modeling for CFD Third Edition,'. DCW industries (2006)
- WILLERT, C.E. Y GHARIB, M. Digital particle image velocimetry. *Experiments in fluids* **10**(4):181–193 (1991)
- Wu, S. Y Rajaratnam, N. Effect of baffles on submerged flows. *Journal of Hydraulic Engineering* **121**(9):644–652 (1995a)
- Wu, S. Y Rajaratnam, N. Free jumps, submerged jumps and wall jets. *Journal of Hydraulic Research* **33**(2):197–212 (1995b)
- Wu, S. Y Rajaratnam, N. Transition from hydraulic jump to open channel flow. *Journal of Hydraulic Engineering* **122**(9):526–528 (1996)
- YAKHOT, V. Y ORSZAG, S.A. Renormalization group analysis of turbulence. I. Basic theory. *Journal of scientific computing* **1**(1):3–51 (1986)

- YAKHOT, V. Y SMITH, L.M. The renormalization group, the É-expansion and derivation of turbulence models. *Journal of scientific computing* **7**(1):35–61 (1992)
- ZARE, H. Y BADDOUR, R. Three-dimensional study of spatial submerged hydraulic jump. *Canadian Journal of Civil Engineering* **34**(9):1140–1148 (2007)
- ZOBEYER, A.H., JAHAN, N., ISLAM, Z., SINGH, G., Y RAJARATNAM, N. Turbulence characteristics of the transition region from hydraulic jump to open channel flow. *Journal of hydraulic research* **48**(3):395–399 (2010)

Parte V APÉNDICES

Apéndice A

Artículo I: Experimental characterization of three-dimensional flow vortical structures in submerged hydraulic jumps

DE DIOS, M., BOMBARDELLI, F.A., GARCÍA, C.M., LISCIA, S.O., LOPARDO, R.A., Y PARRAVICINI, J.A. Journal of Hydro-environment Research 15:1–12 (2017).

FLSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Hydro-environment Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/JHER



Research papers

Experimental characterization of three-dimensional flow vortical structures in submerged hydraulic jumps



Mariano de Dios ^a, Fabián A. Bombardelli ^{b,*}, Carlos M. García ^c, Sergio O. Liscia ^a, Raúl A. Lopardo ^d, Juan A. Parravicini ^a

- ^a Hydraulics Department, National University of La Plata, 200 1st Street, La Plata, 1900, Buenos Aires, Argentina
- b Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, 2001 Ghausi Hall, One Shields Ave., Davis, CA 95616, USA
- c Hydraulics Laboratory, National University of Córdoba, Av. Fillov s/n Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina
- d Hydraulics Department, National University of La Plata, 200 1st Street, La Plata, 1900, and President of the National Institute of Water, Buenos Aires, Argentina

ARTICLE INFO

Article history: Received 23 November 2015 Accepted 13 September 2016 Available online 1 December 2016

Keywords:
Submerged hydraulic jump
Turbulent flow
Wall jet
Open-channel flow
Experimental data
Acoustic doppler velocimeter
Particle tracking velocimetry

ABSTRACT

The characteristics of three-dimensional vortical flow structures in submerged hydraulic jumps (generated downstream of a sluice gate) are analyzed in this paper. Results of a careful experimental investigation of the mean flow as well as turbulence statistics obtained with the use of Acoustic Doppler Velocimetry (ADV) and Particle Tracking Velocimetry (PTV) are presented and discussed. Experiments encompass incident Froude numbers (Fr_1) of 3, 4 and 5, and submergence factors (S) ranging from 0.18 to 1.04. First, distributions in three vertical planes of values of the stream-wise velocity component and turbulent kinetic energy (TKE) are shown. With this information, the influence of Fr_1 and S on turbulence statistics is assessed. For the first time to the best of our knowledge, an approximately self-similar behavior of the profiles of TKE in the fully-developed region of the submerged jump is reported herein. A "climb effect" in the TKE is identified, very much in agreement with what occurs with the velocities. Then, the analysis focuses on the zone located near the gate, aiming at explaining the physical mechanisms which are responsible for the vorticity of vertical axis in that area. A relationship between the length scale of the roller of horizontal axis (L_{rsi}) and that of the vortices of vertical axis (L_{v}) is introduced, revealing that the dynamics of the two vortices are strongly linked. Compelling evidence sustaining that vorticity of vertical axis appears as a consequence of boundary-layer separation associated with the lateral walls is also provided. Finally, the anisotropy of turbulence in the outskirts of the vertical vortices is addressed, finding that such anisotropy is a consequence rather a cause of the presence of the vortices.

© 2016 International Association for Hydro-environment Engineering and Research, Asia Pacific Division.

Published by Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

A submerged hydraulic jump occurs when the tailwater depth in an open-channel flow is larger than the sequent depth of the pre-existing free jump; in this case, the jump moves upstream, air entrainment reduces, and turbulence intensities are smaller than for free-jump counterparts (Hager, 1992; Rajaratnam, 1965, 1967). Whereas submerged hydraulic jumps present vorticity of both vertical and horizontal axis (cf. Fig. 1), free jumps have mainly one roller of horizontal axis. From Fig. 1, it is possible to distinguish three regions in a submerged jump: the developing, the fully-

E-mail addresses: dediosmariano@gmail.com (M. de Dios), fabianbombardelli2@gmail.com (F.A. Bombardelli), cgarcia2mjc@gmail.com (C.M. García), soliscia@ing.unlp.edu.ar (S.O. Liscia), rlopardo@ina.gov.ar (R.A. Lopardo), juanparravicini@gmail.com (J.A. Parravicini).

developed and the recovering regions (Long et al., 1990). Whilst the developing zone occupies as far as the potential-core zone, the fully-developed area extends throughout the length of the roller of horizontal axis (L_{rsj}), beyond which the recovering region begins. In the developing and the fully-developed regions, two vortices of vertical axis with length scale L_v appear as a salient feature of submerged hydraulic jumps (Fig. 1).

In recent decades, advanced measurement techniques have enabled a more complete characterization of the internal features of the turbulent flow in hydraulic jumps. Experimental studies on free and submerged jumps have been carried out with the help of different techniques: a) hot-wires (Rouse et al., 1958; Resch and Leutheusser, 1972); b) Laser Doppler Anemometry (LDA) (Long et al., 1990; Svendsen et al., 2000); c) Particle Image Velocimetry (PIV) (Hornung et al., 1995; Lennon and Hill, 2006; Misra et al., 2008; Lin et al., 2012); and d) Acoustic Doppler Velocimetry

 $^{* \ \, \}text{Corresponding author}.$

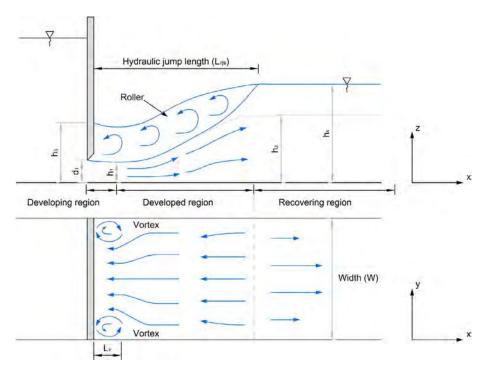


Fig. 1. Schematic of a submerged hydraulic jump downstream of a sluice gate. Upper tile: Side view; lower tile: Plan view. Three different zones are clearly defined, and the vortical structures of horizontal and vertical axes are also indicated.

(ADV) (Liu et al., 2004; Zare and Baddour, 2007; Dey and Sarkar, 2006, 2007a,b, 2008; Castillo, 2009; Dey et al., 2010a,b; Romagnoli et al., 2012). Additionally, different works have contributed to characterize the two-phase flow, and the associated air entrainment in hydraulic jumps (see, for instance, Resch et al., 1974; Murzyn et al., 2005; Chanson and Brattberg, 2000; Chanson and Gualtieri, 2008; Murzyn and Chanson, 2008; Ma et al., 2011; Wang and Chanson, 2015, and references therein, among others). Some experimental investigations developed since 1990 are summarized in Table 1. It is apparent that numerous cases of submerged hydraulic jumps have been analyzed in recent years: a) submerged hydraulic jumps below abrupt expansions (Bremen and Hager, 1990; Ohtsu et al., 1999; Zare and Baddour, 2007); b) submerged hydraulic jumps with blocks (Wu and Rajaratnam, 1995a; Habibzadeh et al., 2011); c) submerged hydraulic jumps on rough beds (Ead and Rajaratnam, 2004; Dey and Sarkar, 2006, 2007a; Dey and Sarkar, 2008; Bhuiyan et al., 2011); and d) submerged hydraulic jumps with sediment interaction (Dey and Sarkar, 2007b; Nasrabadi et al., 2012). However, most papers have left outside of the analysis the vortical structures which appear close to the gate generating the hydraulic jump.

One of the most comprehensive, pioneering contributions to the knowledge of internal flow features in submerged hydraulic jumps was presented by Long et al. (1990). These authors developed a high-quality LDA experimental study including the observation of mean velocities, turbulent shear stresses and turbulence intensities. Their data were not acquired at the flume central vertical plane, because of (unexplained) physical restrictions in the experimental set-up. Those experiments were conducted instead at a distance of y = 0.36W from the side wall (where W is the channel width; and the stream-wise, transverse, and vertical directions are denoted as x, y, and z, respectively; see Fig. 1) as well as at other smaller distances from the side wall. Although Long et al. (1990) presented data on other vertical planes besides the center plane, they did not elaborate profusely on the vorticity of threedimensional (3D) nature located just downstream of the gate in their experiments. Long et al. (1990) devoted a section of their paper to address the "climb effect" in the velocities, by which the point where the time-averaged velocity reaches half of the maximum value grows in height from the centerline towards the wall.

Wu and Rajaratnam (1995b) in turn presented a comparison between classical hydraulic jumps, submerged jumps and plane turbulent wall jets, as a class of similar flows. They defined the submerged jump as a transition from a free jump to a wall jet based on mean velocity distributions; they also discussed the decay of the flow velocity scale and the growth of the flow length scale with the horizontal distance.

Other remarkable contributions are those by Dey and Sarkar (2006, 2007a,b, 2008, 2010a,b). These authors analyzed the mean velocity and turbulence statistics in submerged jets with the help of measurements with an ADV. In 2006, Dey and Sarkar addressed changes in flow features due to a change in bed roughness height in the middle of the submerged jump (in the range of 0.8 to 3 mm). They verified a quasi-two-dimensional (2D) feature of the flow through comparisons among observations of flow velocities and turbulence statistics in the central and two other planes. In order to supplement their experimental work, they developed a 2D theory for the shear stresses, in which they used selfsimilarity of the velocity profiles supported by the laboratory data; they also discussed the boundary-layer thickness growth with the distance from the gate. These authors in addition observed and modeled the scour downstream of an apron. In their subsequent paper, Dey and Sarkar (2007a) used more experiments and the theory developed in 2006 to shed further light into the longitudinal distribution of bed shear stresses and jet decay, under different flow conditions and roughness heights. Dey and Sarkar (2007b) focused on the mean flow and turbulence statistics in the eroded channel downstream of the gate, and presented results of bed shear stresses, and boundary-layer thickness growth. Dey et al. (2010a) extended the analysis for larger roughness heights (4.1 and 5.3 mm), and Dey et al. (2010b) developed similar analyses for cases of suction and injection from the wall. All these papers throughout the years assumed the flow to be essentially quasi-2D.

Table 1Summary of some experimental investigations of free and submerged hydraulic jumps since 1990 with focus on the internal features of those flows.

Authors (year)	Type of hydraulic jump	Flow conditions	Variables recorded	Measurement technique
Long et al. (1990)	Submerged jump	Rectangular flume;	Mean velocity components, turbulent	Laser Doppler
		$Fr_1 = 3.19 - 8.19$; $S = 0.20 - 1.70$	shear stresses and turbulence intensities	Anemometry
Wu and Rajaratnam (1995a)Wu	Free and	Rectangular flume;	Mean velocity	Pitch probe and
and Rajaratnam (1995b)	submerged jump	$Fr_1 = 2.74 - 7.46$; $S = 2.09 - 11.04$	•	Prandtl tube
Hornung et al. (1995)	Free jump	Rectangular flume;	Mean velocity and vorticity	Particle Image
		$Fr_1 = 2 - 6$		Velocimeter
Svendsen et al. (2000)	Free jump	Rectangular flume;	Mean velocity components, turbulent	Laser Doppler
		$Fr_1 = 1.38, 1.46, 1.56$	shear stresses and turbulence intensities	Anemometry
Liu et al. (2004)	Free Jump	Rectangular flume;	Mean velocity components, turbulent	Acoustic Doppler
		$Fr_1 = 2, 2.5, 3.32$	shear stresses and turbulence intensities	Velocimeter
Lennon and Hill (2006)	Free jump	Rectangular flume;	Mean velocity components, turbulent	Particle Image
		$Fr_1 = 1.4 - 3$	shear stresses, turbulence intensities and vorticity	Velocimeter
Dey and Sarkar (2006)	Submerged jump	Rectangular flume with rough bed;	Mean velocity components, turbulent	Acoustic Doppler
	(wall jets)	$Fr_1 = 2.58 - 4.87, S = 0.96 - 1.85$	shear stresses and turbulence intensities	Velocimeter
Zare and Baddour (2007)	Submerged jump	Rectangular flume with an abrupt expansions;	Mean velocity components	Acoustic Doppler Velocimeter
		$Fr_1 = 2 - 3.75, S = 0.7 - 0.9$		
Dey and Sarkar (2007b)	Submerged jump (wall jets)	Rectangular flume with sediment bed and scour downstream; $Fr_1 = 3.15 - 4.87$, $S = 0.99 - 1.72$	Mean velocity components, turbulent shear stresses and turbulence intensities	Acoustic Doppler Velocimeter
Dey and Sarkar (2008)	Submerged jump	Rectangular flume with rough bed;	Mean velocity components, turbulent	Acoustic Doppler
	(wall jets)	$Fr_1 = 2.58 - 4.87, S = 0.96 - 1.85$	shear stresses and turbulence intensities	Velocimeter
Misra et al. (2008)	Free jump	Rectangular flume;	Mean velocity components, turbulent	Particle Image
	J 1	$Fr_1 = 1.19$	shear stresses, vorticity, turbulence	Velocimeter
			intensities and turbulent kinetic energy	
Castillo (2009)	Free jump and	Rectangular flume;	Mean velocity	Acoustic Doppler
	submerged jump	$Fr_1 = 2 - 5, h_4/h_1 = 4 - 10$		Velocimeter
Dey et al. (2010a)	Submerged jump	Rectangular flume with rough bed;	Mean velocity components, turbulent	Acoustic Doppler
	(wall jets)	$Fr_1 = 1.02, S = 6.63 - 6.73$	shear stresses, turbulence intensities and third-order moments of velocity fluctuations	Velocimeter
Dey et al. (2010b)	Submerged jump	Wall jets subjected to injection and	Mean velocity components, turbulent	Acoustic Doppler
DCy Ct al. (2010b)	(wall jets)	suction from the wall;	shear stresses, turbulence intensities and	Velocimeter
	(wan jets)	$Fr_1 = 2.82 - 1.02, S = 3.07 - 7.07$	third-order moments of velocity fluctuations	velocinietei
Lin et al. (2012)	Free jump	Rectangular flume;	Mean velocity components, turbulent	Particle Image
2 2012)	c jump	$Fr_1 = 2.43 - 5.35$	shear stresses and turbulence intensities	Velocimeter
Nasrabadi et al. (2012)	Submerged jump	Rectangular flume with sediment	Mean velocity	Pitot tube
		$Fr_1 = 2 - 5, h_3/h_1 = 2.6 - 4.5$		
Romagnoli et al. (2012)	Free jump	Rectangular flume; $Fr_1 = 3$	Variance and integral time scale	Acoustic Doppler Velocimeter

Nasrabadi et al. (2012) investigated the effect of suspended sediment concentration on the flow features of the submerged hydraulic jump. They found that the length of the submerged hydraulic jump is smaller than that in clear water flow, and that the maximum flow velocity decreases. Again, the approach of the study was quasi-2D.

Unfortunately, this lack of focus on the 3D vortical structures of submerged hydraulic jumps has been pervasive in most of the investigations on submerged hydraulic jumps detailed in Table 1. The only authors that included some reference to this 3D aspect were Zare and Baddour (2007). They introduced two length scales to describe the vertical and horizontal extents of the roller. However, their research corresponds to a particular case of submerged jump – a jump below an abrupt expansion. In this type of flow, the 3D behavior is highly different than that in the "canonical" submerged jump, and the main mechanism to the formation of the vertical vortices is associated with the expansion itself (see Bombardelli et al., 2000). Similarly, Ohtsu et al. (1999) investigated 3D patterns on submerged hydraulic jumps below abrupt expansions from a macroscopic point of view, which is different than the case we address in this paper.

Based on the above assessment of the literature, it becomes obvious that there are abundant data on the mean flow and turbulence statistics in submerged hydraulic jumps *mainly at the central*

vertical plane; however, the assessment also indicates that there is scarce information on the 3D details of the flow near the gate. It becomes in addition apparent that the available results would provide data only for an incomplete validation of mathematical and numerical models near the gate. In fact, in the last decade several so-called "hybrid" turbulence closure models have been developed, and some of them are being used in hydraulic problems (Rodi et al., 2012). Some of these closures have presented difficulties with the simulation of vorticity of vertical axis downstream of sluice gates; we are currently developing comparisons of the performance of models in similar flows (Paik and Bombardelli, 2016). Definitely, having a more clear knowledge of these vortical structures will facilitate the validation of models. Another aspect which is worth mentioning is that powerful, innovative, relatively-inexpensive experimental techniques have been recently developed and published, which could be used to explore flow features in submerged hydraulic jumps and which, to the best of our knowledge, have not been yet employed for wall jets. We use these techniques in this paper. Finally, rigorous guidelines to use ADVs (and filter their signals) have been developed recently by one of the authors of this paper (García et al., 2005), which have not been used in the works of the last decade.

In our research work, the aim is on one hand at contributing experimentally with a 3D view and understanding of submerged

hydraulic jumps and, on the other, at providing more comprehensive data to facilitate the development of a 3D numerical model of the flow (ongoing but left for a second paper). This research scope is embedded in a larger program aimed at modeling two-phase flows in hydraulic jumps and other flows (see González and Bombardelli, 2005). In this particular paper, The objective is to answer the following scientific questions with the experimental portion of the research associated with submerged jumps:

- a) How does the vorticity of vertical axis close to the sluice gate interact with the vorticity of horizontal axis? Is there any relation between the size of vortices of vertical and horizontal axis?
- b) Which physical mechanisms are responsible for the formation of the vortices with vertical axis downstream of the gate, in a submerged hydraulic jump?
- c) Does turbulence anisotropy contribute to the size and shape of vortices of vertical axis?

New sets of experiments were thus performed including the observation of mean velocities, turbulent shear stresses, and turbulent kinetic energy (TKE) in three vertical planes; the influence of the incident Froude number (Fr_1) and submergence factor (S) on the results was assessed. Turbulent signals were post-processed with tools developed to filter their noise.

2. Materials and methods

In this section the flume used and the procedures followed to ensure quality observations of the interesting variables are discussed.

2.1. Flume and associated devices

Measurements were performed in a rectangular, 12-m long flume, which has a width of 0.6 m and a height of 0.6 m as well, located in the Hydraulics Department at the National University of La Plata, Argentina. The side walls and flume floor are made in plexiglass. Water was supplied by a pump with 0.2 m³/s maximum flow rate. Flow rate was controlled by an upstream valve located in the supply pipe, and a vertical gate was used to maintain the water depth downstream. The sluice gate which was used to generate the submerged hydraulic jump is 3-cm thick, but has a sharp lip in order to obtain a perfect contraction flow in an otherwise free hydraulic jump. The flow discharge was measured by a 90° V-notch, sharp-crested weir.

The experimental tests encompassed incident Froude numbers (Fr_1) of 3, 4 and 5, and submergence factors (S) ranging from 0.18 to 1.04, indicated as T_1 to T_9 in Table 2; standard definitions

were used for the Froude and Reynolds numbers ($Fr_1 = \frac{U_1}{\sqrt{gh_1}}$ and $Re_1 = \frac{\rho U_1 h_1}{\mu}$, respectively, see Fig. 1 and Table 2), while the *S* value is given by the following equation (Rajaratnam, 1965, 1967):

$$S = \frac{h_4 - h_2}{h_2} \tag{1}$$

In (1), h_2 is the subcritical depth of the free hydraulic jump for a given gate opening and flow discharge, and h_4 denotes the actual downstream water depth (see Fig. 1). The gate opening (d_1) was varied so as to obtain different values of Fr_1 , keeping at the same time relatively-high Reynolds numbers at the inlet of the hydraulic jump (say, Re_1 above 50,000). The contracted height (h_1) was calculated as d_1 times 0.61, which corresponds to perfect flow contraction. U_1 listed in Table 2 is the mean velocity at the contraction section.

For all tests, measurements were undertaken at the vertical central plane (y/W=0.5). Measurements at different vertical planes for T_5 y/W=0.5,0.25, and 0.11) were also performed. For T_4 , flow data were obtained in several horizontal planes. In all tests, the length scales L_{rsj} and L_v were determined. Sampling verticals were not equidistant; rather, the stream-wise distances from the gate to the verticals were varied according to the test flow conditions, to ensure a satisfactory representation of the flow characteristics. Regarding observations at each vertical, spacing in the vertical direction was varied according to submergence, ranging from 0.01 m to 0.03 m.

2.2. Sampling equipment and data processing technique

The experimental data were mostly collected using the Vectrino +(Nortek®) Velocimeter based on the acoustic Doppler technique; this is similar to what was done before by several authors (Dev and Sarkar, 2006, 2007a,b; Dey and Sarkar, 2008; Dey et al., 2010a,b). Even though recording frequencies up to 200 Hz are available for the Vectrino+, an optimal recording frequency of 50 Hz was used (see García et al., 2005; Gil Montero et al., 2014) on the basis that the selected size of the measuring probe volume consisted of a cylinder with 7 mm in length and 6 mm in diameter. Measurements were developed for 300 s (5 min) at each point, a time which was significantly larger than the flow time scale $(\approx 1 \text{ s})$, estimated from the autocorrelation function of the stream-wise velocity component at diverse locations (not shown herein). Most of the measurements were performed with a downlooking Vectrino configuration, but a side-looking instrument configuration was also employed to obtain records closer to the free surface (2 cm below) and the side wall. Near the bed region, the lowest point was located at 1.5 cm above the bed, to avoid interference of the Vectino signal with the bottom (Precht et al., 2006). The quality of the observations was checked through the signal-to-

Table 2Experimental conditions tested in this work.

Test	d_1	h_1	U_1	y ₄	Fr ₁	S	Re_1
	[cm]	[cm]	[m/s]	[cm]	[-]	[-]	[-]
T ₁	6.0	3.7	1.79	17.1	3	0.24	65659
T_2	5.0	3.1	2.19	19.0	4	0.20	66684
T ₃	3.7	2.3	2.35	17.5	5	0.18	53046
T_4	3.7	2.3	2.34	23.8	5	0.61	52851
T ₅	3.7	2.3	2.36	30.4	5	1.04	53272
T ₆	6.0	3.7	1.79	22.0	3	0.61	65145
T ₇	6.0	3.7	1.79	28.2	3	1.06	65350
T ₈	5.0	3.1	2.19	25.4	4	0.61	66382
To	5.0	3.1	2.19	32.4	4	1.06	66520

[†] Dimensionless numbers are defined as $Fr_1 = \frac{U_1}{\sqrt{gh_1}}$ and $Re_1 = \frac{\rho U_1 h_1}{\mu}$; h_1 is the "vena contracta" water depth in a free hydraulic jump, d_1 is the gate opening, and $U_1 = \frac{Q/W}{h_1}$; g is the acceleration of gravity.

noise ratio (SNR) output of the Vectrino and the correlation factor. All signals presented SNR values higher than 15 db. Regarding correlation, we followed a minimum value of 50%, as customarily accepted in high-turbulence flows. A zone of relatively smaller val-

ues (of the order of 30-40%) was found in the lower portion of the jet issuing from the gate.

ADVs and Vectrinos usually provide good descriptions of statistical moments of flow velocity signal, as long as sampling condi-

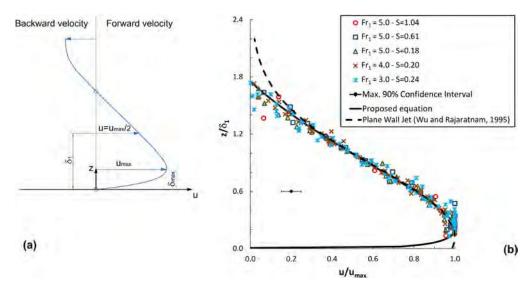


Fig. 2. (a) Typical vertical distribution of mean velocity in a submerged hydraulic jump; (b) Non-dimensional forward velocity profiles of present experiments. Data pertains to Tests 1–5, for the following flow conditions and cross sections: $x/h_1 = 5.5$, 8.2, 10.9, 13.7, 19.1, 21.9, 27.3, for $Fr_1 = 3$, S = 0.24 (T_1); $x/h_1 = 19.7$, 23.0, 26.2, 29.5, 32.8, 36.1, for $Fr_1 = 4$, S = 0.2 (T_2); $x/h_1 = 31.0$, 35.4, 39.9, for $Fr_1 = 5$, S = 0.18 (T_3); $x/h_1 = 31.0$, 35.4, 39.9, 44.3, 48.7, for $Fr_1 = 5$, S = 0.61 (T_4); $x/h_1 = 48.7$, 57.6, for $Fr_1 = 5$, S = 1.04 (T_5).

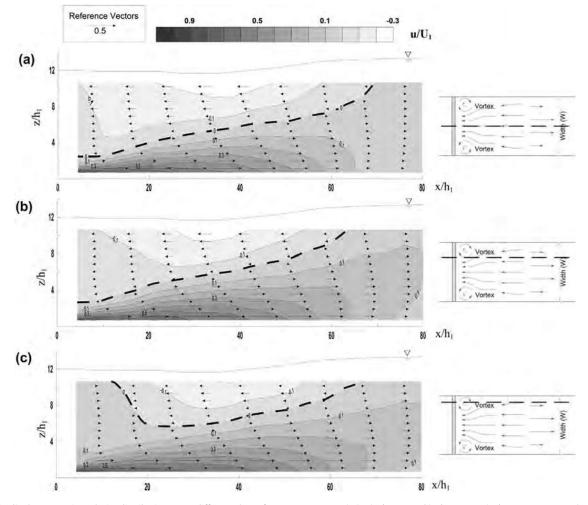


Fig. 3. Longitudinal stream-wise velocity distribution, $\frac{u}{U_1}$, at different planes for $Fr_1 = 5$, S = 1.04 (T_5): a) y/W = 0.50; b) y/W = 0.25; c) y/W = 0.11. Vectors also represent the horizontal component of the velocity.

tions are met (checked), and different sources of sampling errors are taken into account (García, 2005; García et al., 2005; Romagnoli et al., 2012; Gil Montero et al., 2014). Although air entrainment in submerged hydraulic jumps is essentially negligible due to such submergence condition (only a few bubbles were in fact observed in the experiments), the high turbulence causes some spikes to appear in velocity signals. We used the Phase-Space Thresholding Method (PSTM) (Goring and Nikora, 2002) as modified by Wahl (2003), which is incorporated in the software WinADV32-Version 2.030, to remove spikes from the signals. We employed third-order polynomials for replacing the spikes.

Several works have presented findings on how ADV sampling errors impact turbulence statistics (Nikora and Goring, 1998; Voulgaris and Trowbridge, 1998; Snyder and Castro, 1999; García et al., 2005; Chanson et al., 2007; Doroudian et al., 2007; Rodríguez and García, 2008; Romagnoli et al., 2012; Gil Montero et al., 2014). According to Nikora and Goring (1998), Doppler noise is the major source of error in the ADV measurements, and it is very important to correct the effects of Doppler noise on the observation of turbulence statistics. It is possible to determine the level of noise present in the velocity signal and remove it from the energy spectrum by "spectral analysis" (Voulgaris and Trowbridge, 1998). Furthermore, García (2005) and Gil Montero et al. (2014) indicated that ADVs produce a reduction in values of even moments of water velocity by causing a filtering of the signal (averaging) due to the sampling strategy (temporal and spatial filtering). García (2005) and Gil Montero et al. (2014) provided curves that allow for a correction of the effects of the sampling strategy in the calculation of turbulence statistics. The methodology used in this paper to compute the turbulence statistics is based on software developed by García (2005), which performs the aforementioned corrections.

An estimate of the uncertainty (confidence interval) for each statistical parameter of the recorded flow velocity signals (mean and variance) is required in order to evaluate trends and differences for different experimental conditions. General equations presented by Bendat and Piersol (2010) have been used in this work to estimate statistical errors of correlated samples. It is possible to compute the standard error of the mean (Err_{u_i}) and the variance $(Err_{\sigma_u^2})$ of the recorded time signal of each velocity component (u, v, w) (García et al., 2006) as:

$$\textit{Err}_{u_i} = \sqrt{\frac{\sigma_u^2}{N_{\textit{mean eff}}}}; N_{\textit{mean eff}} = \frac{T_{\textit{m}}}{2T}$$

$$Err_{\sigma_u^2} = \sqrt{\frac{2}{N_{var\ eff}}[(\sigma_u^2)^2]}; N_{var\ eff} = \frac{T_m}{T}$$
 (2)

where σ_u^2 is the variance of the velocity component in x; T_m is the total sampling time; and T is the integral time scale of such component. T has been computed by integrating, to the first zero crossing, the autocorrelation function in the time domain (García et al., 2006). In García et al. (2006), Equations (2) had been validated against experimental data and shown to be in good agreement with uncertainty estimated using Moving Block Bootstrap Technique (another technique of uncertainty estimation). The standard error of TKE ($Error_{TKE}$) was estimated by means of propagation of uncertainty (Bendat and Piersol, 2010):

$$\textit{Err}_{\textit{TKE}} = 0.5(\textit{Err}_{\sigma_{\textit{u}}^2} + \textit{Err}_{\sigma_{\textit{u}}^2} + \textit{Err}_{\sigma_{\textit{w}}^2}) \tag{3}$$

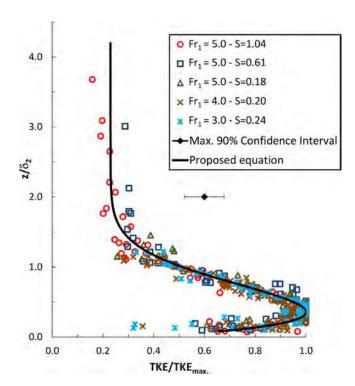


Fig. 5. Non-dimensional *TKE* profiles. A regression to the experimental data is also presented. Data pertains to Tests 1–5, for the following flow conditions and cross sections: $x/h_1 = 10.9$, 13.7, 16.4, 19.1, 21.9, 27.3, for $Fr_1 = 3$, S = 0.24 (T_1): $x/h_1 = 13.1$, 16.4, 19.7, 23.0, 26.2, 29.5, 32.8, 36.1, for $Fr_1 = 4$, S = 0.2 (T_2): $x/h_1 = 17.7$, 22.2, 26.6, 31.0, 35.4, 39.9, for $Fr_1 = 5$, S = 0.18 (T_3): $x/h_1 = 13.3$, 17.7, 22.2, 26.6, 31.0, 35.4, 39.9, 44.3, 48.7, 53.2, for $Fr_1 = 5$, S = 0.61 (T_4): $x/h_1 = 13.3$, 17.7, 22.2, 26.6, 31.0, 35.4, 39.9, 48.7, for $Fr_1 = 5$, S = 1.04 (T_5).

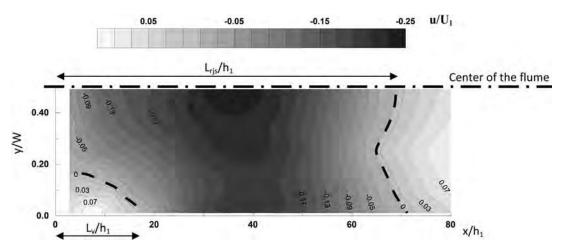


Fig. 4. Distribution of the stream-wise velocity component (u) at a horizontal plane $z/h_1 = 11.1$, for $Fr_1 = 5$, S = 1.04 (T_5).

where $Err_{\sigma_w^2}$, $Err_{\sigma_v^2}$, and $Err_{\sigma_w^2}$ indicate the standard error of the variances of the velocity components in the x, y, and z directions, respectively.

In addition to the ADV measurements, Particle Tracking Velocimetry (PTV) was employed to obtain a denser and more detailed averaged velocity field at the free surface. Particle Tracking Velocimetry (PTV) is a non-intrusive, image-based technique used to determine the velocity associated to individual tracer particles. The method works in a Langrangian frame of reference which is an important difference as opposed to the standard, Eulerian PIV method (Particle Image Velocimetry, PIV; see discussion in Brevis et al., 2011). PIV calculates the associated velocity of group tracer particles at fixed spatial positions, whereas PTV, depending on the experimental conditions, allows for the determination of the velocity associated to individual particle trajectories (Baek and Lee, 1996; Brevis et al., 2011). This last technique can be used even if the tracer density is poor (Stitou and Riethmuller, 2001). The processing of digital images was conducted with the PTVlab software developed by Patalano et al. (2013) at the National University of Córdoba, Argentina. The PTV frame resolution was 1 pixel being equal to 0.096 cm. The registered video had an extension of 414 s and a frame rate of 30 frames per second. After the video is obtained, two main steps take place within the software: 1) the particles need to be detected, and 2) the particles' displacements need to be defined. For the first step, two different options are available in the software; from those, the Gaussian Mask Algorithm (Takehara and Etoh, 1999) has been used in this work. This method is based on a cross correlation between an "ideal" particle (defined as a typical brightness pattern and the size of a particle image) and each visible particle. The "ideal" particle or particle mask is scanned over images and the high correlation coefficient indicates central areas of each visible particle. Regarding the particle-displacement step (step 2), PTVlab presents three different methodologies, and the Cross-correlation Method (Brevis et al., 2011) has been used herein. In this algorithm, the displacement is calculated taking into account the highest similarity of particle distribution patterns.

3. Results and discussion

In this section, the experimental results, initially in terms of time-averaged values and, then, in terms of higher-order moments, are analyzed, both on the basis of flow velocity signals sampled with Vectrino. Later on, the focus turns to the 3D vorticity features in light of the averaged values obtained with the PTV.

3.1. Mean flow

To validate the experimental results, it was first corroborated that the stream-wise, time-averaged (mean) velocities (u) follow the same patterns in the central plane as those reported by Long

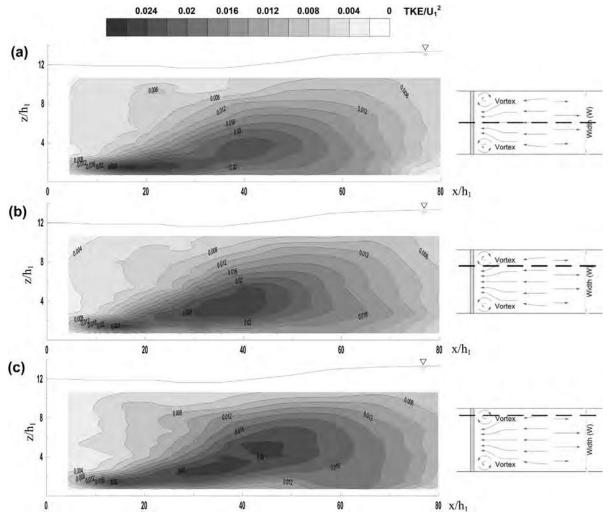


Fig. 6. Longitudinal distribution of the turbulent kinetic energy (TKE/U_1^2) for T_5 at different planes: a) y/W = 0.50; b) y/W = 0.25; c) y/W = 0.11.

et al. (1990), Dey and Sarkar (2007a), Dey and Sarkar, 2007b, Dey and Sarkar, 2008), and Dey et al. (2010a) (not shown herein). For this velocity component, shown in Fig. 2, the self-similar behavior reported elsewhere is evident for several cross sections and several pairs of Fr_1 and S. A new regression is proposed:

$$\frac{u}{u_{max}} = 2\left(\frac{z}{\delta_1}\right)^{1/7} \left[1 - erf(0.55(\frac{z}{\delta_1}))\right] - 0.39 \tag{4}$$

where u_{max} is the maximum velocity in each vertical and δ_1 is defined as the distance from the channel bed to where $u=u_{max}/2$. This equation is valid for the forward (downstream) velocity in the wall jet, except very close to the wall.

In Fig. 3, the values of the stream-wise velocity (u) for configuration T_5 at three vertical planes located at different distances from the center plane (y/W = 0.11, 0.25, 0.5) are depicted. It is possible to observe that the size of the recirculating zone reduces as we approach the side wall, whereas the region occupied by the forward velocity increases close to the wall. As we can see on Fig. 3 (c), the roller of horizontal axis does not reach the sluice gate

due to the interaction with the vortex of vertical axis. This is basically a phenomenon of boundary-layer separation of the returning flow near the free surface which is discussed in other sections of this paper.

In Fig. 4, in turn, the distribution of stream-wise velocity (u/U_1) at the *horizontal* plane z/h_1 = 11.1 is shown. Sampling was developed in points located each 10 cm in the stream-wise direction and the separation of points was variable in y, from 3.5 cm close to the walls, to 5–10 cm near the center of the flume. From the distribution of velocities, the size of the vortices of vertical axis (non-dimensionalized) can be determined. Thus, the length scale L_v/h_1 reaches the value of approximately 17 (L_v/h_1 is defined as the distance from the gate to the point where the velocity u is equal to zero close to the wall), while L_{rjs}/h_1 reaches the approximate value of 69 at the center of the flume. These non-dimensional values were obtained for several tests. In Fig. 4, it becomes apparent that the quasi-2D approximation is satisfactory in most of the domain, but that it breaks close to the gate. Experimental results show that a quasi-2D behavior starts at $\frac{x}{h_1} = 50$.

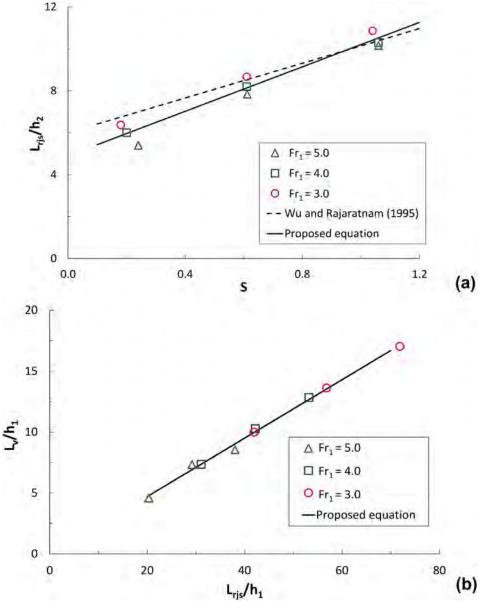


Fig. 7. (a) Variation of the length scale of the horizontal roller (L_{rjs}/h_1) with the submergence (S). (b) Relationship between the length scales of the horizontal roller (L_{rjs}/h_1) and the vertical vortex (L_v/h_1) . Data pertains to all tests.

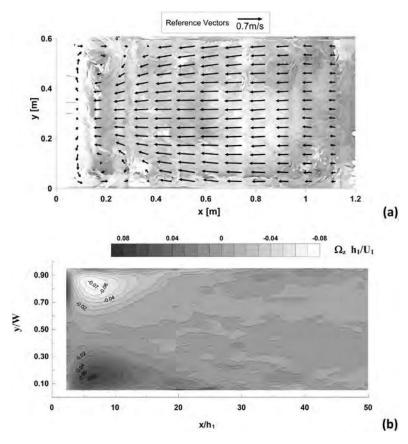


Fig. 8. Flow variables obtained with the PTV technique for $Fr_1 = 5$, S = 0.61 (T_4): (a) Velocity vectors at the free surface (U); (b) distribution of vorticity at the free surface ($\Omega_c h_1/U_1$).

3.2. Turbulence statistics

The turbulent kinetic energy (TKE) was calculated following the standard definition, $TKE = 0.5(\overline{u^2 + v^2 + w^2})$. Analogous to the Reynolds stresses (see Dey et al., 2010a), it was found, for the first time to the best of our knowledge, that the TKE profiles show approximately self-similar behavior if made dimensionless by the maximum value in each section (TKE_{max}), and by the distance where $TKE = \frac{TKE_{max}}{2}$ (δ_2). In Fig. 5, the non-dimensional profiles of TKE obtained in these experiments are presented for diverse cross sections, for different values of Fr_1 and S. A regression to the experimental results is provided for the first time as:

$$\frac{\textit{TKE}}{\textit{TKE}_{\textit{max}}} = 2.90 \left(\frac{\textit{z}}{\delta_2}\right)^{1/1.4} \left[1 - \textit{erf}\left(1.17 \left(\frac{\textit{z}}{\delta_2}\right)\right)\right] + 0.23 \tag{5}$$

which is invalid for $\frac{z}{\delta_2}$ smaller than 0.1.

In Fig. 6, the distributions of TKE/U_1^2 at the very same three planes presented in Fig. 3 (y/W = 0.50, 0.25, and 0.11) are shown for T_5 . It is possible to see that the peak of the TKE increases in elevation as y decreases from the centerline of the channel; however, the overall values of TKE close to the wall are smaller than in other planes. The area of maximum values of TKE/U_1^2 located at the center plane of the flume (y/W = 0.5) has a peak of 0.027, which is achieved at a distance $x/h_1 = 17$, and a level z $/h_1 = 1.33$, approximately. Then, TKE "diffuses" downstream, generating a second relative peak of TKE/U_1^2 with lower intensity (0.023) at $x/h_1 = 40$ and z $/h_1 \cong 3$. Peaks are located at larger elevations closer to the walls, i.e., above $z/h_1 \cong 4$ (see Figs. 6(b) and (c)). These features suggest that there exists a sort of "climb effect" for the TKE, and a

boundary-layer separation effect in *TKE* exerted by the wall (also noticed in the time-averaged velocities).

3.3. Three-dimensional vortical structures

The length of the roller has been largely found to depend on the Fr_1 and S (Wu and Rajaratnam, 1995b). In the literature, L_{rjs} has been made dimensionless by h_2 (where h_2 is, again, the subcritical depth of the free hydraulic jump), so it is indirectly related with Fr_1 . Wu and Rajaratnam (1995b) presented a linear relationship between L_{rjs}/h_2 and S as:

$$\frac{L_{rjs}}{h_2} = 6 + 4.14S \tag{6}$$

In Fig. 7(a), the above regression is compared against values of L_{rjs}/h_2 obtained in the present experiments, as a function of S. For low submergence (S below 0.4, approximately) the measurements deviate from Eq. (6). A better fit to the observations was obtained with the following equation (Fig. 7(a)):

$$\frac{L_{rjs}}{h_2} = 4.9 + 5.3S \tag{7}$$

In the limit when $S \to 0$, Eq. (7) gives closer results to the Smetana expression than Eq. (6). (Smetana Equation is a classical expression used to compute the length of free jump: $L_{rjs} = 6(h_2 - h_1)$; Chow (1959).)

In order to study the features of the vertical vortex, the length of the vertical vortex (L_v/h_1) is presented in Fig. 7(b) against the length of the roller (L_{rjs}/h_1) . It is interesting to note that a direct relationship between both non-dimensional scales exists. It was

found that the experiments can be described mathematically with a straight line with a slope of 0.24, as follows:

$$\frac{L_v}{h_1} = 0.1 + 0.24 \frac{L_{rjs}}{h_1} \tag{8}$$

In Fig. 8, the mean surface velocity field, as obtained by using the PTV technique for the case of $Fr_1 = 5$, S = 0.61 (test T_4), is presented. Time-averaged velocities are displayed in Fig. 8(a), colored by magnitude of velocity, whereas the vorticity component in the vertical direction is presented in 8(b), calculated by definition from the velocity field of 8(a) (the vorticity has been made dimensionless by the ratio of the inlet velocity, U_1 , and the contracted section height, h_1). The two recirculation zones near the gate are revealed by the slow velocity close to the wall and change in direction of the velocity vectors in Fig. 8(a), and by the peaks of vorticity in 8(b). The two flow structures are clearly manifested by the vorticity field at the free surface. As can be seen in Fig. 8(a), boundary-layer separation appears at both walls due to the momentum deficit of the flow close to the solid boundary; this is consistent with the results

shown in Fig. 3. As a consequence, the backflow velocity approaching the gate is larger at the center of the channel (which has no deceleration) than close to the walls, thus *generating a difference* in pressure at the gate and a net flow from the center of the flume towards the wall. This explanation has been confirmed by numerical simulations, as shown in Paik and Bombardelli (2016). This effect is similar to what occurs on a bridge pier, with a downward flow in the latter case instead of a transverse flow herein.

The results shown in Fig. 8 were verified using different particles sizes with the PTV, and Vectrino measurements.

Effects of anisotropy of turbulence stress components (Prandtl's second kind) and tilting (Prandtl's first kind) have been traditionally associated with the production of vorticity and secondary currents (Nezu and Nakagawa, 1993). In that regard, the imbalance of the mean square values of fluctuations of velocity in the two horizontal directions $(\overline{u'^2} - \overline{v'^2})$, obtained from the Vectrino measurements, made dimensionless by the inlet velocity (U_1^2) at the plane $z/h_1 = 7.1$, is presented in Fig. 9. It is possible to see clearly that the maximum value of anisotropy of turbulence is located

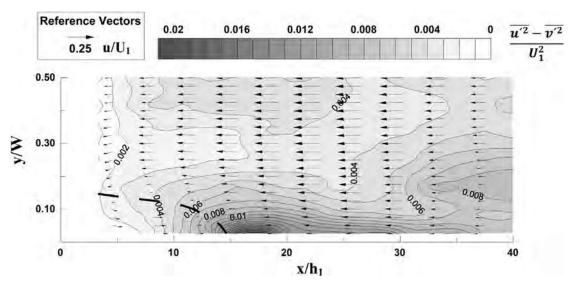


Fig. 9. Distribution of $(\overline{u^2} - \overline{v^2})/U_1^2$ at $z/h_1 = 7.1$ for $Fr_1 = 5$, S = 0.61 (T_4) .

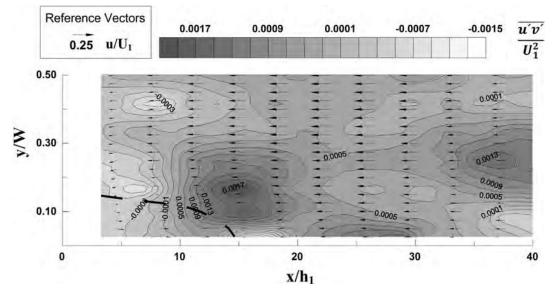


Fig. 10. Distribution of $(\overline{uv})/U_1^2$ at $z/h_1 = 7.1$ for $Fr_1 = 5$, S = 0.61 (T_4) .

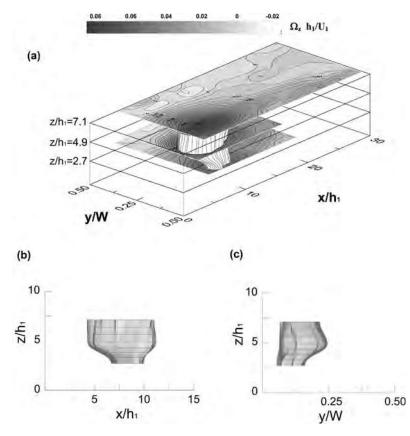


Fig. 11. a) Vorticity distribution ($\Omega_z h_1/U_1$) at different planes and the *iso*-vorticity surface $\Omega_z h_1/U_1 = 0.06$; b) side view of the *iso*-vorticity surface $\Omega_z h_1/U_1 = 0.06$. Data pertains to T_4 .

close to the side wall, just after the end of the vertical vortex. A similar result is found when the shear stress $((\overline{u'v'})/U_1^2)$ is addressed in Fig. 10; the maximum value is located in this area, somewhat away from the wall. Further, the vertical vorticity was calculated for T_4 in three different planes $(z/h_1=7.1, 4.9, \text{ and } 2.7)$ and an *iso*-vorticity surface was generated to visualize the vertical vortex. In Fig. 11, it is possible to observe the results of the non-dimensional vorticity distribution $(\Omega_z \ h_1/U_1)$ and the *iso*-vorticity surface $\Omega_z \ h_1/U_1=0.06$. The representation of the vertical vortex shows that this flow turbulence structure suffers a tilting to the side wall and stretching to the jet flow. However, given the compelling evidence presented in Fig. 8 and 9, it is apparent that these anisotropy and tilting effects are a consequence rather a cause of the vorticity field.

4. Final remarks and conclusions

This short paper provided a new set of experimental data corresponding to submerged hydraulic jumps, aiming at covering essentially 3D features which have been overlooked in previous contributions. First, the new data set shows a good agreement with the previous studies, giving credibility to the observations.

In terms of *TKE*, the vertical profiles show approximate self-similarity if they are plotted as TKE/TKE_{max} against z/δ_2 for different flow conditions. A sort of "climb effect" in the distribution of TKE in different vertical planes was noticed. Further, it was found that the presence of the flume walls exerts a boundary-layer separation effect which is responsible for the vorticity of vertical axis.

Finally, it was found that an interesting relationship holds between the length scales of the two vortices in submerged hydraulic jumps. The size of the vertical vortex (L_v/h_1) displays a

linear relationship with the length of the roller (L_{rjs}/h_1) for different flow conditions. By analyzing the anisotropy in the turbulence components of the stress tensor, we concluded that such anisotropy is a consequence rather as a cause of the vorticity.

Acknowledgments

This study was made possible due to the financial support of the Department of Hydraulics of the National University of La Plata. The first author visited the Department of Civil and Environmental Engineering at the University of California, Davis, from September 2013 till March 2014, with additional partial support from the second author. We thank fruitful discussions with Prof. Joongcheol Paik, from the Department of Civil Engineering of the Gangneung-Wonju National University, South Korea. We acknowledge and thank in addition M.Sc. Antoine Patalano, from the University of Córdoba, Argentina, for his assistance in implementing the software PTVlab, and thus for helping us to obtain useful results.

References

Baek, S.J., Lee, S.J., 1996. A new two-frame particle tracking algorithm using match probability. Exp. Fluids 22, 23–32.

Bendat, J.S., Piersol, A.G., 2010. Random Data: Analysis and Measurement Procedures. Wiley.

Bhuiyan, F., Habibzadeh, A., Rajaratnam, N., Zhu, D.Z., 2011. Reattached turbulent submerged offset jets on rough beds with shallow tailwater. J. Hydraul. Eng. ASCE 137, 1636–1648.

Bombardelli, F.A., García, M.H., Caisley, M.E., 2000. 2D and 3D numerical simulation of abrupt transitions in open-channel flows. Application to the design of canoe chutes. Proceedings 4th. Int. Conf. on Hydroinformatics, IAHR, Iowa City, IA, USA.

Bremen, R., Hager, W.H., 1990. Discussion of 'The submerged hydraulic jump in an abrupt lateral expansion,' by C. D. Smith. J. Hydraul. Res., 387–391 IAHR.

- Brevis, W., Niño, Y., Jirka, G.H., 2011. Integrating cross-correlation and relaxation
- algorithms for particle tracking velocimetry. Exp. Fluids 50, 135–147. Castillo, L.G., 2009. Measurement of velocities and characterization of some parameters inside of free and submerged hydraulic jumps. Proceedings of 33rd IAHR Congress, Vancouver, Canada.
- Chanson, H., Brattberg, T., 2000. Experimental study of the air-water shear flow in a hydraulic jump. Int. J. Multiphase Flow 26, 583–607. Chanson, H., Gualtieri, C., 2008. Similitude and scale effects of air entrainment in
- hydraulic jumps. J. Hydraul. Res. IAHR 46, 35-44.
- Chanson, H., Trevethan, M., Koch, C., 2007. Discussion of turbulence measurements with acoustic doppler velocimeters by C. M. García, M. I. Cantero, Y. Niño and M. H. García. J. Hydraul. Eng. ASCE 133, 1283-1286.
- Chow, V.T., 1959. Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill Book Company, Inc, New York
- Dey, S., Sarkar, A., 2006. Response of velocity and turbulence in submerged wall jets to abrupt changes from smooth to rough beds and its application to scour downstream of an apron. J. Fluid Mech. 556, 387-419.
- Dey, S., Sarkar, A., 2007a. Computation of Reynolds and boundary shear stress in submerged jets on rough boundaries. J. Hydro-Environ. Res. 1, 110-117.
- Dey, S., Sarkar, A., 2007b. Effect of upward seepage on scour and flow downstream
- of an apron due to submerged jets. J. Hydraul. Eng. ASCE 133, 59–69. Dey, S., Sarkar, A., 2008. Characteristics of turbulent flow in submerged jumps on rough beds. J. Eng. Mech. ASCE 134, 49-59.
- Dey, S., Nath, T.K., Bose, S.K., 2010a. Fully rough submerged plane wall-jets. J. Hydro-Environ. Res. 4 (4), 301-316.
- Dey, S., Nath, T.K., Bose, S.K., 2010b. Submerged wall jets subjected to injection and suction from the wall. J. Fluid Mech. 653, 57-97.
- Doroudian, B., Hurther, D., Lemmin, U., 2007. Discussion of turbulence measurements with acoustic Doppler velocimeters by C. M. García, M. I. Cantero, Y. Niño, and M. H. García. J. Hydraul. Eng. ASCE 133, 1286–1289.
- Ead, S.A., Rajaratnam, N., 2004. Plane turbulent wall jets on rough boundaries with limited tailwater. J. Eng. Mech. ASCE 130, 1245-1250.
- García, C.M., 2005. Tudecode a Matlab Program to Compute Turbulence Parameters. University of Illinois, Urbana-Champaign.
- García, C.M., Cantero, M.I., Niño, Y., García, M.H., 2005. Turbulence measurements with acoustic Doppler velocimeters. J. Hydraul. Eng., ASCE 131, 1062–1073.
- García, C.M., Jackson, P.R., García, M.H., 2006. Confidence intervals in the determination of turbulence parameters. Exp. Fluids 40, 514-522.
- Gil Montero, V.G., Romagnoli, M., Garcia, C.M., Cantero, M.I., Scacchi, G., 2014. Optimization of ADV sampling strategies using DNS of turbulent flow. J. Hydraul. Res., IAHR. 52 (6), 862–869.
- González, A., Bombardelli, F.A., 2005. Two-phase-flow theoretical and numerical models for hydraulic jumps, including air entrainment. Proceedings of 31st IAHR Congress.
- Goring, D.G., Nikora, V.I., 2002. Despiking acoustic Doppler velocimeter data. J.
- Hydraul. Eng. ASCE 128, 117–126. Habibzadeh, A., Wu, S., Ade, F., Rajaratnam, N., Loewen, M.R., 2011. Exploratory study of submerged hydraulic jumps with blocks. J. Hydraul. Eng. ASCE 137,
- Hager, W.H., 1992. Energy Dissipators and Hydraulic Jump. Springer Science & Business Media.
- Hornung, H.G., Willert, C., Turner, S., 1995. The flow field downstream of a hydraulic jump. J. Fluid Mech. 287, 299–316.
- Lennon, J.M., Hill, D., 2006. Particle image velocity measurements of undular and hydraulic jumps. J. Hydraul. Eng. ASCE 132, 1283–1294.
- Lin, C., Hsieh, S.C., Lin, I.J., Chang, K.A., Raikar, R., 2012. Laboratory measurements of a steady breaker using PIV and BIV. Coastal Engineering Proceedings 1, waves-
- Liu, M., Rajaratnam, N., Zhu, D.Z., 2004. Turbulence structure of hydraulic jumps of
- low Froude numbers. J. Hydraul. Eng. ASCE 130, 511–520. Long, D., Steffler, P.M., Rajaratnam, N., 1990. LDA study of flow structure in submerged hydraulic jump. J. Hydraul. Res., IAHR 28, 437-460.

- Ma, J.S., Oberai, A.A., Lahey, R.T., Drew, D.A., 2011. Modeling air entrainment and transport in a hydraulic jump using two-fluid RANS and DES turbulence models. Heat Mass Transfer 47, 911–919.
- Misra, S.K., Kirby, J.T., Brocchini, M., Veron, F., Thomas, M., Kambhamettu, C., 2008. The mean and turbulent flow structure of a weak hydraulic jump. Phys. Fluids 20, 035106.
- Murzyn, F., Chanson, H., 2008. Experimental assessment of scale effects affecting two-phase flow properties in hydraulic jumps. Exp. Fluids 45, 513-521.
- Murzyn, F., Mouaze, D., Chaplin, J.R., 2005. Optical fibre probe measurements of bubbly flow in hydraulic jumps. Int. J. Multiphase Flow 31, 141–154.
 Nasrabadi, M., Omid, M.H., Farhoudi, J., 2012. Submerged hydraulic jump with
- sediment-laden flow. Int. J. Sedim. Res. 27, 100-111.
- Nezu, I., Nakagawa, H., 1993. Turbulence in Open-channel Flows. Balkema, 286 pp. Nikora, V.I., Goring, D.G., 1998. ADV measurements of turbulence: Can we improve their interpretation? J. Hydraul. Eng. ASCE 124, 630–634.
- Ohtsu, I., Yasuda, Y., Ishikawa, M., 1999. Submerged hydraulic jumps below abrupt expansions. J. Hydraul. Eng. ASCE 125, 492–499.
- Paik, J., Bombardelli, F.A., 2016. Scale-adaptive simulation of a confined turbulent wall jet in a flat open channel. In preparation.
- Patalano, A., Brevis, W., García, C.M., 2013. PTV, una herramienta gráfica para el procesamiento digital en Velocimetría por Seguimiento de Partículas. Santa Fé, Argentina, 83-84 (In Spanish.).
- Precht, E., Janssen, F., Huettel, M., 2006. Near-bottom performance of the Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) – a comparative study. Aquat. Ecol. 40, 481–492.
- Rajaratnam, N., 1965. Submerged hydraulic jump. J. Hydraul. Div., ASCE 91, 71–96. Rajaratnam, N., 1967. Hydraulic Jumps. Adv. Hydrosci. 4, 197–280.
- Resch, F.J., Leutheusser, H.J., 1972. Reynolds stress measurements in hydraulic jumps. J. Hydraul. Res., IAHR 10, 409-430.
- Resch, F.J., Leutheusser, H.J., Alemu, S., 1974. Bubbly two-phase flow in hydraulic jump. J. Hydraul. Div., ASCE 100, 137-149.
- Rodi, W., Constantinescu, G., Stoesser, T., 2012. Large-Eddy Simulation in Hydraulics. CRC Press
- Rodríguez, J.F., García, M.H., 2008. Laboratory measurements of 3-D flow patterns and turbulence in straight open channel with rough bed. J. Hydraul. Res., IAHR 46, 454-465.
- Romagnoli, M., García, C.M., Lopardo, R.A., 2012. Signal postprocessing technique and uncertainty analysis of ADV turbulence measurements on free hydraulic jumps. J. Hydraul. Eng. ASCE 138, 353-357.
- Rouse, H., Siao, T.T., Nagaratnam, S., 1958. Turbulence characteristics of the hydraulic jump. J. Hydraul. Div., ASCE 84, 1–30.Snyder, W.H., Castro, I.P., 1999. Acoustic Doppler Velocimeter evaluation in
- stratified towing tank. J. Hydraul. Eng. ASCE 125, 595–603.
- Stitou, A., Riethmuller, M.L., 2001. Extension of PIV to super resolution using PTV. Meas. Sci. Technol. 12, 1398.
- Svendsen, I.A., Veeramony, J., Bakunin, J., Kirby, J.T., 2000. The flow in weak
- turbulent hydraulic jumps. J. Fluid Mech. 418, 25–57.

 Takehara, K., Etoh, T., 1999. A study on particle identification in PTV particle mask correlation method. J. Visual. 1, 313–323.
- Voulgaris, G., Trowbridge, J.H., 1998. Evaluation of the acoustic Doppler velocimeter (ADV) for turbulence measurements. J. Atmos. Ocean. Technol. 15, 272-289.
- Wahl, T.L., 2003. Discussion of Despiking acoustic Doppler velocimeter data by Derek G. Goring and Vladimir I. Nikora. J. Hydraul. Eng. ASCE 129, 484–487. Wang, H., Chanson, H., 2015. Experimental study of turbulent fluctuations in
- hydraulic jumps. J. Hydraul. Eng. ASCE 141, Article Number: 04015010.
- Wu, S., Rajaratnam, N., 1995a. Effect of baffles on submerged flows. J. Hydraul. Eng. ASCE 121, 644-652.
- Wu, S., Rajaratnam, N., 1995b. Free jumps, submerged jumps and wall jets. J. Hydraul. Res., IAHR 33, 197–212.
- Zare, H.K., Baddour, R.E., 2007. Three-dimensional study of spatial submerged hydraulic jump. Can. J. Civ. Eng. 34, 1140–1148.

Apéndice B

Artículo II: Longitud del resalto sumergido: una mirada desde la turbulencia

DE DIOS, M., BOMBARDELLI, F.A., LISCIA, S.O., LOPARDO, R.A., Y PARRAVI-CINI, J.A. En XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Lima, Perú (2016).

IAHR AIIH

XXVII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA LIMA, PERÚ, 28 AL 30 DE SETIEMBRE DE 2016

LONGITUD DEL RESALTO SUMERGIDO: UNA MIRADA DESDE LA TURBULENCIA

Mariano de Dios¹, Fabián A. Bombardelli², Sergio O. Liscia¹, Raúl A. Lopardo³ y Juan A. Parravicini¹

¹Laboratorio de Hidromecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina. ²Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de California, Davis, Estados Unidos. ³Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

dediosmariano@gmail.com; fabombardelli@ucdavis.edu; soliscia@ing.unlp.edu.ar; rlopardo@ina.gov.ar; juanparravicini@gmail.com

RESUMEN:

La longitud del resalto, definida como la longitud del "roller" de eje horizontal (L_{rsj}), involucra variables macroscópicas del escurrimiento medio. Esta definición clásica de la extensión del resalto, si bien ha sido y es la que se emplea habitualmente, no garantiza la inexistencia de fenómenos turbulentos y procesos de erosión local aguas abajo de los disipadores de energía. Motivo por el cual en este trabajo se presenta un análisis crítico de la longitud del resalto sumergido en función de los estadísticos turbulentos, más específicamente de la energía cinética turbulenta (TKE). Se utilizaron mediciones de velocidad obtenidas mediante un velocímetro Vectrino (Nortek) en resalto sumergido bajo diferentes condiciones de escurrimiento (F=3, 4 y 5; S=0.24 a 1.04). Los resultados muestran que a la salida del "roller" todavía existe una energía cinética turbulenta remanente del orden del 40% de la máxima generada en el resalto sumergido. Asimismo los valores de régimen uniforme se alcanzan más allá de 3 veces L_{rsj} (entre 3.3 y 3.7 dependiendo de las condiciones). Adicionalmente se presenta un análisis de la influencia de F y S en la distribución de la TKE en el interior del resalto. Finalmente, se realiza una comparación entre coeficiente de presiones fluctuantes (C'p) y la intensidad de turbulencia (I_t), obteniéndose un coeficiente de proporcionalidad λ = 0,7.

ABSTRACT:

The length of the hydraulic jump, defined as the length of the horizontal axis roller (Lrsj), involves mean flow parameters. This standard definition of the jump extent, although it has been and is commonly used, does not guarantee the absence of turbulent phenomena and local erosion downstream of stilling basins. For this reason, we performed a critical analysis of the submerged jump length based on turbulent statistical, more specifically of the turbulent kinetic energy (TKE). We employed velocity measurements obtained by a Vectrino⁺ (Nortek®) on submerged hydraulic jump under different conditions (F=3, 4 y 5; S=0.24 a 1.04). The results show that the turbulent kinetic energy remaining at the end of the roller is about 40% of the maximum value generated in the jump. Furthermore uniform values are reached beyond 3 L_{rsj} (between 3.3 and 3.7 depending on conditions). In addition, we analyze the influence of F and S on TKE distribution within the jump. Finally, a comparison between fluctuating pressure coefficient (C'p) and the turbulence intensity (I_t) was performed and we obtained a proportionality coefficient $\lambda = 0.7$.

PALABRAS CLAVES: resalto hidráulico, ADV, macroturbulencia, sumergencia, energía cinética turbulenta, intensidad turbulenta.

INTRODUCCION

Dentro de los procesos de alta turbulencia en capas de mezcla sin duda el resalto hidráulico es uno de los que ha sido más ampliamente estudiados debido a su extenso uso como disipador de energía en estructuras hidráulicas. En las obras hidráulicas el resalto en general se encuentra contenido en cuencos amortiguadores quedando el lecho del río protegido por una platea de hormigón frente acción de la corriente. Sin embargo, la presencia de esta protección no garantiza la ausencia de erosiones locales importantes e incluso colapsos estructurales aguas debajo de las mismas. Esta situación ha hecho que numerosos investigadores hayan estudiado el tema de la erosión local aguas abajo de disipadores a resalto (Ahmad, 1953; Zimmermann y Maniak, 1967; Dey y Sarkar, 2007).

Resulta evidente que los procesos de erosión aguas abajo de resaltos están asociados a la energía turbulenta residual a la salida de los disipadores. En este sentido, esta investigación trata de abordar el tema de la longitud del resalto sumergido desde una mirada crítica, incorporando al análisis algunas variables que tengan en cuenta la turbulencia.

Uno de los objetivos principales de este trabajo es estudiar la influencia de la sumergencia (S) y el número de Froude de ingreso al resalto (F) sobre la energía cinética turbulenta (TKE), y en particular aguas abajo de lo que se considera longitud de resalto sumergido clásica (L_{rsj}) . Asimismo se presenta una comparación entre el coeficiente de presiones fluctuantes (C'p) y la intensidad de turbulencia (I_t) en la cercanía del lecho, a efectos de poder corroborar la relación que existe entre estas dos variables de interés en el diseño de cuencos amortiguadores (Lopardo y de Dios, 2012).

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

En esta sección se describe el canal de ensayos utilizado, y se discuten los procedimientos seguidos para asegurar la calidad de las mediciones de las variables de interés.

Canal de ensayos y dispositivos asociados

Las mediciones se desarrollaron en un canal rectangular, de 12 m de longitud, el cual tiene un ancho (B) de 0.6 m y 0.6 m de alto, ubicado en el Departamento de Hidráulica de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Las paredes laterales y el fondo del canal están conformados en acrílico. El suministro de agua se realiza mediante una bomba, cuyo caudal máximo es de 0.2 m³/s. El flujo de agua es controlado por una válvula colocada en la cañería de alimentación de caudal, aguas arriba del canal de ensayos, y una compuerta vertical es utilizada para mantener el tirante líquido aguas abajo del canal. La compuerta plana utilizada para generar el resalto sumergido es de 3 cm de espesor, pero tiene el labio inferior afilado de manera de obtener una contracción perfecta del flujo en un resalto hidráulico libre. La medición de caudal se efectuó mediante un vertedero en "V" a 90° de cresta afilada.

Los ensayos experimentales abarcaron valores de F de 3, 4 y 5 y S en el rango de 0.18 a 1.04, indicados como T_I a T_5 en la Tabla 1; se empleó la definición clásica de número de Froude y número de Reynolds. En la mayoría de los ensayos, las mediciones fueron realizadas solamente en el plano vertical central del canal (y/B = 0.5, donde la dirección en el sentido del escurrimiento, la transversal y la vertical se denotan con las letras x, y, z con velocidades u, v, w respectivamente). Las secciones verticales donde se hizo el muestreo no fueron equidistantes; por el contrario, la distancia en la dirección del flujo desde la compuerta a cada vertical fue variando en cada condición de ensayo, de modo de obtener una satisfactoria representación de las características del flujo. En todos los ensayos se determinó las longitudes características L_{rsj} .

Tabla 1.- Condiciones experimentales

	1.		JIICS CA	T			
Test	d ₁ ⁽¹⁾ [cm]	h ₁ ⁽²⁾ [cm]	$U_1^{(3)}$ [m/s]	h ₄ ⁽⁴⁾ [cm]	F (5)	$\mathbf{S}^{(6)}$	Re ₁ ⁽⁷⁾
T_1	3.7	2.3	2.35	17.5	5.00	0.18	53046
T_2	3.7	2.3	2.34	23.8	4.98	0.61	52851
T ₃	3.7	2.3	2.36	30.4	5.02	1.04	53272
T ₄	5.0	3.1	2.19	19.0	4.00	0.20	66684
T ₅	6.0	3.7	1.79	17.1	3.00	0.24	65659

- (1) d₁: apertura de la compuerta
- $^{ ext{(2)}}\, ext{h}_{ ext{1}}$: sección contraída, $h_1=0.611$. d_1

- (a) h_1 : sección contraída, $n_1 = 0.611 \cdot a_1$ (b) u_1 : velocidad de ingreso al resalto
 (c) u_1 : velocidad de ingreso al resalto
 (d) u_2 : tirante aguas abajo del resalto
 (e) u_3 : F: Froude de ingreso, u_4 : u_4 : u_5 : F: Froude de ingreso, u_4 : u_5 : u_5 : u_6 : u_7 : u_7

La apertura de la compuerta (d_1) se varió de madera de obtener diferentes valores de Fmanteniendo al mismo tiempo números de Reynolds relativamente elevados a la entrada del resalto hidráulico (R_{el} mayores a 50.000). La sección contraída (h_l) fue calculada como d_l multiplicado por 0.61, que corresponde con una contracción perfecta del flujo. U_I listado en la Tabla 1 es la velocidad media en la sección contraída. El valor S está dado por la siguiente ecuación (Rajaratnam, 1967):

$$S = \frac{h_4 - h_2}{h_2} \tag{1}$$

donde h_2 es el tirante subcrítico del resalto libre para una determinada apertura de compuerta y caudal de descarga, y h_4 denota el tirante actual aguas abajo (Figura 1).

Equipo de muestro y técnica de procesamiento de datos

Los datos experimentales fueron colectados usando un Vectrino⁺ (Nortek®). El velocímetro está basado en la técnica de Doppler acústico, esto es similar a lo usado por varios autores anteriormente (Dey and Sarkar, 2007, 2008; Dey et al., 2010a, 2010b). Aunque la frecuencia de muestreo llega hasta 200 hz en el Vectrino⁺, se utilizó una frecuencia de 50 hz resultando el valor óptimo (ver García et al., 2005; Gil Montero et al., 2014) sobre la base que el volumen de muestreo consiste en un cilindro con 7 mm de longitud y 6 mm de diámetro. Se midió por 300 segundos (5 minutos) en cada punto, un tiempo que es significativamente mayor que la escala de tiempo del flujo (≈ 1 segundo) estimada a partir de la función autocorrelación de la componente de la velocidad en la dirección del flujo en diversas posiciones (no se muestra aquí).

En cuanto a las observaciones en cada vertical, el espaciamiento fue variando de acuerdo a la sumergencia, desde un rango de 0.01 m a 0.03 m. La mayoría de las mediciones se realizaron con la configuración down-looking del Vectrino⁺, aunque también se empleó la configuración side-looking del instrumento para obtener registros cercanos a la superficie libre (2 cm por debajo) y a las paredes laterales.

En las proximidades del fondo, el punto más bajo se localizó a 1.5 cm por sobre la base del canal, de modo de evitar la interferencia de la señal del Vectrino con el piso (Precht et al. 2006). La calidad de las observaciones fue chequeada a través de la relación señal-ruido (SNR) que sale del Vectrino y el factor de correlación. Todas las señales presentaron valores de SNR superiores a 15 db. En cuanto a la correlación, se buscó tener al menos valores de 50%, como habitualmente es aceptado en los flujos de alta turbulencia. Una zona con relativamente baja correlación (del orden de 30 a 40%) fue localizada en la parte inferior del jet que egresa de la compuerta.

ADVs y Vectrinos usualmente proveen una buena descripción de los valores estadísticos turbulentos de las señales de velocidad, siempre que sean verificadas las condiciones de muestreo, y sean tenidas en cuenta las diferentes fuentes de error (García, 2005; García et al., 2005; Romagnoli et al., 2012, Gil Montero et al., 2014).

Aunque la incorporación de aire en el resalto sumergido es prácticamente despreciable debido a la sumergencia (de hecho solo algunas burbujas fueron observadas en los experimentos), la elevada turbulencia causa algunos valores anómalos (spikes) en las señales de velocidad. Se utilizó el método Phase-Space Thresholding Method (PSTM) (Goring and Nikora, 2002) modificado por Wahl (2003) para remover los spikes. Además para computar los estadísticos turbulentos se empleó el software desarrollado por García (2005) el cual tiene en cuenta las correcciones por ruido Doppler y por frecuencia de muestreo.

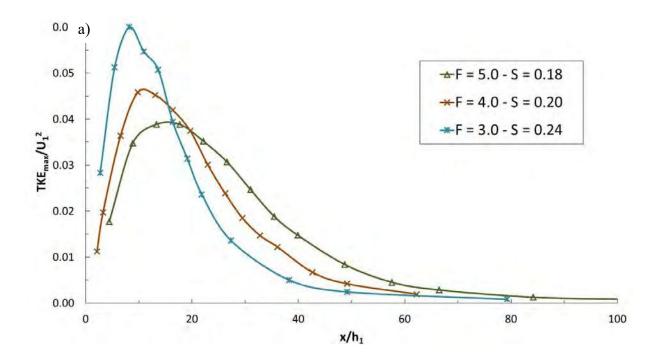
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Influencia del Froude de ingreso (F) y la Sumergencia (S) sobre la distribución de la energía cinética turbulenta (TKE)

La energía cinética turbulenta (*TKE*) es uno de los parámetros más utilizados para describir el grado de turbulencia que presenta un escurrimiento determinado. Siendo una de las características más salientes de los resaltos hidráulicos la disipación de energía y por ende la gran turbulencia que se genera en el interior del mismo, se presenta a continuación un análisis de la distribución de *TKE* en el resalto sumergido.

A partir de la medición de la varianza de las componentes de la velocidad (u'^2, v'^2, w'^2) se calculó la energía cinética turbulenta siguiendo la definición estándar $(TKE = 0.5 (u'^2 + v'^2 + w'^2))$ para cada uno de los puntos de medición. En cada vertical se definió el valor máximo de esta variable $(TKE_{máx})$.

A efectos de poder evaluar la influencia del F y de la S sobre la energía cinética turbulenta, en la Figura 1a se muestra TKE_{max}/U_1^2 en función de x/h_1 a lo largo del plano central, siendo TKE_{max} la máxima energía cinética turbulenta en cada sección vertical y x/h_1 la distancia a la compuerta en la dirección del flujo adimensionalizada. Se puede apreciar que a medida que se disminuye F la distribución de TKE_{max}/U_1^2 se prolonga hacia aguas abajo y existe una reducción del pico. Un comportamiento similar ocurre cuando se incrementa S, el valor máximo de TKE_{max}/U_1^2 disminuye y hay una mayor propagación hacía aguas abajo de la energía cinética turbulenta.



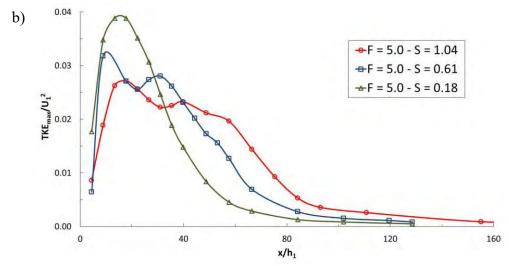


Figura 1.- Distribución longitudinal TKE_{max}/U_1^2 vs. x/h_1 : a) Influencia de F b) Influencia de S

Interpretación de la longitud del resalto sumergido a partir de la Energía Cinética Turbulenta (TKE)

Uno de los parámetros más relevantes del resalto hidráulico lo constituye la longitud en la que se desarrolla este flujo bruscamente variado. En la literatura, la definición de esta longitud característica está basada en variables macroscópicas. De esta manera la longitud del resaltó, ya sea libre o sumergido, resulta igual a la longitud del roller de eje horizontal (ver Figura 2). Es importante destacar que en el caso del resalto sumergido además de este roller, dos vórtices de eje vertical aparecen inmediatamente aguas abajo de la compuerta dando una naturaleza tridimensional al fenómeno (Long et al, 1990; de Dios et al 2016).

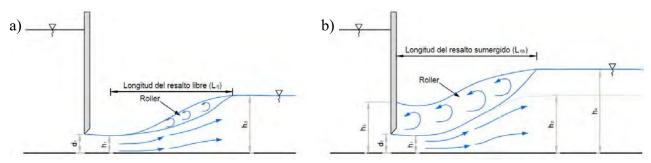


Figura 2.- Longitud del resalto: a) Resalto Libre b) Resalto sumergido

A lo largo del siglo pasado fueron desarrolladas numerosos investigaciones experimentales tratando de definir la longitud del resalto libre (USBR, 1955; Bradley y Peterka, 1957). En general, las expresiones resultantes establecen la longitud del resalto en función del número de Froude de ingreso (F) y una longitud característica (h_1 y/o h_2). Respecto al resalto sumergido, la longitud del "roller" (L_{rjs}) depende de F y S (Wu and Rajaratnam, 1995). En la literatura, L_{rjs} aparece adimensionalizado con la longitud h_2 , la cual está directamente relacionado con F. De esta manera Wu and Rajaratnam (1995) presentaron una relación lineal entre L_{rjs}/h_2 y S:

$$\frac{L_{rjs}}{h_2} = 6 + 4.14 \ S \tag{1}$$

A partir de los nuevos ensayos (ver Tabla 2), se obtuvo una regresión lineal que se ajusta mejor a estos datos experimentales arribando a la siguiente ecuación (de Dios et. al, 2016):

$$\frac{L_{rjs}}{h_2} = 4.9 + 5.3 \ S \tag{2}$$

Estas dos ecuaciones presentadas anteriormente derivan de una visión macroscópica del resalto, que si bien tienen relación con los fenómenos turbulentos que se desarrollan en su interior, no brindan mayor información sobre la distancia a la que se alcanza el régimen uniforme luego de producirse el resalto sumergido. Existen algunas publicaciones recientes donde se trata de establecer la longitud del resalto en función de algunos parámetros turbulentos como las presiones fluctuantes (Wu y Rajaratnam, 1996; Lopardo et al, 2004) y la intensidad turbulenta (Romagnoli, 2010)

A continuación se presenta un análisis que intenta establecer la relación entre la longitud del resalto sumergido convencional (L_{ris}) y la turbulencia originada en este fenómeno.

En primera medida es necesario definir cuál es la energía cinética turbulenta de un régimen uniforme. Nezu y Nakagawa (1993) proponen una distribución de exponencial de la TKE que depende del tirante uniforme (h) y de la velocidad de corte en el fondo del canal (U^{*2}):

$$\frac{TKE}{U^{*2}} = 4.78 \cdot \exp(-\frac{2y}{h})$$
 [3]

Donde,

TKE: Energía cinética turbulenta [m²/s²]

U*: Velocidad de corte en el fondo del canal [m²/s²]

y: Distancia desde el fondo [m]

h: Tirante líquido [m]

De esta manera la energía cinética turbulenta máxima en un escurrimiento uniforme (TKE_{MU}) se produce en el fondo del canal, y resulta igual a $TKE_{MU} = 4.78$. U^{*2} . En la Tabla 2 se resumen los valores de TKE_{MU} correspondientes a los ensayos desarrollados para este trabajo. El régimen uniforme se ha calculado considerando un canal de acrílico (coeficiente de Manning n=0.01), ancho (B) 0.6 m y un tirante igual al tirante de restitución de cada ensayo (h_4).

Tabla 2.- Energía Cinética Turbulenta Máxima en régimen Uniforme (*TKE_{MU}*)

O,			Chezy	y-Manı	ning		B/h ₄ ⁽⁶⁾	~ (7)	_π (8)	U* ⁽⁹⁾	$TKE_{MU}^{(10)}$	TKE _{MU}	TKE _{MAX} (11)	TKE_{MU}
Ensay	h ₄ ⁽¹⁾	$\Omega^{(2)}$	X	R _h (3)	Q ⁽⁴⁾	j ⁽⁵⁾	B/∏ ₄ ↔	α (′)	τ 😭	U" (1)	U^{*2}	IKEMU	INEMAX '	TKE _{MÁX}
Щ	[m]	[m ²]	[m]	[m]	[m ³ /s]	[m]	[-]	[-]	[kg/m ²]	[m/s]	[-]	$[m^2/s^2]$	[m ² /s ²]	[-]
T ₁	0,18	0,11	0,95	0,11	0,032	0,00017	3,43	0,90	0,027	0,0163	4,780	0,0013	0,215	0,0059
T ₂	0,24	0,14	1,08	0,13	0,032	0,00007	2,52	0,75	0,013	0,0112	4,780	0,0006	0,174	0,0035
T ₃	0,30	0,18	1,21	0,15	0,032	0,00004	1,97	0,67	0,008	0,0087	4,780	0,0004	0,151	0,0024
T ₄	0,19	0,11	0,98	0,12	0,040	0,00022	3,16	0,86	0,035	0,0186	4,780	0,0017	0,220	0,0075
T ₅	0,17	0,10	0,94	0,11	0,04	0,00028	3,51	0,90	0,044	0,0207	4,780	0,0020	0,193	0,0106

⁽¹⁾ h₄: Tirante aguas abajo del resalto

Si se grafican los resultados mostrados en las Figura 1 adimensionalizados a partir de las variables $TKE_{M\acute{A}X}$ (máximo valor de TKE de cada ensayo) y L_{rjs} todas los puntos colapsan en una

 $^{^{(2)}}$ Ω (3): Área del canal

⁽³⁾ R_h: Radio hidráulico

⁽⁴⁾ Q: Caudal de cada uno de los ensayos

⁽⁵⁾ j: pendiente del canal= $[n.Q/(R^{2/3}.\Omega)]^2$ (Chezy-Manning)

⁽⁶⁾ B/h₄: Relación ancho del canal tirante

⁽⁷⁾ α: Factor de corrección de la tensión de corte por efecto del ancho del canal.

 $^{^{(8)}}$ τ: Tensión de corte en el fondo= α . γ . h_4 .j, donde γ es el peso específico del agua

⁽⁹⁾ U*: Velocidad de corte= $(\tau/\rho)^{0.5}$

⁽¹⁰⁾ TKE_{MU}/U*²: Energía Cinética Turbulenta Máxima en régimen Uniforme adimensionalizada= 4.78 (Nezu and Nakagawa, 1993)

⁽¹¹⁾ TKE_{MAX}: Energía Cinética Turbulenta Máxima obtenida en cada ensayo

misma curva (Figura 3). Los valores máximos de TKE ($TKE_{m\acute{a}x}/TKE_{M\acute{A}X}=1$) se localizan en la primera mitad del resalto (entre $x/L_{rsj}=0.17~y~0.40$). También es posible observar en la Figura 3a que a la salida del resalto ($x/L_{rsj}=1$) todavía existe un 40% aproximadamente de la energía turbulenta máxima producida. El decaimiento de TKE tiene un punto de inflexión en $x/L_{rsj}=1.5$, en el que la turbulencia llega a un 15% de su valor máximo. En tanto que los valores de turbulencia propios de un régimen uniforme se alcanzan más allá de $x/L_{rsj}=3$ (entre $x/L_{rsj}=3.3~y~3.7$ dependiendo de las condiciones de ensayo). Este resultado es concordante con el análisis presentado por Romagnoli (2010) utilizando el decaimiento de la intensidad de turbulencia para resalto libre.

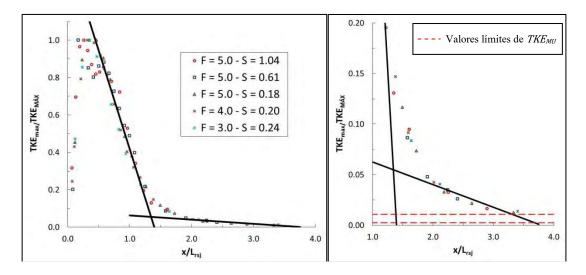


Figura 3.- a) Distribución longitudinal $TKE_{m\acute{a}x}/TKE_{M\acute{A}X}$ vs x/L_{rjs} b) Influencia de F b) Influencia de S

Relación entre la intensidad de turbulencia y las presiones fluctuantes

En el estudio del resalto hidráulico dos aspectos que resultan de sumo interés para el diseño de disipadores de energía: las presiones fluctuantes (utilizadas para el dimensionado de losas de los cuencos por ejemplo) y la intensidad de turbulencia (vinculada con la erosión aguas abajo). Estas dos variables pueden relacionarse a partir de la ecuación de Poisson (Favre et al, 1976):

$$\sqrt{\overline{p'^2}} = \alpha \cdot \rho \cdot \overline{u'^2} \tag{4}$$

Donde,

 $\sqrt{\overline{p'^2}}$: Amplitud media cuadrática de las fluctuaciones de presión [N/m²] α : Velocidad de corte en el fondo del canal [m/s] ρ : Masa específica del líquido [kg/m³] $\overline{u'^2}$: Amplitud media cuadrática de las fluctuaciones de velocidad [m²/s²]

Haciendo uso del análisis dimensional es posible encontrar la siguiente relación entre el coeficiente de presiones fluctuantes $(\sqrt{C'_p})$ y la intensidad de turbulencia (I_t) (Lopardo y de Dios, 2012):

$$I_t = \lambda \sqrt{C'_p} \tag{5}$$

Donde,

 $I_t = \sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$: Intensidad de turbulencia [-] U_1 : Velocidad de ingreso al resalto [m/s]

 $\sqrt{C'_p}$: Coeficiente de presiones fluctuantes [-] λ : Coeficiente de proporcionalidad [-]

A partir de ensayos en resalto libre se propone un coeficiente $\lambda = 0.6$ para usarse en el caso de resalto sumergido en las cercanías del lecho (Lopardo y de Dios, 2012).

Con el objetivo de validar esta relación, se compararon los ensayos de presiones fluctuantes realizados por Sauma Haddad y Lopardo (1992) y las nuevas mediciones de velocidad. En el caso de las velocidades en el fondo, se emplean los registros obtenidos a 1.5 cm por encima del mismo. En la Figura 4 se presentan los resultados de estos dos ensayos, donde el mejor ajuste entre la medición directa e indirecta de la intensidad turbulenta se obtiene con un coeficiente $\lambda = 0.7$, valor próximo al previamente comentado.

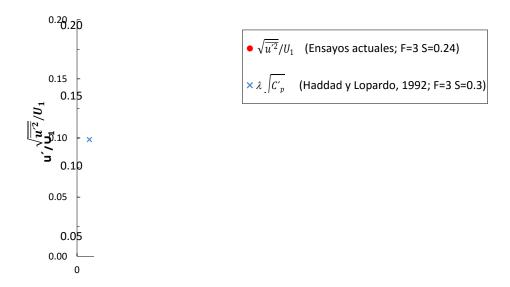


Figura 3.- a) Distribución longitudinal $TKE_{m\acute{a}x}/TKE_{M\acute{A}X}$ vs x/L_{rjs} b) Influencia de F b) Influencia de S

Es interesante destacar que los ensayos, si bien corresponden a valores similares de Froude de ingreso y sumergencia (F=3, $S\sim0.3$), fueron realizados en instalaciones experimentales diferentes (ancho de canal, apertura de compuerta, material del canal, etc).

CONCLUSIONES

Una de las conclusiones más importantes a las que se arribó en este trabajo es que para el caso de resaltos sumergidos, el valor de energía turbulenta (medido en términos de TKE) luego de superarse la longitud del roller (L_{rjs}) es de aproximadamente el 40% del valor máximo. De este modo queda en evidencia que la definición clásica de la longitud del resalto, la cual surge de un análisis de variables macroscópicas, está lejos de asegurar la disipación total de la energía turbulenta producida en el fenómeno. La condición de régimen uniforme se alcanza más allá de 3 veces la longitud del resalto clásica (entre 3.3 y 3.7 veces L_{rjs} dependiendo de las condiciones de ensayo). La curva de decaimiento de la energía cinética turbulenta es asintótica hasta el valor del régimen uniforme encontrando un punto de inflexión en 1.5 L_{rjs} (con una TKE del orden de 15% de la máxima). Otro resultado interesante que se desprende como corolario de esta investigación es que cuanto menor sea el Froude de Ingreso (F), la distribución de TKE_{max}/U_1^2 se propaga hacia aguas abajo, y hay una disminución de los valores máximos. Algo similar ocurre con el incremento de la sumergencia (S).

Adicionalmente se verificó la relación que existe entre las el coeficiente de presiones fluctuantes (C'_p) y la intensidad de turbulencia (I_t) . Para ello se compararon los valores de presiones medidos por Sauma Haddad y Lopardo (1992) con los nuevos ensayos de velocidad, encontrando

un coeficiente de proporcionalidad entre estas dos variables de $\lambda = 0.7$ (similar al valor 0,6 obtenido para resaltos libres por Lopardo y Romagnoli, 2009)

Finalmente, desde el punto de vista de la ingeniería, contar con curvas que muestren el decaimiento de la energía turbulenta, como las mostradas en la Figura 1 o Figura 3, puede resultar de gran utilidad para diseñar protecciones adecuadas a la salida de los disipadores y estimar de este modo la aparición de erosiones localizadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmad, N. (1953) "Mechanism of erosion below hydraulic works", *Proceedings of the IAHR V Congress*, Minneapolis, USA, pág. 133-143.

Bradley, J.N. y Peterka, A.J. (1957). "The hydraulic design of stilling basins". *Journal of the Hydraulics Division*, 83(5), 1401-1406.

Dey, S., Sarkar, A. (2007). "Effect of upward seepage on scour and flow downstream of an apron due to submerged jets". *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE 133, 59-69.

Dey, S., Sarkar, A. (2008). "Characteristics of turbulent flow in submerged jumps on rough beds". *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE 134, 49-59.

Dey, S., Nath, T. K., & Bose, S. K. (2010a). "Fully rough submerged plane wall-jets". *Journal of Hydroenvironment Research*, 4 (4), 301-316.

Dey, S., Nath, T. K., & Bose, S. K. (2010b). "Submerged wall jets subjected to injection and suction from the wall". *Journal of Fluid Mechanics* 653, 57-97.

de Dios, M., Bombardelli, M., García, C.M., Sergio, O. L., Raúl, A. L., Parravicini, J.A. (2016). "Experimental characterization of three-dimensional flow coherent structures in submerged hydraulic jumps". *Journal of Hydro-environment Research*. En revisión.

Favre et al (1976). "La turbulence en mécanique des fluides", Gauthiers-Villars, Paris.

García, C.M. (2005). "Tudecode - a Matlab program to compute turbulence parameters". University of Illinois, Urbana-Champaign.

García, C.M., Cantero, M.I., Niño, Y., García, M.H. (2005). "Turbulence measurements with acoustic Doppler velocimeters". *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE 131, 1062-1073".

Gil Montero, V.G., Romagnoli, M., Garcia, C.M., Cantero, M. Y Scacchi, G. (2014). "Optimization of ADV sampling strategies using DNS of turbulent flow". *Journal of Hydraulic Research*, IAHR. 52 (6) 862-869. ISSN 0022-1686.

Goring, D.G., Nikora, V.I. (2002). "Despiking acoustic Doppler velocimeter data". *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE 128, 117-126.

Long, D., Steffler, P.M., Rajaratnam, N. (1990). "LDA study of flow structure in submerged hydraulic jump". *Journal of Hydraulic Research*, IAHR 28, 437-460.

Lopardo, R. A., Fattor, C. A, Casado, M. J., Lopardo, M. C. (2004) "Una aproximación por turbulencia remanente de la longitud del resalto sumergido". *Actas del XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, San Pablo, Brasil.

Lopardo, R.A. y Romagnoli, M. (2009). "Pressure and velocity fluctuations in stilling basins", *Advances in Water Resources & Hydraulic Engineering*, Vol. VI, Zhang, C. & Tang, H., Springer Verlag, pp. 2093-2098.

Lopardo, R., A. y de Dios, M. (2012) "Intensidad de turbulencia en resaltos sumergidos". Actas del XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, San José, Costa Rica.

Nezu, I., Nakagawa, H. (1993). "Turbulence in Open-channel Flows". Balkema, 286 pp.

Rajaratnam, N. (1967). "Hydraulic Jumps". Advances in Hydroscience 4, 197-280.

Romagnoli, M., García, C.M., Lopardo, R.A. (2012). "Signal postprocessing technique and uncertainty analysis of ADV turbulence measurements on free hydraulic jumps". *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE 138, 353-357.

Wahl, T.L. (2003). "Discussion of Despiking acoustic Doppler velocimeter data by Derek G. Goring and Vladimir I. Nikora". *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE 129, 484-487.

Wu, S., Rajaratnam, N. (1995). "Free jumps, submerged jumps and wall jets". *Journal of Hydraulic Research*, IAHR 33, 197-212.

Sauma Haddad, J.C. y Lopardo, R.,A. (1992). "Resalto sumergido". Report INCYTH LHA-116-02-92, INA. Ezeiza, Argentina

Zimmermann, F. y Maniak, U (1967) "Scours behind stilling basins with end sills of bafflepiers", *Proceedings XII IAHR Congress*, Fort Collins, USA, pág. 117-124.

Romagnoli, M. (2010). "Caracterización del flujo turbulento en resalto hidráulico libre". Tesis de Doctorado: Universidad Nacional de Rosario, Argentina.

Wu, S., y Rajaratnam, N. (1996). "Transition from hydraulic jump to open channel flow". *Journal of Hydraulic Engineering* 122, 526-538.

USBR (1955). "Research studies on stilling basins, energy dissipators, and associated appurtenances", *Hydraulic Laboratory Report N°Hyd-399*, U.S. Bureu of Reclamation.

Apéndice C

Conjunto de datos experimentales obtenidos con el Vectrino⁺

A continuación, se presenta el conjunto de datos experimentales obtenidos con el Vectrino siguiendo la metodología descripta en el capítulo 7. Se listan los valores medios de las componentes de velocidad $(u/U_1, v/U_1, w/U_1)$, el desvío estándar de las fluctuaciones de velocidad $(\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1, \sqrt{\overline{v'^2}}/U_1, \sqrt{\overline{w'^2}}/U_1)$, las tensiones de Reynolds $(\overline{u'v'}/U_1^2, \overline{u'w'}/U_1^2)$ y la energía cinética turbulenta (TKE/U_1^2) de cada uno de los puntos de medidos.

 $Fr_1[-]=$ 2.0 (Froude de Ingreso) S[-]= 1.0 (Sumergencia) $d_1[m]=$ 0.075 (Apertura) W[m]= 0.60 (Ancho del canal) $h_1[m]=$ 0.046 (Sección contraída)

U₁ [m/s]= 1.34 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
2.19	0.50	0.22	9.23E-01	8.02E-02	2.95E-02	1.14E-02	1.67E-02	3.31E-02	1.41E-05	1.20E-06	6.09E-05	7.53E-04
2.19	0.50	0.44	9.30E-01	7.43E-02	-1.12E-03	1.39E-02	1.59E-02	2.80E-02	7.42E-06	-1.48E-05	4.81E-05	6.17E-04
2.19	0.50	0.66	9.36E-01	6.99E-02	-1.46E-03	2.21E-02	1.85E-02	3.76E-02	7.32E-06	-5.18E-06	1.96E-05	1.12E-03
2.19	0.50	0.87	8.78E-01	6.55E-02	2.16E-02	5.19E-02	3.61E-02	1.16E-01	6.77E-05	2.21E-03	-7.08E-04	8.68E-03
2.19	0.50	1.09	4.24E-01	2.37E-02	2.61E-02	1.22E-01	8.30E-02	1.85E-01	-3.65E-04	1.02E-02	3.10E-03	2.81E-02
2.19	0.50	1.31	3.43E-02	-1.88E-02	-4.42E-02	7.20E-02	8.50E-02	9.15E-02	3.74E-04	1.26E-03	9.35E-04	1.15E-02
2.19	0.50	1.53	-2.39E-02	-2.39E-03	-3.27E-02	6.61E-02	7.68E-02	6.63E-02	3.34E-04	1.75E-04	3.02E-04	8.44E-03
2.19	0.50	1.75	-6.63E-02	-3.03E-03	-1.77E-02	7.12E-02	7.46E-02	6.94E-02	1.12E-04	-2.02E-04	4.33E-04	8.51E-03
2.19	0.50	1.97	-6.50E-02	-5.67E-03	-1.65E-02	7.28E-02	7.39E-02	7.02E-02	9.09E-05	-1.59E-04	1.83E-04	8.67E-0
2.19	0.50	2.19	-6.68E-02	-9.96E-03	-5.20E-02	7.05E-02	7.09E-02	6.17E-02	-2.78E-05	7.07E-04	1.15E-04	7.66E-0
2.19	0.50	2.40	-6.16E-02	-1.10E-02	-6.61E-02	7.09E-02	7.50E-02	6.81E-02	2.36E-05	5.45E-04	2.90E-04	8.47E-0
2.19	0.50	2.62	-6.00E-02	-1.99E-02	-7.52E-02	7.17E-02	7.47E-02	6.88E-02	-1.71E-04	-4.42E-04	3.89E-04	8.58E-0
2.19	0.50	2.84	-6.77E-02	-4.34E-03	-5.88E-02	7.54E-02	7.40E-02	6.30E-02	2.97E-04	1.34E-04	1.69E-04	8.44E-0
2.19	0.50	3.06	-6.79E-02	-1.18E-02	-6.45E-02	7.72E-02	6.95E-02	6.86E-02	-7.49E-05	-1.43E-04	4.05E-04	8.67E-0
2.19	0.50	3.28	-7.71E-02	-1.10E-02	-4.63E-02	7.64E-02	6.85E-02	6.01E-02	-5.99E-04	-6.48E-05	2.47E-05	7.90E-0
2.19	0.50	3.50	-8.28E-02	-8.24E-03	-3.81E-02	7.60E-02	7.50E-02	5.83E-02	9.95E-05	-6.65E-05	-1.17E-04	8.17E-0
2.19	0.50	3.72	-1.03E-01	-1.41E-02	-3.76E-02	8.46E-02	7.46E-02	6.30E-02	-5.29E-04	-1.19E-04	8.54E-05	9.16E-0
4.37	0.50	0.22	9.66E-01	8.78E-02	1.69E-02	3.71E-02	2.76E-02	3.45E-02	-6.62E-05	1.01E-05	2.64E-05	1.66E-0
4.37	0.50	0.44	9.62E-01	7.66E-02	1.54E-02	4.52E-02	2.90E-02	4.98E-02	-7.47E-05	-1.15E-06	-6.94E-05	2.69E-0
4.37	0.50	0.66	9.35E-01	6.80E-02	2.66E-02	6.07E-02	4.31E-02	8.80E-02	-1.29E-04	1.11E-03	-4.28E-04	6.65E-0
4.37	0.50	0.87	7.59E-01	5.28E-02	3.46E-02	1.34E-01	8.79E-02	1.68E-01	-6.81E-04	9.69E-03	-4.31E-04	2.70E-0
4.37	0.50	1.09	19980998250955955911	III Taris, perfect supply and the same		\$1967 A. A. C. STANSON ST. S. C.	1.3040.0900.0396.1	Propyrous Trustmented	-9.29E-04	110907070, 3090400007, 361	2.68E-03	4.57E-0
	100000000000000000000000000000000000000		4.76E-01	2.96E-02	1.79E-02	1.79E-01	1.22E-01	2.11E-01		1.63E-02		
4.37	0.50	1.31	2.28E-01	1.26E-02	-1.28E-02	1.57E-01	1.16E-01	1.77E-01	7.00E-05	1.11E-02	3.30E-03	3.53E-0
4.37	0.50	1.53	5.83E-02	-2.11E-03	-4.32E-02	1.21E-01	9.79E-02	1.37E-01	-2.47E-04	5.33E-03	2.51E-03	2.38E-0
4.37	0.50	1.75	-2.03E-02	-3.30E-03	-5.67E-02	9.43E-02	8.63E-02	1.04E-01	-3.17E-04	2.40E-03	8.18E-04	1.58E-0
4.37	0.50	1.97	-5.73E-02	7.27E-04	-5.29E-02	1.11E-01	8.22E-02	1.08E-01	-1.21E-03	-2.01E-03	-9.35E-04	1.73E-0
4.37	0.50	2.19	-9.43E-02	-8.13E-04	-5.32E-02	9.57E-02	8.01E-02	8.32E-02	-9.79E-05	1.59E-03	3.57E-04	1.22E-0
4.37	0.50	2.40	-1.03E-01	-3.21E-03	-4.93E-02	9.50E-02	7.51E-02	7.96E-02	-3.42E-04	1.33E-03	4.72E-04	1.14E-0
4.37	0.50	2.62	-1.16E-01	-9.78E-04	-4.49E-02	9.47E-02	7.48E-02	7.50E-02	-2.89E-04	1.55E-03	5.29E-04	1.09E-0
4.37	0.50	2.84	-1.36E-01	-5.18E-03	-3.91E-02	9.88E-02	7.33E-02	7.55E-02	-2.16E-04	1.07E-03	4.48E-04	1.11E-0
4.37	0.50	3.06	-1,42E-01	-3.72E-03	-2.90E-02	1.03E-01	7.08E-02	7.11E-02	-4.03E-04	1.26E-03	2.36E-04	1,11E-0
4.37	0.50	3.28	-1.43E-01	-6.10E-03	-2.92E-02	9.77E-02	7.06E-02	6.76E-02	-5.67E-04	6.12E-04	1.49E-04	1.02E-0
4.37	0.50	3.50	-1.63E-01	-5.35E-03	-2.18E-02	9.71E-02	7.39E-02	6.71E-02	1.54E-04	2.69E-05	1.33E-04	1.02E-0
4.37	0.50	3.72	-1.74E-01	-4.90E-03	-1.35E-02	8.62E-02	6.60E-02	6.96E-02	1.65E-04	5.40E-05	6.96E-05	8.65E-0
6.56	0.50	0.22	9.58E-01	8.68E-02	1.76E-02	6.52E-02	4.01E-02	4.58E-02	-2.08E-04	5.88E-04	8.58E-07	3.98E-0
6.56	0.50	0.44	9.49E-01	7.70E-02	2.85E-02	6.68E-02	4.69E-02	6.77E-02	-1.06E-04	8.83E-04	-2.34E-04	5.62E-0
6.56	0.50	0.66	8.79E-01	6.48E-02	3.56E-02	1.02E-01	7.38E-02	1.21E-01	-3.45E-04	4.42E-03	-4.67E-04	1.52E-0
6.56	0.50	0.87	7.22E-01	4.41E-02	3.06E-02	1.80E-01	1.16E-01	1.82E-01	-1.70E-03	1.37E-02	1.25E-04	3.96E-0
6.56	0.50	1.09	5.41E-01	3.33E-02	2.18E-02	2.06E-01	1.47E-01	2.09E-01	-1.41E-03	1.88E-02	8.50E-04	5.39E-0
6.56	0.50	1.31	3.63E-01	1.40E-02	4.85E-03	1.96E-01	1.45E-01	2.07E-01	-1.39E-03	1.75E-02	2.59E-03	5.12E-0
6.56	0.50	1.53	2.17E-01	1.04E-02	-1.23E-02	1.81E-01	1.33E-01	1.84E-01	2.76E-04	1.34E-02	2.62E-03	4.29E-0
6.56	0.50	1.75	9.26E-02	9.71E-03	-2.43E-02	1.55E-01	1.25E-01	1.65E-01	-7.31E-05	9.24E-03	1.98E-03	3.59E-0
6.56	0.50	1.97	7.79E-04	2.18E-03	-4.24E-02	1.08E-01	1.11E-01	1.44E-01	-9.01E-04	5.67E-03	9.62E-04	2.90E-0
6.56	0.50	2.19	-7.09E-02	4.32E-03	-4.50E-02	1.30E-01	1.01E-01	1.26E-01	-6.92E-04	4.52E-03	1.74E-03	2.37E-0
6.56	0.50	2.40	-1.12E-01	-1.85E-03	-4.94E-02	1.29E-01	9.60E-02	1.15E-01	-5.39E-04	4.15E-03	9.88E-04	2.11E-0
6.56	0.50	2.62	-1.42E-01	-2.77E-03	-4.28E-02	1.29E-01	8.57E-02	1.06E-01	-5.87E-04	4.01E-03	7.97E-04	1.87E-0
6.56	0.50	2.84	-1.72E-01	-3.08E-03	-4.40E-02	1.17E-01	8.61E-02	1.01E-01	-6.54E-04	2.53E-03	1.01E-03	1.63E-0
6.56	0.50	3.06	-1.87E-01	-1.05E-03	-3.57E-02	1.16E-01	7.72E-02	9.44E-02	-5.39E-04	2.92E-03	5.93E-04	1.46E-0
6.56	0.50	3.28	-2.16E-01	-1.09E-02	-3.36E-02	1.17E-01	7.88E-02	9.22E-02	-4.11E-04	2.18E-03	3.80E-04	1.46E-0
6.56	0.50	3.50	-2.31E-01	-8.47E-03	-2.52E-02	1.08E-01	7.73E-02	8.89E-02	-7.21E-04	8.15E-04	5.25E-04	1.30E-0
4.50	0.50	3.72	-2.42E-01	-3.73E-03	-6.23E-03	9.29E-02	7.02E-02	1.07E-01	-1.26E-04	-4.32E-04	5.36E-04	1.26E-0

Fr₁[-]= 2.0 (Froude de Ingreso)
S [-]= 1.0 (Sumergencia)
d₁ [m]= 0.075 (Apertura)
W [m]= 0.60 (Ancho del canal)
h₁ [m]= 0.046 (Sección contraída)
U₁ [m/s]= 1.34 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
8.74	0.50	0.22	9.14E-01	7.91E-02	3.66E-02	8.91E-02	5.61E-02	6.04E-02	-6.56E-04	1.28E-03	2.54E-04	7.36E-03
8.74	0.50	0.44	9.25E-01	7.40E-02	5.28E-02	8.09E-02	5.95E-02	8.25E-02	-2.84E-04	2.35E-03	-2.59E-04	8.44E-03
8.74	0.50	0.66	8.35E-01	6.17E-02	5.27E-02	1.31E-01	8.94E-02	1.33E-01	-5.15E-04	6.74E-03	-5.33E-04	2.14E-02
8.74	0.50	0.87	7.00E-01	4.98E-02	4.87E-02	1.82E-01	1.25E-01	1.74E-01	-1.74E-03	1.32E-02	3.45E-04	3.94E-02
8.74	0.50	1.09	5.73E-01	3.51E-02	4.51E-02	2.07E-01	1.47E-01	1.97E-01	-1.66E-03	1.78E-02	8.35E-04	5.16E-02
8.74	0.50	1.31	4.22E-01	1.87E-02	2.93E-02	2.18E-01	1.56E-01	2.05E-01	-1.18E-03	1.92E-02	1.49E-03	5.71E-02
8.74	0.50	1.53	3.05E-01	1.67E-02	1.56E-02	2.11E-01	1.57E-01	1.99E-01	-1.06E-03	1.82E-02	2.68E-03	5.40E-02
8.74	0.50	1.75	1.82E-01	1.84E-02	2.93E-03	1.94E-01	1.47E-01	1.88E-01	-8.09E-04	1.52E-02	1.64E-03	4.90E-02
8.74	0.50	1.97	1.07E-01	1.80E-02	2.84E-05	1.70E-01	1.36E-01	1.70E-01	9.77E-05	1.14E-02	1.61E-03	4.07E-02
8.74	0.50	2.19	1.53E-02	1.18E-02	-1.57E-02	1.41E-01	1.33E-01	1.63E-01	-2.81E-03	8.53E-03	2.06E-03	3.78E-02
8.74	0.50	2.40	-7.19E-02	9.25E-03	-2.22E-02	1.49E-01	1.23E-01	1.53E-01	-2.05E-03	7.80E-03	2.05E-03	3.34E-02
8.74	0.50	2.62	-1.20E-01	1.04E-03	-1.86E-02	1.49E-01	1.13E-01	1.39E-01	-7.95E-04	6.90E-03	2.09E-03	2.89E-02
8.74	0.50	2.84	-1.59E-01	-1.56E-03	-2.21E-02	1.46E-01	1.11E-01	1.34E-01	-1.97E-03	6.79E-03	1.55E-03	2.71E-02
8.74	0.50	3.06	-2.04E-01	-4.70E-03	-2.40E-02	1.38E-01	9.84E-02	1.22E-01	-5.51E-04	4.74E-03	1.55E-03	2.24E-02
8.74	0.50	3.28	-2.19E-01	-1.94E-03	-2.03E-02	1.29E-01	8.84E-02	1.16E-01	-1.30E-03	4.51E-03	1.57E-03	1.92E-02
8.74	0.50	3.50	-2.70E-01	-1.08E-02	-2.68E-02	1.20E-01	8.41E-02	1.05E-01	-5.58E-04	2.52E-03	8.40E-04	1.63E-02
8.74	0.50	3.72	-2.87E-01	-7.41E-03	-2.15E-02	1.06E-01	7.72E-02	1.21E-01	-1.39E-04	1.29E-03	5.04E-04	1.59E-02
10.93	0.50	0.22	8.87E-01	7.90E-02	4.46E-02	1.15E-01	7.41E-02	8.83E-02	-1.16E-04	1.58E-03	5.70E-04	1.33E-02
10.93	0.50	0.44	9.00E-01	6.68E-02	6.11E-02	1.04E-01	7.37E-02	1.06E-01	-4.59E-04	3.55E-03	-1.30E-04	1.37E-02
10.93	0.50	0.66	8.10E-01	5.91E-02	6.20E-02	1.50E-01	9.59E-02	1.53E-01	-1.27E-03	8.48E-03	-1.61E-04	2.75E-02
10.93	0.50	0.87	6.86E-01	4.16E-02	6.17E-02	1.97E-01	1.30E-01	1.91E-01	-1.84E-03	1.53E-02	-6.64E-04	4.62E-02
10.93	0.50	1.09	5.81E-01	3.11E-02	5.38E-02	2.07E-01	1.48E-01	2.04E-01	-1.76E-03	1.70E-02	8.40E-04	5.31E-02
10.93	0.50	1.31	4.48E-01	2.19E-02	4.43E-02	2.20E-01	1.60E-01	2.10E-01	-2.55E-03	2.06E-02	4.90E-04	5.89E-02
10.93	0.50	1.53	3.49E-01	1.43E-02	3.66E-02	2.16E-01	1.53E-01	2.05E-01	-8.66E-05	1.89E-02	1.44E-03	5.62E-02
10.93	0.50	1.75	2.36E-01	1.84E-02	2.24E-02	2.15E-01	1.57E-01	2.09E-01	-8.12E-04	1.79E-02	2.30E-03	5.73E-02
10.93	0.50	1.97	1.14E-01	2.16E-02	7.03E-03	2.08E-01	1.59E-01	2.01E-01	-2.06E-03	1.68E-02	2.80E-03	5.46E-02
10.93	0.50	2.19	6.77E-02	1.48E-02	1.12E-02	2.01E-01	1.48E-01	1.92E-01	1.48E-04	1.50E-02	2.11E-03	4.94E-02
10.93	0.50	2.40	-2.06E-02	1.35E-02	4.04E-03	1.89E-01	1.46E-01	1.86E-01	-1.52E-03	1.29E-02	2.49E-03	4.59E-02
10.93	0.50	2.62	-9.13E-02	2.89E-03	-4.57E-03	1.83E-01	1.32E-01	1.64E-01	-1.36E-03	1.04E-02	2.74E-03	3.89E-02
10.93	0.50	2.84	-1.38E-01	-8.57E-04	-8.33E-03	1.71E-01	1.23E-01	1.61E-01	-1.03E-03	9.10E-03	1.73E-03	3.52E-02
10.93	0.50	3.06	-1.98E-01	3.09E-03	-1.61E-02	1.61E-01	1.10E-01	1.51E-01	-8.17E-04	7.48E-03	3.15E-03	3.05E-02
10.93	0.50	3.28	-2.31E-01	-1.02E-03	-1.63E-02	1.40E-01	9.96E-02	1.35E-01	-3.92E-05	5.29E-03	1.05E-03	2.40E-02
10.93	0.50	3.50	-2.57E-01	-8.12E-03	-2.14E-02	9.69E-02	7.45E-02	1.09E-01	-4.51E-04	2.75E-03	1.23E-03	1.34E-02
10.93	0.50	3.72	-2.82E-01	-5.11E-03	-3.06E-02	8.39E-02	6.90E-02	1.28E-01	-3.48E-04	1.63E-03	1.98E-03	1.41E-02
13.11	0.50	0.22	7.76E-01	6.65E-02	2.69E-02	1.45E-01	9.13E-02	1.08E-01	-5.82E-04	7.90E-04	1.30E-03	2.06E-02
13.11	0.50	0.44	7.93E-01	6.03E-02	4.63E-02	1.50E-01	9.20E-02	1.25E-01	-5.63E-04	4.44E-03	1.96E-04	2.33E-02
13.11	0.50	0.66	7.28E-01	5.32E-02	5.00E-02	1.83E-01	1.07E-01	1.54E-01	-1.49E-03	9.43E-03	2.67E-04	3.43E-02
13.11	0.50	0.87	6.27E-01	4.02E-02	5.19E-02	2.13E-01	1.32E-01	1.79E-01	-2.16E-03	1.50E-02	5.02E-04	4.74E-02
13.11	0.50	1.09	5.40E-01	2.54E-02	4.93E-02	2.28E-01	1.49E-01	1.94E-01	-3.32E-03	1.75E-02	9.02E-04	5.60E-02
13.11	0.50	1.31	4.56E-01	2.38E-02	5.84E-02	2.30E-01	1.56E-01	2.00E-01	-3.11E-03	1.85E-02	1.72E-03	5.85E-02
13.11	0.50	1.53	3.67E-01	1.83E-02	4.79E-02	2.23E-01	1.56E-01	1.99E-01	-1.66E-03	2.02E-02	1.29E-03	5.60E-02
13.11	0.50	1.75	2.68E-01	2.61E-02	4.04E-02	2.19E-01	1.58E-01	2.00E-01	-1.15E-04	1.90E-02	2.05E-03	5.71E-02
13.11	0.50	1.97	1.72E-01	1.63E-02	2.52E-02	2.11E-01	1.49E-01	1.99E-01	-4.43E-04	1.85E-02	1.31E-03	5.56E-02
13.11	0.50	2.19	9.04E-02	2.37E-02	2.44E-02	1.93E-01	1.53E-01	1.89E-01	-7.32E-04	1.61E-02	2.31E-03	5.26E-02
13.11	0.50	2.40	4.56E-02	3.80E-03	1.77E-02	1.74E-01	1.47E-01	1.88E-01	-9.51E-04	1.47E-02	2.36E-03	4.91E-02
13.11	0.50	2.62	-4.21E-02	6.41E-03	1.06E-02	1.65E-01	1.34E-01	1.73E-01	-8.43E-04	1.20E-02	1.55E-03	4.28E-02
13.11	0.50	2.84	-8.56E-02	4.71E-03	7.16E-03	1.58E-01	1.26E-01	1.67E-01	-1.26E-04	1.05E-02	2.24E-03	3.74E-02
13.11	0.50	3.06	-1.32E-01	4.67E-04	-1.15E-03	1.54E-01	1.20E-01	1.57E-01	1.31E-04	9.17E-03	2.72E-03	3.32E-02
13.11	0.50	3.28	-1.76E-01	2.14E-03	-7.80E-03	1.41E-01	1.09E-01	1.45E-01	-1.20E-03	6.86E-03	2.21E-03	2.73E-02
13.11	0.50	3,50	-2.12E-01	-9.76E-03	-1.97E-02	1.23E-01	1.03E-01	1.28E-01	5.60E-04	4.18E-03	1.09E-03	2.16E-02
13.11	0.50	3.72	-2.42E-01	-7.36E-03	-1.63E-02	1.17E-01	1.01E-01	1.45E-01	-3.53E-04	4.60E-03	6.46E-04	2.28E-02
13.11	0.50	3.93	-2.70E-01	-1.01E-03	-1.22E-02	8.82E-02	8.03E-02	1.38E-01	9.52E-05	5.01E-04	7.08E-04	1.67E-02

 $Fr_1[-]=$ 2.0 (Froude de Ingreso) S[-]= 1.0 (Sumergencia) $d_1[m]=$ 0.075 (Apertura) W[m]= 0.60 (Ancho del canal) $h_1[m]=$ 0.046 (Sección contraída)

U1 [m/s]=	1.34	(Velocidacidad de ingreso al resalto)
01 [111/3]-	1.34	(Velocidacidad de lligiteso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
15.30	0.50	0.22	6.53E-01	5.86E-02	2.74E-02	1.65E-01	1.10E-01	1.26E-01	-1.17E-03	3.48E-05	1.71E-03	2.76E-02
15.30	0.50	0.44	6.82E-01	5.11E-02	4.14E-02	1.71E-01	1.02E-01	1.35E-01	-1.44E-03	3.76E-03	5.37E-04	2.88E-02
15.30	0.50	0.66	6.50E-01	4.52E-02	5.39E-02	1.90E-01	1.11E-01	1.53E-01	-1.14E-03	7.56E-03	2.74E-04	3.58E-02
15.30	0.50	0.87	5.70E-01	3.40E-02	5.36E-02	2.07E-01	1.24E-01	1.73E-01	-1.80E-03	1.22E-02	4.49E-04	4.40E-02
15.30	0.50	1.09	5.21E-01	3.12E-02	5.78E-02	2.16E-01	1.37E-01	1.85E-01	-1.48E-03	1.44E-02	4.26E-04	4.98E-02
15.30	0.50	1.31	4.37E-01	2.47E-02	5.40E-02	2.25E-01	1.44E-01	1.88E-01	-2.24E-03	1.60E-02	1.01E-03	5.35E-02
15.30	0.50	1.53	3.63E-01	1.80E-02	5.26E-02	2.17E-01	1.45E-01	1,84E-01	-2.26E-03	1.60E-02	1.15E-03	5.03E-02
15.30	0.50	1.75	2.81E-01	1.94E-02	5.19E-02	2.19E-01	1.50E-01	1.88E-01	-5.63E-04	1.77E-02	1.51E-03	5.34E-02
15.30	0.50	1.97	1.94E-01	1.97E-02	3.56E-02	2.11E-01	1.46E-01	1.89E-01	-5.24E-04	1.71E-02	1.64E-03	5.28E-02
15.30	0.50	2.19	1.34E-01	1.68E-02	3.78E-02	1.96E-01	1.43E-01	1.82E-01	-8.27E-04	1.65E-02	6.63E-04	4.91E-02
15.30	0.50	2.40	6.89E-02	1.29E-02	2.37E-02	1.79E-01	1.42E-01	1.80E-01	-9.08E-04	1.37E-02	2.10E-03	4.68E-02
15.30	0.50	2.62	-6.23E-03	1.16E-02	1.48E-02	1.42E-01	1.36E-01	1.70E-01	-2.40E-03	1.12E-02	2.45E-03	4.14E-02
15.30	0.50	2.84	-5.25E-02	5.32E-03	1.05E-02	1.51E-01	1.27E-01	1.64E-01	-1.43E-03	9.86E-03	2.95E-03	3.69E-02
15.30	0.50	3.06	-8.02E-02	1.03E-02	1.55E-02	1.44E-01	1.25E-01	1.59E-01	-1.20E-03	8.52E-03	2.02E-03	3.36E-02
15.30	0.50	3.28	-1.07E-01	3.43E-03	1.27E-02	1.42E-01	1.14E-01	1.51E-01	-3.50E-04	7.90E-03	3.07E-03	3.01E-02
15.30	0.50	3.50	-1.57E-01	-3.39E-03	-1.01E-04	1.28E-01	1.00E-01	1.35E-01	-8.94E-04	5.76E-03	2.29E-03	2.34E-02
15.30	0.50	3.72	-1.79E-01	-9.15E-03	-9.78E-03	1.19E-01	9.98E-02	1.29E-01	-5.39E-04	4.41E-03	1.39E-03	2.11E-02
15.30	0.50	3.93	-1.91E-01	1.71E-03	-1.60E-02	9.78E-02	9.06E-02	1.21E-01	-1.45E-03	2.31E-03	2.30E-03	1.67E-02
17.49	0.50	0.22	5.31E-01	4.84E-02	2.13E-02	1.78E-01	1.13E-01	1.36E-01	-1.69E-03	5.10E-04	1.73E-03	3.15E-02
17.49	0.50	0.44	5.57E-01	4.43E-02	3.34E-02	1.81E-01	1.09E-01	1.46E-01	-1.02E-03	2.95E-03	9.97E-04	3.30E-02
17.49	0.50	0.66	5.21E-01	3.78E-02	4.20E-02	1.98E-01	1.11E-01	1.60E-01	-2.05E-03	6.61E-03	9.88E-04	3.86E-02
17.49	0.50	0.87	4.67E-01	3.08E-02	4.79E-02	2.07E-01	1.13E-01	1.71E-01	-3.66E-03	1.03E-02	3.68E-04	4.23E-02
17.49	0.50	1.09	4.35E-01	2.93E-02	4.69E-02	2.11E-01	1.20E-01	1.74E-01	-1.30E-03	1.21E-02	1.14E-03	4.46E-02
17.49	0.50	1.31	3.80E-01	1.99E-02	5.49E-02	2.09E-01	1.27E-01	1.76E-01	-2.95E-03	1.22E-02	1.02E-03	4.45E-02
17.49	0.50	1.53	3.15E-01	2.01E-02	5.11E-02	2.05E-01	1.32E-01	1.81E-01	-2.07E-03	1.34E-02	1.06E-03	4.62E-02
17.49	0.50	1.75	2.43E-01	1.35E-02	4.41E-02	2.11E-01	1.37E-01	1.84E-01	-1.57E-03	1.55E-02	6.48E-04	4.98E-02
17.49	0.50	1.97	1.96E-01	1.60E-02	4.09E-02	1.98E-01	1.35E-01	1.80E-01	-5.17E-04	1.49E-02	1.05E-03	4.67E-02
17.49	0.50	2.19	1.42E-01	1.89E-02	3.60E-02	1.80E-01	1.38E-01	1.78E-01	-1.96E-03	1.36E-02	9.09E-04	4.40E-02
17.49	0.50	2.40	1.02E-01	6.77E-03	3.46E-02	1.74E-01	1.29E-01	1.77E-01	-1.32E-03	1.29E-02	2.22E-03	4.24E-02
17.49	0.50	2.62	3.98E-02	1.37E-02	1.85E-02	1.56E-01	1.29E-01	1.65E-01	-6.98E-04	1.21E-02	1.14E-03	3.91E-02
17.49	0.50	2.84	6.25E-04	6.09E-03	2.20E-02	1.18E-01	1.21E-01	1.63E-01	-3.16E-04	1.19E-02	1.11E-03	3.59E-02
17.49	0.50	3.06	-4.07E-02	1.55E-03	4.70E-03	1.30E-01	1.13E-01	1.52E-01	-1.52E-03	8.65E-03	2.24E-03	2.97E-02
17.49	0.50	3.28	-8.42E-02	-1.13E-03	1.77E-03	1.25E-01	1.06E-01	1.46E-01	-4.46E-04	5.59E-03	3.46E-03	2.62E-02
17.49	0.50	3.50	-1.00E-01	-4.75E-03	-6.55E-04	1.18E-01	1.00E-01	1.40E-01	-6.11E-04	4.53E-03	3.58E-03	2.34E-02
17.49	0.50	3.72	-1.28E-01	-5.71E-03	-5.90E-03	1.06E-01	9.20E-02	1.23E-01	-8.01E-04	3.48E-03	1.35E-03	1.84E-02
17.49	0.50	3.93	-1.32E-01	3.15E-03	-8.06E-03	1.11E-01	9.84E-02	1.27E-01	-5.49E-04	3.29E-03	1.33E-03	2.02E-02
19.67	0.50	0.22	4.34E-01	3.63E-02	1.97E-02	1.64E-01	1.12E-01	1.30E-01	-2.42E-03	-1.84E-04	1.62E-03	2.81E-02
19.67	0.50	0.44	4.56E-01	3.43E-02	2.98E-02	1.72E-01	1.02E-01	1.41E-01	-1.71E-03	2.00E-03	1.01E-03	2.99E-02
19.67	0.50	0.66	4.31E-01	3.36E-02	3.71E-02	1.77E-01	1.06E-01	1.50E-01	-2.05E-03	4.57E-03	3.31E-04	3.26E-02
19.67	0.50	0.87	4.08E-01	2.64E-02	4.57E-02	1.89E-01	1.05E-01	1.56E-01	-2.81E-03	6.46E-03	1.57E-04	3.54E-02
19.67	0.50	1.09	3.78E-01	2.99E-02	4.74E-02	1.91E-01	1.09E-01	1.56E-01	-1.46E-03	7.77E-03	6.34E-04	3.57E-02
19.67	0.50	1.31	3.31E-01	2.44E-02	4.59E-02	1.93E-01	1.16E-01	1.62E-01	-6.64E-04	1.09E-02	6.56E-04	3.84E-02
19.67	0.50	1.53	2.89E-01	1.21E-02	4.54E-02	1.84E-01	1.22E-01	1.63E-01	-2.11E-03	1.01E-02	1.23E-03	3.80E-02
19.67	0.50	1.75	2.61E-01	1.05E-02	4.52E-02	1.85E-01	1.24E-01	1.67E-01	-1.94E-03	1.10E-02	1.90E-03	3.93E-02
19.67	0.50	1.97	2.15E-01	1.36E-02	4.36E-02	1.75E-01	1.23E-01	1.64E-01	-1.50E-03	1.08E-02	7.10E-04	3.75E-02
19.67	0.50	2.19	1.59E-01	1.07E-02	3.96E-02	1.72E-01	1.21E-01	1.66E-01	-1.94E-03	1.19E-02	1.39E-03	3.80E-02
19.67	0.50	2.40	1.26E-01	8.79E-03	3.33E-02	1.57E-01	1.23E-01	1.63E-01	-1.02E-03	1.00E-02	1.64E-03	3.55E-02
19.67	0.50	2.62	7.85E-02	6.10E-03	2.94E-02	1.45E-01	1.21E-01	1.61E-01	-2.86E-04	9.48E-03	1.32E-03	3.37E-02
19.67	0.50	2.84	5.34E-02	2.77E-03	1.92E-02	1.34E-01	1.11E-01	1.54E-01	-1.88E-03	8.52E-03	1.39E-03	3.02E-02
19.67	0.50	3.06	1.74E-02	4.63E-03	1.90E-02	1.19E-01	1.11E-01	1.42E-01	-1.35E-03	6.90E-03	1.33E-03	2.75E-02
19.67	0.50	3.28	4.06E-03	-1.03E-03	1.39E-02	1.00E-01	1.13E-01	1.44E-01	-9.86E-04	6.00E-03	1.93E-03	2.61E-02
19.67	0.50	3.50	-3.28E-02	-6.41E-03	2.46E-03	1.03E-01	9.51E-02	1.42E-01	6.29E-04	3.61E-03	3.77E-03	2.24E-02
19.67	0.50	3.72	-6.48E-02	-6.50E-03	-5.61E-03	9.60E-02	9.22E-02	1.24E-01	-6.16E-04	3.04E-03	1.09E-03	1.79E-02
19.67	0.50	3.93	-6.21E-02	-1.59E-02	-1.94E-03	9.36E-02	9.39E-02	1.27E-01	-2.64E-05	1.32E-03	1.57E-03	1.82E-02

 $\begin{array}{lll} & & & & & \\ Fr_1[-]= & 2.0 & & & & \\ S[-]= & 1.0 & & & & \\ d_1[m]= & 0.075 & & & \\ W[m]= & 0.60 & & & \\ h_1[m]= & 0.046 & & & \\ U_1[m/s]= & 1.34 & & \\ \end{array}$

	x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v^{*2}}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
13.66 0.50 0.66 3.78-01 2.38-0.0 2.38-0.0 1.08-01 1.99-01 1.94-03 3.33-03 2.78-0.0 2.88-0.0 2.38-0.0 2.38-0.0 2.38-0.0 2.38-0.0 3.38-0.0 3.38-0.0 3.38-0.0 3.38-0.0 3.38-0.0 3.38-0.0 3.38-0.0 3.38-0.0 3.38-0.0 3.38-0.0 3.38-0.0 3.38-0.0 3.38-0.0 1.78-0.0 3.38-0.0 1.78-0.0 3.38-0.0 3.08-0.0 3.08-0.0 3.08-0.0 3.08-0.0 3.08-0.0 3.08-0.0 3.08-0.0 3.08-0.0 3.08-0.0 3.08-0.0 <td>21.86</td> <td>0.50</td> <td>0.22</td> <td>3.72E-01</td> <td>3.41E-02</td> <td>1.21E-02</td> <td>1.55E-01</td> <td>1.03E-01</td> <td>1.13E-01</td> <td>-1.49E-03</td> <td>-5.35E-05</td> <td>1.02E-03</td> <td>2.37E-02</td>	21.86	0.50	0.22	3.72E-01	3.41E-02	1.21E-02	1.55E-01	1.03E-01	1.13E-01	-1.49E-03	-5.35E-05	1.02E-03	2.37E-02
1.86	21.86	0.50	0.44	3.88E-01	2.89E-02	2.06E-02	1.68E-01	9.87E-02	1.22E-01	-1.87E-03	1.42E-03	9.89E-04	2.60E-02
13.66 0.50 1.09 3.49-01 2.18E-02 3.52F-02 1.72E-01 1.41E-01 1.58E-03 5.81E-03 3.66E-02 3.06E-02 2.18.6 0.50 1.53 2.81E-01 1.66E-02 3.94E-02 1.70E-01 1.08E-01 1.50E-01 2.38E-03 3.15E-03 3.10E-03 3.06E-02 2.18.6 0.50 1.75 2.32E-01 1.86E-02 3.94E-02 1.66E-01 1.08E-01 1.5EE-01 1.6EE-01 1.5EE-03 3.1EE-02 3.94E-02 1.6EE-01 1.6EE-01 1.5EE-04 9.31E-03 3.0EE-04 3.3EE-03 2.18.6 0.50 2.62 1.14E-01 4.6EE-03 3.7EE-02 1.6EE-01 1.1EE-01 1.4EE-01 1.4EE-03 3.0EE-03 3.0EE-	21.86	0.50	0.66	3.78E-01	2.38E-02	2.87E-02	1.69E-01	1.01E-01	1.29E-01	-1.94E-03	3.03E-03	1.03E-03	2.73E-02
1.86	21.86	0.50	0.87	3.65E-01	2.72E-02	4.01E-02	1.75E-01	9.68E-02	1.35E-01	-2.33E-03	5.33E-03	-2.78E-04	2.88E-02
1.86	21.86	0.50	1.09	3.49E-01	2.18E-02	3.52E-02	1.72E-01	1.04E-01	1.41E-01	-1.58E-03	5.81E-03	6.80E-04	3.00E-02
13.66 0.50 1.75 2.32.01 1.78E-Q 2.39E-Q 1.67E-Q 1.08E-Q 3.18-Q 3.18-Q 3.18-Q 3.18-Q 3.18-Q 3.18-Q 3.18-Q 3.18-Q 2.36E-Q 3.18-Q 2.38E-Q 3.28E-Q 2.38E-Q 1.38E-Q		0.50	15 A. M. M. P. C.	3.16E-01	2.27E-02	The second second second	1.71E-01	1.06E-01	The state of the s	-2.08E-03	6.41E-03	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	THE SHOP THE SHOP
13.66 0.50 1.97 20.8E-01 1.80e-02 3.9E-02 3.9E-01 1.0E-02 3.9F-03 3.9E-04 2.9E-02 2.3E-04 1.5E-01 7.2E-03 3.4F-02 1.4E-01 1.7E-01 1.3E-03 7.71E-03 3.9E-04 2.8E-02 1.86 0.50 2.68 8.5S-02 1.0E-02 1.7E-02 1.3E-01 1.3E-01 1.3E-03 1.7E-03 7.7T-03 8.0F-04 2.6E-02 1.86 0.50 3.0E 7.0E-02 3.14E-03 1.9E-02 1.0E-01 1.0E-01 1.4E-01 1.4E-02 3.9E-02 1.8E-03 1.0E-03 2.0E-02 2.0E-0	100000000000000000000000000000000000000	500000000000000000000000000000000000000			The Country of the Co	Telephone (1997)	The Control of the I	The state of the state of	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	111111111111111111111111111111111111111	The second second		1 P. C. C. S. C. S
1.86		200000	17-17-19	1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1	and the second second		The Property of the			100000000000000000000000000000000000000		1.7.	
1.186	100000000000000000000000000000000000000	1900000000	0.007(3)(5)(5)	100000000000000000000000000000000000000		STATE OF THE PARTY.							
1.186 0.50 2.62 1.14F-01 6.67E-03 1.34E-01 1.13F-03 7.17E-03 8.07E-04 2.65E-02 2.186 0.50 2.84 8.55E-02 1.03E-03 1.03E-01 1.05E-01 1.04E-01 1.16E-03 3.71E-03 3.17E-03 2.67E-02 2.186 0.50 3.28 4.61E-02 5.97E-06 1.35E-02 1.07E-01 9.82E-02 1.46E-01 1.23E-03 4.99E-03 2.23E-03 2.25E-02 2.25E-02 1.46E-01 1.23E-03 4.99E-03 2.25E-02 1.46E-01 1.23E-03 4.99E-03 2.25E-02 1.46E-01 1.25E-03 4.99E-03 3.25E-02 1.46E-03 4.99E-03 1.25E-02 1.46E-03 4.99E-03 1.46E-03 4.66E-03 9.99E-03 3.25E-02 1.25E-03 4.99E-03 1.25E-03 4.99E-03 3.25E-03		0.000	100000000000000000000000000000000000000		E TOTAL BUT THE PARTY		130.00000000000000000000000000000000000				SAMONTON DIGING		
1.186 0.50 2.84 8.55E-02 1.08E-02 1.28E-01 1.08E-01 1.48E-01 1.10E-03 6.89E-03 1.79E-03 2.64E-02 21.86 0.50 3.26 7.05E-02 3.14E-03 1.29E-03 1.26E-01 1.46E-01 1.23E-03 3.72E-03 2.25E-02 21.86 0.50 3.25 2.24E-02 5.99E-04 4.66E-03 9.94E-02 1.48E-01 1.23E-03 4.99E-03 2.59E-02 21.86 0.50 3.77 1.22E-02 -5.99E-04 5.95E-04 8.78E-02 1.48E-01 1.73E-04 2.97E-03 2.59E-02 21.86 0.50 3.37 7.12E-03 5.10E-03 8.78E-02 8.78E-02 1.22E-01 1.73E-03 3.59E-03 2.59E-03 3.59E-03 1.50E-03 3.59E-03 3.59E-03 <td< td=""><td>1.37.79.79.79</td><td>3300000</td><td>100000000000000000000000000000000000000</td><td></td><td>The state of the s</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></td<>	1.37.79.79.79	3300000	100000000000000000000000000000000000000		The state of the s								
1.186 0.50 3.05 7.05E-02 3.14E-03 1.92E-02 1.07E-01 9.82E-02 1.40E-01 1.23E-03 3.1E-03 2.25E-02 2.25E-02 1.40E-01 1.23E-03 3.26E-03 2.25E-02 2.25E-02 1.40E-01 1.23E-03 2.25E-03 2.25E-02 2.25E-02 1.40E-01 1.25E-03 3.9E-03 3.20E-03 3.20E-03 3.20E-03 3.0B-02 3.9T-01 1.25E-03 3.9B-03 3.9E-02 3.8E-02 1.25E-01 1.73E-04 2.30E-03 3.20E-03 1.80E-02 1.0E-01 1.73E-04 2.30E-03 1.80E-02 1.0E-01 1.0E-02 1.73E-04 2.30E-03 1.20E-03 1.80E-02 1.0E-03 1.0E-03 1.0E-03 3.20E-03 1.80E-02 1.0E-03 3.0E-04 4.0E-03 0.0E-03 3.0E-02 1.2E-03 1.0E-03 1.0E-03 3.6EE-04 7.2E-04 2.2E-02 1.0E-03 1.0E-03 3.6EE-04 7.2E-04 2.2E-02 1.0E-03 1.3E-03 3.9E-04 2.2E-02 1.2E-03 1.3E-03 3.9E-04 2.2E-02 1.3E-03	100000000000000000000000000000000000000	7 Sec. 2000	0.500000		E. R 4200 P. L 4200 P. P.		CATEGORICA CONTRACTOR						
1.18.6 0.50 3.28 4.61E-02 5.97F-06 1.35E-02 0.94E-02 9.87E-02 1.48E-01 -7.25E-04 2.97E-03 5.09E-03 3.09E-02 1.28E-03 3.29E-02 3.09E-02 1.28E-04 2.97E-03 5.09E-03 3.09E-02 1.28E-04 4.29E-03 3.09E-02 3.09E-02 1.28E-04 4.29E-03 3.09E-02 3.09E-02 1.28E-04 1.09E-04 3.09E-03 3.09E-02 1.29E-01 3.26E-02 3.99E-04 8.79E-03 1.29E-01 1.29E-01 3.09E-02 3.09E-02 1.29E-01 4.09E-03 3.09E-02 1.29E-01 4.09E-03 3.09E-02 1.29E-01 4.09E-03 3.09E-02 1.29E-01 1.09E-01 1.09E-01 4.09E-04 4.09E-04 4.09E-04 3.09E-02 1.29E-01 1.09E-01 1.09E-03 1.69E-03 3.68E-04 7.26E-04 2.29E-02 1.69E-03 1.69E-03 1.63E-03 3.69E-04 7.26E-04 2.29E-02 1.29E-01 1.09E-01 1.59E-03 3.68E-04 7.26E-04 2.29E-02 2.29E-02 1.29E-03 1.29E-03 3.89		1000	100000	ALC:	The state of the s			100000000000000000000000000000000000000		the feet of the second second	The second second		177 July 18 Ju
1.186 0.50 3.50 3.24E-02 9.91E-03 4.65E-03 9.97E-02 1.28E-01 1.72E-04 2.90E-03 2.00E-03 1.00E-03 8.57E-02 1.28E-01 1.73E-04 2.00E-03 2.00E-03 1.00E-03 2.00E-03 1.00E-03 1.00E-03 1.00E-03 1.00E-03 2.00E-03 1.00E-03 2.00E-03 1.00E-03 1.00E-03 1.00E-03 1.00E-03 1.00E-03 1.00E-03 1.00E-03 1.00E-03 1.00E-01 1.00E-01 1.00E-01 1.00E-04 4.01E-04 4.01E-04 1.00E-03 2.00E-02 2.0E-02 1.00E-01 2.00E-02 1.00E-01 1.00E-0	100000000000000000000000000000000000000		100000000000000000000000000000000000000	V. 34. 25. A. 15. A. 1	The state of the state of		THE RESERVE				The second second	Company of the Company	190,900 (190,000)
1.186 0.50 3.72 1.22E-02 9.91E-03 5.59E-04 8.57E-02 1.28E-02 1.28E-04 2.30E-03 2.20E-03 1.08E-02 3.81E-02 1.07E-01 1.73E-04 4.01E-04 1.08E-02 2.20E-04 0.50 0.22 2.92E-01 1.24SE-02 3.39E-03 1.42E-01 9.81E-02 1.07E-01 -6.01E-04 4.01E-04 4.01E-04 <td>100000000000000000000000000000000000000</td> <td>108200329</td> <td>100000000000000000000000000000000000000</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>300000000000000000000000000000000000000</td> <td></td> <td></td> <td></td>	100000000000000000000000000000000000000	108200329	100000000000000000000000000000000000000							300000000000000000000000000000000000000			
2.1.6.6 0.50 3.93 7.91E-03 1.0E-03 6.62E-03 8.14E-02 9.88E-02 1.2E-01 -4.73G-04 4.0T-03 3.88E-04 1.80E-02 24.04 0.50 0.44 3.01E-01 2.34E-02 1.0H-02 1.48E-01 1.0H-01 1.5H-01 4.0H-02 4.0E-02 2.0E-02 2.0E-02 2.0E-02 2.0E-02 1.0B-01 1.1B-01 4.5E-03 3.6E-03 3.0E-04 2.0E-02 2.0E-02 1.0B-01 1.1B-01 3.6E-03 4.75E-04 2.0E-02 2.0E-02 1.46E-01 9.9E-02 1.25E-01 1.6E-03 3.6E-03 3.4E-04 2.0E-02 1.0B-02 2.0E-02 1.5E-01 9.9E-02 1.3E-01 1.1B-03 3.4E-03 3.4E-04 2.3E-02 2.0E-02 1.5E-01 9.9E-02 1.3E-01 1.1B-03 3.4E-03 3.4E-04 2.3E-02 2.0E-02 1.5E-01 9.9E-02 1.3E-01 1.3E-01 1.0E-02 2.4B-02 1.5E-01 9.9E-02 1.3E-01 1.3E-02 1.9E-03 3.7E-02 1.3E-03 1.3E-03 1.6E	22/17/WWW.	100000000000000000000000000000000000000	100000000000000000000000000000000000000		Children St. Parketter	THE SAME OF SAME PARTY OF			11 C C 11 C S C C 12 C C C C C C C C C C C C C C C C	1.390,000,000,000,000		S 1000 F 200 B 100 F 100	THE REPORT OF THE PARTY.
24.04 0.50	1 C 4 2 C 5 C	0.55200.516	1000000000	** 12.154 APS 1-5.155 N							10,000,000,000,000		
24.04 0.50 0.44 3.01E-01 2.34E-02 1.04E-02 1.45E-01 1.09E-01 2.75E-03 9.66E-04 7.26E-02 2.34E-02 24.04 0.50 0.87 3.18E-01 2.04E-02 1.55E-02 1.45E-01 4.15E-01 1.65E-03 1.63E-03 4.75E-04 2.34E-02 24.04 0.50 1.09 2.91E-01 1.86E-02 2.56E-02 1.52E-01 3.32E-01 1.89E-03 3.41E-03 3.41E-03 3.41E-03 2.56E-02 2.56E-02 1.52E-01 4.00E-01 1.60E-03 6.02E-03 8.97E-04 2.56E-02 2.56E-02 1.52E-01 4.00E-01 1.60E-03 6.02E-03 8.97E-04 2.56E-02 2.40E-02 3.36E-01 1.35E-01 1.35E-01 1.09E-02 2.56E-02 1.45E-01 1.00E-02 2.56E-02 1.45E-01 1.00E-02 2.56E-02 1.45E-01 1.00E-02 2.86E-02 1.45E-01 1.00E-02 2.89E-02 1.36E-01 1.35E-01 1.55E-03 8.95E-02 3.66E-04 2.73E-02 2.36E-02 3.45E-04 2.53E-02													
24.04 0.50 0.66 3.03E-01 2.4E-02 1.65E-02 1.45E-01 9.41E-02 1.63E-03 3.15E-04 2.3DE-02 2.5ZE-02 1.45E-01 8.3DE-02 1.3ZE-01 1.61E-03 2.7GE-03 9.41E-04 2.3ZE-02 1.45E-01 8.3DE-02 1.3ZE-01 1.61E-03 2.7GE-03 9.41E-04 2.3ZE-02 1.5E-02 9.5DE-02 1.3ZE-01 1.61E-03 2.7GE-03 9.41E-04 2.5E-02 1.5E-02 1.5E-01 9.5DE-02 1.3ZE-01 1.13E-03 3.41E-03 8.5E-04 2.5E-02		0.000		120000000000000000000000000000000000000	THE VIOLENCE OF	The state of the s		Manager and Company	[SECTION 100 1	Delica de la constante de la c	N . W. S . C W.	100000000000000000000000000000000000000	100000000000000000000000000000000000000
24.04 0.50 0.87 3.18E-01 2.03E-02 2.5E-02 1.45E-01 8.93E-02 1.3EE-01 1.61E-03 2.76E-03 9.41E-04 2.3E-02 24.04 0.50 1.31 2.74E-01 1.5SE-02 2.5E-02 1.5DE-01 9.79E-02 1.3EE-01 1.68E-03 3.4EE-03 3.5EE-02 24.04 0.50 1.53 2.80E-01 1.98E-02 3.09E-02 1.5EE-01 1.6EE-01 1.6EE-03 1.6EE-03 6.0EE-03 8.97E-04 2.56E-02 24.04 0.50 1.75 2.25E-01 1.09E-02 2.88E-02 1.4SE-01 1.3EE-01 1.3EE-01 1.3EE-01 1.3EE-01 1.3EE-01 1.3EE-01 1.3EE-01 1.3EE-01 1.3EE-02 1.3EE-01 1.3EE-01 1.3EE-02 2.5EE-02 2.4EE-02 1.3EE-01 1.3EE-02 1.3EE-01 1.3EE-03 3.6EE-02 2.5EE-02 24.04 0.50 2.4B 1.2EE-01 1.3EE-02 1.3EE-01 9.5EE-02 1.3EE-01 1.1EE-03 6.73E-03 3.6EE-02 2.2EE-02 2.2	100000000000000000000000000000000000000	19955333	25.47.09	1.7955000000 September 1						I DANSELS LINE STORY			
24.04 0.50 1.09 2.91E-01 1.86E-02 2.5E-02 1.52E-01 9.50E-02 1.32E-01 1.89E-03 3.41E-03 8.54E-04 2.51E-02 24.04 0.50 1.53 2.80E-01 1.95E-02 2.50E-01 9.94E-02 1.60E-01 1.13E-03 4.94E-03 1.01E-03 2.55E-02 24.04 0.50 1.75 2.25E-01 1.09E-02 2.36E-02 1.46E-01 9.65E-02 1.37E-01 1.39E-03 8.07E-04 2.56E-02 24.04 0.50 1.97 2.15E-01 1.09E-02 2.89E-02 1.36E-01 9.72E-02 1.33E-01 1.05E-03 6.92E-03 6.9E-04 2.46E-02 24.04 0.50 2.62 1.47E-01 6.18E-03 1.32E-01 1.25E-01 1.5E-03 6.5E-02 1.34E-01 1.6FE-04 5.91E-03 6.6E-04 2.23E-02 24.04 0.50 3.66 9.82E-02 6.23E-03 1.76E-04 1.9E-04 4.56E-03 3.37E-04 2.23E-02 24.04 0.50 3.28	100 / Name (NO)	175 (1964-67)	100 Year 100	Patential Services Automatical	LEPTON TO ALAM SACT	It will be the best but with	THE REPORT OF THE PARTY OF THE	The state of the second	The state of the s	Francisco Administration	THE RESIDENCE AND ADDRESS OF THE PARTY.		TOTAL SECTION AND ADDRESS OF
24,04 0.50 1.31 2.74E-01 1.55E-02 2.48E-02 1.50E-01 9.97E-02 1.36E-01 -1.13E-03 4.94E-03 1.01E-03 2.56E-02 24,04 0.50 1.75 2.25E-01 1.09E-02 2.36E-02 1.45E-01 9.96E-02 1.37E-01 -1.39E-03 6.02E-03 8.97E-04 2.56E-02 24,04 0.50 1.97 2.15E-01 1.09E-02 2.88E-02 1.43E-01 1.33E-01 -1.39E-01 -6.0E-03 6.0E-03 6.0E-03 6.70E-04 2.59E-02 24,04 0.50 2.40 1.81E-01 1.01E-02 2.89E-02 1.35E-01 9.72E-02 1.33E-01 -1.05E-03 6.73E-03 8.45E-04 2.39E-02 24,04 0.50 2.62 1.47E-01 6.88E-03 1.30E-02 1.22E-01 9.57E-02 1.35E-01 1.67E-04 5.91E-03 6.66E-04 2.23E-02 24,04 0.50 3.06 9.82E-02 6.23E-03 7.69E-03 1.08E-01 9.96E-02 1.33E-01 -1.42E-04 4.56E-03	100000000000000000000000000000000000000	0.0000000000000000000000000000000000000	200000000000000000000000000000000000000			1000 1000 200 1000 1000 1000	Level Street at Street					15-3-7-05-70-6-CT 726-VO	TEACHER PRESSAGE
24.04 0.50 1.53 2.80E-01 1.98E-02 3.09E-02 1.52E-01 9.94E-02 1.40E-01 -1.68E-03 6.02E-03 8.97E-04 2.66E-02 24.04 0.50 1.75 2.25E-01 1.10E-02 2.36E-02 1.43E-01 1.37E-01 -1.39E-03 6.20E-03 7.06E-04 2.59E-02 24.04 0.50 2.19 1.82E-01 1.33E-01 1.36E-01 9.72E-02 1.33E-01 -1.05E-03 6.29E-03 8.45E-04 2.39E-02 24.04 0.50 2.40 1.81E-01 1.01E-02 2.89E-02 1.34E-01 9.90E-02 1.40E-01 -1.15E-03 6.73E-03 9.66E-04 2.47E-02 24.04 0.50 2.64 1.21E-01 3.99E-03 1.39E-01 9.5FE-02 1.34E-01 -1.67E-04 5.91E-03 6.61E-04 2.23E-02 24.04 0.50 3.06 9.82E-02 6.23E-03 7.69E-03 1.09E-01 9.96E-02 1.34E-01 -1.2EE-04 4.56E-03 3.3FE-04 2.02E-02 24.04	100000000000000000000000000000000000000		10000000	THE REPORT OF THE PARTY OF THE	The state of the s	1 The Late of the State of the Late of the	120002729270162861	100 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	POINTER BREAKING	PROCESS SCHOOLSE	100 May 200 May 40 20	Contract to the second	
24.04 0.50 1.75 2.25E-01 1.10E-02 2.36E-02 1.46E-01 9.65E-02 1.37E-01 -1.39E-03 6.20E-03 7.06E-04 2.54E-02 24.04 0.50 1.97 2.15E-01 1.09E-02 2.88E-02 1.43E-01 1.33E-01 -1.05E-03 6.20E-03 8.45E-04 2.59E-02 24.04 0.50 2.40 1.81E-01 1.01E-02 2.88E-02 1.36E-01 9.72E-02 1.33E-01 1.05E-03 6.23E-03 8.45E-04 2.39E-02 24.04 0.50 2.62 1.47E-01 6.18E-03 1.30E-02 1.22E-01 9.57E-02 1.35E-01 1.67E-04 5.91E-03 3.61E-04 2.23E-02 24.04 0.50 3.06 9.82E-02 6.23E-03 7.69E-03 1.08E-01 9.96E-02 1.33E-01 1.42E-04 4.63E-03 1.58E-03 2.11E-02 24.04 0.50 3.50 7.05E-02 6.29E-03 1.81E-03 9.35E-02 8.76E-02 1.38E-01 1.42E-04 4.63E-03 1.58E-03 2.11E-02	If Assembly College	79500-911	The Vote Vote I	0.9406565681	Figure Autocollections	C405-274-1537	[Dail/No.5369-955.7]	10HC5/b24F3b461	10,000,000,000,000	DRDOVAN-SPACE	199354,50vCC	100000000000000000000000000000000000000	I be a service of the
24,04 0.50 1.97 2.15E-01 1.09E-02 2.88E-02 1.43E-01 1.03E-01 2.14E-03 6.00E-03 6.87E-04 2.59E-02 24,04 0.50 2.40 1.81E-01 1.01E-02 2.89E-02 1.36E-01 9.72E-02 1.33E-01 -1.05E-03 6.29E-03 8.45E-04 2.29E-02 24,04 0.50 2.62 1.47E-01 6.18E-03 1.30E-02 1.22E-01 9.57E-02 1.35E-01 1.67E-04 5.91E-03 6.31E-04 2.23E-02 24,04 0.50 2.84 1.21E-01 3.99E-03 1.37E-02 1.20E-01 9.66E-02 1.34E-01 -7.83E-04 5.65E-03 4.66E-04 2.23E-02 24,04 0.50 3.06 9.82E-02 6.23E-03 7.69E-03 1.09E-01 9.96E-02 1.33E-01 -1.42E-04 4.56E-03 3.37E-04 2.21E-02 24,04 0.50 3.72 6.72E-02 7.30E-03 5.34E-04 9.31E-02 8.76E-02 1.38E-01 -1.4E-04 4.65E-03 3.22E-03 1.59E-02		100 G (100 G (10	10070423				DROSESSESSES	Eller (SOCOMPERS)	[1] ([2] (2) ([2] ([2] ([2] ([2] ([2] ([2] ([2] ([2]		Process of the second	10.1-43.5-14.70(MS)34.75(M)	
24.04 0.50 2.19 1.82E-01 1.33E-02 1.98E-02 1.36E-01 9.72E-02 1.33E-01 1.05E-03 6.29E-03 8.45E-04 2.39E-02 24.04 0.50 2.62 1.47E-01 6.18E-03 1.30E-02 1.22E-01 9.57E-02 1.35E-01 1.15E-03 6.31E-04 2.23E-02 24.04 0.50 2.84 1.21E-01 3.99E-03 1.37E-02 1.20E-01 9.56E-02 1.34E-01 -7.83E-04 5.65E-03 4.66E-03 3.37E-04 2.23E-02 24.04 0.50 3.06 9.82E-02 6.31E-04 1.54E-03 1.08E-01 9.96E-02 1.31E-01 -1.26E-04 4.56E-03 3.57E-04 2.02E-02 24.04 0.50 3.28 8.94E-02 9.31E-04 1.58E-03 9.55E-02 8.76E-02 1.38E-01 -1.44E-04 4.56E-03 3.57E-03 1.75E-02 7.30E-03 5.34E-04 9.31E-02 8.26E-02 1.38E-01 -1.44E-03 2.95E-03 1.58E-02 2.24E-04 9.31E-04 8.50E-02 9.77E-04	1000000 COSC 100000	1 1 Table 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1.76 (1	UP-16-3P4-75-9991	CHARLES AND STREET	Seat Property Control (Control	Service Control (Sept.)			1000000 PACTOR 10	CONTRACTOR STATE	THE PROPERTY OF THE PARTY OF TH	110.00 2040.000.000.001
24.04 0.50 2.40 1.81E-01 1.01E-02 2.89E-02 1.34E-01 9.90E-02 1.40E-01 1.15E-03 6.73E-03 9.66E-04 2.47E-02 24.04 0.50 2.62 1.47E-01 6.18E-03 1.37E-02 1.20E-01 9.57E-02 1.35E-01 1.67E-04 5.95E-03 6.31E-04 2.23E-02 24.04 0.50 3.06 9.82E-02 6.23E-03 7.69E-03 1.09E-01 9.9E-02 1.31E-01 -1.2EE-04 4.56E-03 3.7F-04 2.02E-02 24.04 0.50 3.28 8.94E-02 6.33E-03 1.69E-03 1.09E-01 9.96E-02 1.31E-01 -1.42E-04 4.63E-03 3.5E-03 2.11E-02 24.04 0.50 3.57 6.72E-02 7.30E-03 5.34E-04 9.31E-02 8.76E-02 1.33E-01 -1.44E-03 2.9E-03 1.5EE-03 3.17E-02 24.04 0.50 3.73 4.56E-02 3.58E-03 3.5EE-03 8.2FE-03 8.3FE-02 8.2FE-02 1.21E-01 -4.6E-04 1.63E-03	III. 220.070.00000	100000000000000000000000000000000000000	0.000		11 STATE AND STATE OF THE STATE	14500-608-141-Pedayu	1784, 3405 000 2340 000 000		I PARK SET TRANSPORT		THE THE TOTAL PROPERTY.	1000 PM TWO DESCRIPTIONS AND ADDRESS AND A	
24.04 0.50 2.84 1.21E-01 3.99E-03 1.37E-02 1.20E-01 9.66E-02 1.34E-01 -7.83E-04 5.65E-03 4.66E-04 2.23E-02 24.04 0.50 3.28 8.94E-02 6.23E-03 7.69E-03 1.09E-01 9.29E-02 1.31E-01 -1.2E-04 4.56E-03 3.37E-04 2.02E-02 24.04 0.50 3.50 7.05E-02 6.99E-03 1.81E-03 9.35E-02 8.76E-02 1.30E-01 -7.87E-04 4.72E-03 3.02E-03 3.11E-02 24.04 0.50 3.93 4.56E-02 7.30E-03 5.34E-04 9.31E-02 8.29E-02 1.38E-01 -1.44E-03 2.95E-03 5.16E-03 1.58E-02 24.04 0.50 4.15 5.35E-02 -5.23E-03 -1.56E-04 8.50E-02 9.46E-02 1.10E-01 -9.7TE-04 1.08E-03 1.58E-03 1.58E-02 26.23 0.50 0.62 2.46E-01 1.79E-02 2.7TE-03 1.25E-01 9.06E-02 1.02E-01 -1.42E-03 3.66E-05 1.58E-02 <td>100000000000000000000000000000000000000</td> <td>100000000000000000000000000000000000000</td> <td>19000000</td> <td>1.757926757555935363</td> <td>CONTRACTOR STATEMENTS</td> <td>The state of the s</td> <td>1.00(300).000(9)20(0)</td> <td>The State of the S</td> <td></td> <td></td> <td>[15/45/4/2007/96/2006]]</td> <td>10.55 arcs 80mm to 19.0 kg/s/s 5,4 ft.</td> <td></td>	100000000000000000000000000000000000000	100000000000000000000000000000000000000	19000000	1.757926757555935363	CONTRACTOR STATEMENTS	The state of the s	1.00(300).000(9)20(0)	The State of the S			[15/45/4/2007/96/2006]]	10.55 arcs 80mm to 19.0 kg/s/s 5,4 ft.	
24.04 0.50 2.84 1.21E-01 3.99E-03 1.37E-02 1.20E-01 9.66E-02 1.34E-01 -7.83E-04 5.65E-03 4.66E-04 2.23E-02 24.04 0.50 3.08 8.94E-02 6.23E-03 7.69E-03 1.09E-01 9.96E-02 1.31E-01 -1.26E-04 4.65E-03 3.75E-04 2.02E-02 24.04 0.50 3.50 7.05E-02 6.99E-03 1.81E-03 9.35E-02 1.30E-01 -1.42E-04 4.63E-03 1.58E-03 2.11E-02 24.04 0.50 3.72 6.72E-02 7.30E-03 5.34E-04 9.31E-02 8.29E-02 1.38E-01 -1.44E-03 2.95E-03 1.58E-03 1.58E-02 24.04 0.50 3.93 4.56E-02 -3.3EE-03 6.26E-03 8.37E-02 8.46E-02 1.21E-01 -4.46E-04 1.46E-03 1.58E-02 26.23 0.50 0.44 2.68E-01 3.06E-03 1.21E-01 8.62E-02 1.10E-01 -9.77E-04 1.08E-03 1.58E-02 26.23 0.50 <td< td=""><td>24.04</td><td>0.50</td><td>2.62</td><td>1.47E-01</td><td>6.18E-03</td><td>1.30E-02</td><td>1.22E-01</td><td>9.57E-02</td><td>1.35E-01</td><td>1.67E-04</td><td>5.91E-03</td><td>6.31E-04</td><td>2.23E-02</td></td<>	24.04	0.50	2.62	1.47E-01	6.18E-03	1.30E-02	1.22E-01	9.57E-02	1.35E-01	1.67E-04	5.91E-03	6.31E-04	2.23E-02
24.04 0.50 3.28 8.94E-02 9.31E-04 1.54E-03 1.08E-01 9.96E-02 1.33E-01 -1.42E-04 4.63E-03 1.58E-03 2.11E-02 24.04 0.50 3.50 7.05E-02 6.99E-03 1.81E-03 9.35E-02 8.76E-02 1.30E-01 -7.87E-04 2.72E-03 3.02E-03 1.79E-02 24.04 0.50 3.73 6.72E-02 7.30E-03 5.34E-04 9.31E-02 8.29E-02 1.38E-01 -1.44E-03 2.95E-03 5.16E-03 1.58E-02 24.04 0.50 4.15 5.35E-02 -5.23E-03 -1.56E-04 8.50E-02 9.46E-02 1.10E-01 -9.27E-04 1.08E-03 2.03E-03 1.58E-02 26.23 0.50 0.44 2.68E-01 3.06E-02 6.04E-03 1.21E-01 8.62E-02 1.02E-01 -1.42E-03 4.00E-04 6.19E-04 1.65E-02 26.23 0.50 0.66 2.83E-01 2.92E-02 1.10E-02 1.34E-01 8.90E-02 1.02E-01 -1.42E-03 4.60E-03 1.57E-04 </td <td>24.04</td> <td>0.50</td> <td>2.84</td> <td>1.21E-01</td> <td>3.99E-03</td> <td></td> <td>1.20E-01</td> <td>9.66E-02</td> <td>1.34E-01</td> <td>-7.83E-04</td> <td>5.65E-03</td> <td>4.66E-04</td> <td>2.23E-02</td>	24.04	0.50	2.84	1.21E-01	3.99E-03		1.20E-01	9.66E-02	1.34E-01	-7.83E-04	5.65E-03	4.66E-04	2.23E-02
24.04 0.50 3.50 7.05E-02 6.99E-03 1.81E-03 9.35E-02 8.76E-02 1.30E-01 -7.87E-04 2.72E-03 3.02E-03 1.79E-02 24.04 0.50 3.72 6.72E-02 7.30E-03 5.34E-04 9.31E-02 8.29E-02 1.38E-01 -1.44E-03 2.95E-03 5.16E-03 1.86E-02 24.04 0.50 3.93 4.56E-02 -3.58E-03 6.26E-03 8.3TE-02 8.46E-02 1.21E-01 -4.46E-04 1.46E-03 1.52E-03 1.58E-02 26.23 0.50 0.42 2.46E-01 -7.99E-02 2.27E-03 1.25E-01 9.06E-02 1.00E-01 -9.27E-04 1.08E-03 2.03E-03 1.58E-02 26.23 0.50 0.44 2.68E-01 3.06E-02 1.00E-01 1.0E-01 -1.42E-03 2.68E-03 1.09E-02 1.0E-01 -1.42E-03 2.68E-03 1.09E-02 1.0E-01 -1.42E-03 2.68E-03 1.0E-02 1.34E-01 8.0E-02 1.0E-01 -1.72E-03 9.60E-04 3.91E-04 1.69E-02 <td>24.04</td> <td>0.50</td> <td>3.06</td> <td>9.82E-02</td> <td>6.23E-03</td> <td>7.69E-03</td> <td>1.09E-01</td> <td>9.29E-02</td> <td>1.31E-01</td> <td>-1.26E-04</td> <td>4.56E-03</td> <td>3.37E-04</td> <td>2.02E-02</td>	24.04	0.50	3.06	9.82E-02	6.23E-03	7.69E-03	1.09E-01	9.29E-02	1.31E-01	-1.26E-04	4.56E-03	3.37E-04	2.02E-02
24.04 0.50 3.72 6.72E-02 7.30E-03 5.34E-04 9.31E-02 8.29E-02 1.38E-01 -1.44E-03 2.95E-03 5.16E-03 1.86E-02 24.04 0.50 3.93 4.56E-02 -3.58E-03 6.26E-03 8.37E-02 8.46E-02 1.21E-01 -4.46E-04 1.45E-03 1.52E-03 1.58E-02 26.23 0.50 0.22 2.46E-01 2.79E-02 2.27E-03 1.25E-01 9.06E-02 9.07E-02 -1.34E-03 -4.00E-04 6.19E-04 1.56E-02 26.23 0.50 0.44 2.68E-01 3.06E-02 6.04E-03 1.21E-01 8.62E-02 1.02E-01 -1.42E-03 2.68E-05 1.07E-04 1.65E-02 26.23 0.50 0.66 2.83E-01 2.92E-02 1.10E-02 1.34E-01 8.90E-02 1.08E-01 -1.72E-03 9.60E-04 3.91E-04 1.65E-02 26.23 0.50 1.09 2.75E-01 2.40E-02 1.88E-02 1.37E-01 8.85E-02 1.16E-01 -1.90E-03 2.11E-03 -5.76E-04<	24.04	0.50	3.28	8.94E-02	9.31E-04	1.54E-03	1.08E-01	9.96E-02	1.33E-01	-1.42E-04	4.63E-03	1.58E-03	2.11E-02
24,04 0.50 3.93 4.56E-02 -3.58E-03 6.26E-03 8.37E-02 8.46E-02 1.21E-01 -4.46E-04 1.46E-03 1.52E-03 1.58E-02 24.04 0.50 4.15 5.35E-02 -5.23E-03 -1.56E-04 8.50E-02 9.46E-02 1.10E-01 -9.27E-04 1.08E-03 2.03E-03 1.54E-02 26.23 0.50 0.44 2.68E-01 3.06E-02 6.04E-03 1.21E-01 8.62E-02 1.02E-01 -1.42E-03 4.00E-04 6.19E-04 1.63E-02 26.23 0.50 0.66 2.83E-01 3.06E-02 6.04E-03 1.21E-01 8.62E-02 1.02E-01 -1.72E-03 8.06E-05 1.70E-04 1.65E-02 26.23 0.50 0.66 2.83E-01 2.76E-02 1.10E-02 1.34E-01 8.0EE-02 1.02E-01 -1.72E-03 8.0E0-05 1.77E-03 9.60E-04 3.91E-04 1.96E-02 26.23 0.50 1.09 2.75E-01 2.40E-02 1.88E-02 1.37E-01 8.85E-02 1.16E-01 -9.91E-04<	24.04	0.50	3.50	7.05E-02	6.99E-03	1.81E-03	9.35E-02	8.76E-02	1.30E-01	-7.87E-04	2.72E-03	3.02E-03	1.79E-02
24.04 0.50 4.15 5.35E-02 -5.23E-03 -1.56E-04 8.50E-02 9.46E-02 1.10E-01 -9.27E-04 1.08E-03 2.03E-03 1.54E-02 26.23 0.50 0.22 2.46E-01 2.79E-02 2.27E-03 1.25E-01 9.06E-02 9.37E-02 -1.34E-03 -4.00E-04 6.19E-04 1.63E-02 26.23 0.50 0.64 2.68E-01 3.06E-02 6.04E-03 1.21E-01 8.62E-02 1.02E-01 -1.42E-03 2.86E-05 1.70E-04 1.65E-02 26.23 0.50 0.66 2.83E-01 2.92E-02 1.10E-02 1.34E-01 8.0E-02 1.08E-01 -1.72E-03 9.60E-04 3.91E-04 1.90E-02 26.23 0.50 0.87 2.75E-01 2.40E-02 1.83E-02 1.37E-01 8.85E-02 1.16E-01 -9.91E-04 3.06E-03 6.34E-04 2.03E-02 26.23 0.50 1.53 2.51E-01 2.07E-02 2.15E-02 1.32E-01 8.89E-02 1.07E-01 -1.92E-03 3.74E-03 7.17E-04 </td <td>24.04</td> <td>0.50</td> <td>3.72</td> <td>6.72E-02</td> <td>7.30E-03</td> <td>5.34E-04</td> <td>9.31E-02</td> <td>8.29E-02</td> <td>1.38E-01</td> <td>-1.44E-03</td> <td>2.95E-03</td> <td>5.16E-03</td> <td>1.86E-02</td>	24.04	0.50	3.72	6.72E-02	7.30E-03	5.34E-04	9.31E-02	8.29E-02	1.38E-01	-1.44E-03	2.95E-03	5.16E-03	1.86E-02
26.23 0.50 0.22 2.46E-01 2.79E-02 2.27E-03 1.25E-01 9.06E-02 9.37E-02 -1.34E-03 -4.00E-04 6.19E-04 1.63E-02 26.23 0.50 0.44 2.68E-01 3.06E-02 6.04E-03 1.21E-01 8.62E-02 1.02E-01 -1.42E-03 2.86E-05 1.70E-04 1.65E-02 26.23 0.50 0.66 2.83E-01 2.92E-02 1.10E-02 1.34E-01 8.90E-02 1.08E-01 -1.72E-03 9.60E-04 3.91E-04 1.65E-02 26.23 0.50 0.87 2.71E-01 2.76E-02 1.44E-02 1.30E-01 8.82E-02 1.12E-01 -1.90E-03 2.11E-03 -5.76E-04 1.86E-02 26.23 0.50 1.09 2.75E-01 2.40E-02 1.88E-02 1.33E-01 8.85E-02 1.16E-01 -9.91E-04 3.06E-03 6.34E-04 2.03E-02 26.23 0.50 1.53 2.51E-01 2.07E-02 2.15E-02 1.32E-01 8.89E-02 1.17E-01 -1.92E-03 3.74E-03 7.17E-04 </td <td>FD-331395/601</td> <td>1111-977-927398</td> <td>2521254 GRO</td> <td>1 Magnetic Visit State (1971)</td> <td>I I I I I I I I I I I I I I I I I I I</td> <td>100 mg 1 m</td> <td>THE STREET STREET</td> <td>1754 SECTION SECTION 1</td> <td>INTERPRETATION</td> <td>THE PROPERTY OF THE</td> <td>THE YEAR SECTION</td> <td>TO STATE OF THE ST</td> <td></td>	FD-331395/601	1111-977-927398	2521254 GRO	1 Magnetic Visit State (1971)	I I I I I I I I I I I I I I I I I I I	100 mg 1 m	THE STREET STREET	1754 SECTION SECTION 1	INTERPRETATION	THE PROPERTY OF THE	THE YEAR SECTION	TO STATE OF THE ST	
26.23 0.50 0.44 2.68E-01 3.06E-02 6.04E-03 1.21E-01 8.62E-02 1.02E-01 -1.42E-03 2.86E-05 1.70E-04 1.65E-02 26.23 0.50 0.66 2.83E-01 2.92E-02 1.10E-02 1.34E-01 8.90E-02 1.08E-01 -1.72E-03 9.60E-04 3.91E-04 1.90E-02 26.23 0.50 0.87 2.71E-01 2.76E-02 1.44E-02 1.30E-01 8.42E-02 1.12E-01 -1.90E-03 2.11E-03 -5.76E-04 1.86E-02 26.23 0.50 1.09 2.75E-01 2.40E-02 1.88E-02 1.33E-01 8.85E-02 1.16E-01 -9.91E-04 3.06E-03 6.34E-04 2.03E-02 26.23 0.50 1.53 2.51E-01 2.07E-02 2.15E-02 1.32E-01 8.89E-02 1.17E-01 -1.92E-03 3.74E-03 7.17E-04 2.00E-02 26.23 0.50 1.97 2.24E-01 1.91E-02 2.19E-02 1.29E-01 8.02E-02 1.19E-01 -1.05E-03 4.57E-03 5.43E-04 <td>_</td> <td>0.50</td> <td></td> <td>5.35E-02</td> <td>-5.23E-03</td> <td>-1.56E-04</td> <td>8.50E-02</td> <td>9.46E-02</td> <td>1.10E-01</td> <td>-9.27E-04</td> <td>1.08E-03</td> <td>2.03E-03</td> <td>1.54E-02</td>	_	0.50		5.35E-02	-5.23E-03	-1.56E-04	8.50E-02	9.46E-02	1.10E-01	-9.27E-04	1.08E-03	2.03E-03	1.54E-02
26.23 0.50 0.66 2.83E-01 2.92E-02 1.10E-02 1.34E-01 8.90E-02 1.08E-01 -1.72E-03 9.60E-04 3.91E-04 1.90E-02 26.23 0.50 0.87 2.71E-01 2.76E-02 1.44E-02 1.30E-01 8.42E-02 1.12E-01 -1.90E-03 2.11E-03 -5.76E-04 1.86E-02 26.23 0.50 1.09 2.75E-01 2.40E-02 1.88E-02 1.3EE-01 8.85E-02 1.16E-01 -9.91E-04 3.06E-03 6.34E-04 2.03E-02 26.23 0.50 1.53 2.51E-01 2.07E-02 2.15E-02 1.32E-01 8.89E-02 1.17E-01 -7.35E-04 3.33E-03 7.17E-04 2.03E-02 26.23 0.50 1.53 2.51E-01 2.07E-02 1.3EE-02 1.38E-01 8.70E-02 1.17E-01 -1.92E-03 3.74E-03 7.17E-04 2.00E-02 26.23 0.50 1.97 2.24E-01 1.91E-02 2.19E-02 1.27E-01 9.02E-02 1.19E-01 -8.33E-04 4.55E-03 6.91E-04 <td>1 20000000000</td> <td>1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1</td> <td>100000000000000000000000000000000000000</td> <td></td>	1 20000000000	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	100000000000000000000000000000000000000										
26.23 0.50 0.87 2.71E-01 2.76E-02 1.44E-02 1.30E-01 8.42E-02 1.12E-01 -1.90E-03 2.11E-03 -5.76E-04 1.86E-02 26.23 0.50 1.09 2.75E-01 2.40E-02 1.89E-02 1.37E-01 8.85E-02 1.16E-01 -9.91E-04 3.06E-03 6.34E-04 2.03E-02 26.23 0.50 1.51 2.58E-01 2.41E-02 1.88E-02 1.33E-01 8.68E-02 1.20E-01 -7.35E-04 3.33E-03 4.78E-04 2.03E-02 26.23 0.50 1.53 2.51E-01 2.07E-02 2.15E-02 1.38E-01 8.70E-02 1.70E-01 -1.92E-03 3.74E-03 7.17E-04 2.00E-02 26.23 0.50 1.97 2.24E-01 1.91E-02 2.19E-02 1.27E-01 9.08E-02 1.17E-01 -1.05E-03 4.57E-03 5.43E-04 2.02E-02 26.23 0.50 2.19 2.07E-01 2.08E-02 1.77E-02 1.22E-01 8.72E-02 1.24E-01 -1.12E-03 4.55E-03 6.94E-04 <td></td> <td>1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1</td> <td>0.000</td> <td></td>		1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	0.000										
26.23 0.50 1.09 2.75E-01 2.40E-02 1.89E-02 1.37E-01 8.85E-02 1.16E-01 -9.91E-04 3.06E-03 6.34E-04 2.03E-02 26.23 0.50 1.31 2.58E-01 2.41E-02 1.88E-02 1.33E-01 8.68E-02 1.20E-01 -7.35E-04 3.33E-03 4.78E-04 2.03E-02 26.23 0.50 1.53 2.51E-01 2.07E-02 2.15E-02 1.38E-01 8.70E-02 1.17E-01 -1.95E-03 3.74E-04 2.00E-02 26.23 0.50 1.97 2.24E-01 1.91E-02 2.19E-02 1.29E-01 9.02E-02 1.19E-01 -1.05E-03 4.57E-03 5.43E-04 2.02E-02 26.23 0.50 2.19 2.07E-01 2.01E-02 2.19E-02 1.29E-01 9.02E-02 1.19E-01 -8.33E-04 4.55E-03 6.91E-04 2.06E-02 26.23 0.50 2.40 1.88E-01 2.01E-02 1.77E-02 1.22E-01 8.72E-02 1.24E-01 -7.78E-04 5.21E-03 6.94E-04 2.06E-02 <td>1000</td> <td>717.7</td> <td>100000000000000000000000000000000000000</td> <td>La Contractor St.</td> <td>The second second</td> <td></td> <td></td> <td>100000000000000000000000000000000000000</td> <td>A second or the let</td> <td>The second second</td> <td></td> <td>A CONTRACTOR</td> <td></td>	1000	717.7	100000000000000000000000000000000000000	La Contractor St.	The second second			100000000000000000000000000000000000000	A second or the let	The second second		A CONTRACTOR	
26.23 0.50 1.31 2.58E-01 2.41E-02 1.88E-02 1.33E-01 8.68E-02 1.20E-01 -7.35E-04 3.33E-03 4.78E-04 2.03E-02 26.23 0.50 1.53 2.51E-01 2.07E-02 2.15E-02 1.32E-01 8.89E-02 1.17E-01 -1.92E-03 3.74E-03 7.17E-04 2.00E-02 26.23 0.50 1.75 2.26E-01 1.54E-02 1.95E-02 1.38E-01 8.70E-02 1.20E-01 1.105E-03 4.57E-03 5.43E-04 2.12E-02 26.23 0.50 1.97 2.24E-01 1.91E-02 2.19E-02 1.29E-01 9.02E-02 1.21E-01 8.33E-04 4.55E-03 6.91E-04 2.02E-02 26.23 0.50 2.49 1.88E-01 2.01E-02 1.77E-02 1.22E-01 9.08E-02 1.24E-01 -1.12E-03 4.65E-03 6.94E-04 2.06E-02 26.23 0.50 2.40 1.88E-01 2.01E-02 1.08E-01 8.83E-02 1.24E-01 -1.78E-04 5.21E-03 6.94E-04 2.06E-02	100000000000000000000000000000000000000	2000	2000		and the second	Control of the second							
26.23 0.50 1.53 2.51E-01 2.07E-02 2.15E-02 1.32E-01 8.89E-02 1.17E-01 -1.92E-03 3.74E-03 7.17E-04 2.00E-02 26.23 0.50 1.75 2.26E-01 1.54E-02 1.95E-02 1.38E-01 8.70E-02 1.20E-01 -1.05E-03 4.57E-03 5.43E-04 2.12E-02 26.23 0.50 1.97 2.24E-01 1.91E-02 2.19E-02 1.29E-01 9.0E-02 1.19E-01 -8.33E-04 4.55E-03 6.91E-04 2.02E-02 26.23 0.50 2.40 1.88E-01 2.01E-02 1.27E-01 8.2E-02 1.24E-01 -1.12E-03 4.62E-03 6.94E-04 2.06E-02 26.23 0.50 2.40 1.88E-01 2.01E-02 1.77E-02 1.22E-01 8.2E-02 1.24E-01 -7.78E-04 5.21E-03 3.92E-04 1.97E-02 26.23 0.50 2.84 1.54E-01 1.17E-02 9.53E-03 1.09E-01 8.82E-02 1.18E-01 -8.40E-04 3.94E-03 1.02E-03 1.78E-02	1.570 (5.000.000.000.000.000.000.000.000.000.0	11.000	2412302		1 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10 -						E 17 2 (12 - 73) 2 5 1		
26.23 0.50 1.75 2.26E-01 1.54E-02 1.95E-02 1.38E-01 8.70E-02 1.20E-01 -1.05E-03 4.57E-03 5.43E-04 2.12E-02 26.23 0.50 1.97 2.24E-01 1.91E-02 2.19E-02 1.29E-01 9.02E-02 1.19E-01 8.33E-04 4.55E-03 6.91E-04 2.02E-02 26.23 0.50 2.19 2.07E-01 2.08E-02 2.12E-02 1.27E-01 9.08E-02 1.23E-01 -1.12E-03 4.65E-03 6.94E-04 2.06E-02 26.23 0.50 2.62 1.71E-01 1.55E-02 1.77E-02 1.22E-01 8.72E-02 1.24E-01 -7.78E-04 5.21E-03 3.92E-04 1.97E-02 26.23 0.50 2.62 1.71E-01 1.55E-02 1.59E-02 1.08E-01 8.83E-02 1.2E-01 -7.78E-04 3.93E-03 5.83E-04 1.90E-02 1.78E-02 26.23 0.50 3.06 1.58E-01 1.29E-02 6.26E-03 1.09E-01 8.98E-02 1.17E-01 8.36E-04 4.46E-03	1 0200 KCC30 1	100000000000000000000000000000000000000	96.56.8	25 (27) 4 (47) 5 (11	THE CONTROL OF THE PARTY.	- 250 CW 100 GL 100 CM	134 A. S.						135 134 P. ASSS 21.
26.23 0.50 1.97 2.24E-01 1.91E-02 2.19E-02 1.29E-01 9.02E-02 1.19E-01 -8.33E-04 4.55E-03 6.91E-04 2.02E-02 26.23 0.50 2.19 2.07E-01 2.08E-02 2.12E-01 9.08E-02 1.23E-01 -1.12E-03 4.62E-03 6.94E-04 2.06E-02 26.23 0.50 2.62 1.71E-01 1.55E-02 1.59E-02 1.08E-01 8.83E-02 1.22E-01 -6.85E-04 3.93E-03 5.83E-04 1.80E-02 26.23 0.50 2.62 1.71E-01 1.55E-02 1.59E-02 1.08E-01 8.83E-02 1.22E-01 -6.85E-04 3.93E-03 5.83E-04 1.80E-02 26.23 0.50 2.84 1.54E-01 1.17E-02 9.53E-03 1.09E-01 8.82E-02 1.18E-01 -8.40E-04 3.94E-03 1.02E-03 1.78E-02 26.23 0.50 3.28 1.35E-01 1.29E-02 6.26E-03 1.09E-01 8.98E-02 1.17E-01 -8.36E-04 4.65E-03 8.15E-04 1.72E-02 <td></td> <td>177904000</td> <td>P(42/9524)</td> <td>The second of the second</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>The state of the s</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1 March 1980 1987 1988 1988 1988 1988 1988 1988 1988</td>		177904000	P(42/9524)	The second of the second					The state of the s				1 March 1980 1987 1988 1988 1988 1988 1988 1988 1988
26.23 0.50 2.19 2.07E-01 2.08E-02 2.10E-02 1.27E-01 9.08E-02 1.23E-01 -1.12E-03 4.62E-03 6.94E-04 2.06E-02 26.23 0.50 2.40 1.88E-01 2.01E-02 1.77E-02 1.22E-01 8.72E-02 1.24E-01 -7.78E-04 5.21E-03 3.92E-04 1.97E-02 26.23 0.50 2.62 1.71E-01 1.55E-02 1.59E-02 1.08E-01 8.83E-02 1.22E-01 -6.85E-04 3.93E-03 5.83E-04 1.80E-02 26.23 0.50 2.84 1.54E-01 1.17E-02 9.53E-03 1.09E-01 8.89E-02 1.18F-01 -8.40E-04 3.94E-03 1.02E-03 1.78E-02 26.23 0.50 3.06 1.58E-01 1.29E-02 6.26E-03 1.09E-01 8.98E-02 1.19E-01 -8.36E-04 4.63E-03 8.15E-04 1.72E-02 26.23 0.50 3.50 1.28E-01 1.15E-03 5.96E-04 9.70E-02 8.94E-02 1.19E-01 -8.36E-04 4.63E-03 8.15E-04 <td>1997 E. 1956-12</td> <td>100000000</td> <td>12000000</td> <td></td> <td>The Country of State of</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>The second second second second</td> <td></td> <td></td> <td>The second second</td> <td>100 376 (200)</td>	1997 E. 1956-12	100000000	12000000		The Country of State of				The second second second second			The second second	100 376 (200)
26.23 0.50 2.40 1.88E-01 2.01E-02 1.77E-02 1.22E-01 8.72E-02 1.24E-01 -7.78E-04 5.21E-03 3.92E-04 1.97E-02 26.23 0.50 2.62 1.71E-01 1.55E-02 1.59E-02 1.08E-01 8.83E-02 1.22E-01 -6.85E-04 3.93E-03 5.83E-04 1.80E-02 26.23 0.50 2.84 1.54E-01 1.17E-02 9.53E-03 1.10E-01 8.82E-02 1.18E-01 -8.40E-04 3.94E-03 1.02E-03 1.78E-02 26.23 0.50 3.08 1.58E-01 1.29E-02 6.6E0-03 1.09E-01 8.98E-02 1.19E-01 -8.36E-04 4.46E-03 4.63E-04 1.77E-02 26.23 0.50 3.50 1.28E-01 1.15E-03 1.09E-01 8.94E-02 1.19E-01 -8.35E-04 4.63E-03 1.57E-02 26.23 0.50 3.50 1.28E-01 1.15E-03 5.96E-04 9.70E-02 8.79E-02 1.23E-01 -6.92E-04 2.69E-03 1.70E-02 26.23		11.00		100000000000000000000000000000000000000		The second second		7 5 5 5 5 7 7	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		2000	2.3017 7.55 4	
26.23 0.50 2.62 1.71E-01 1.55E-02 1.59E-02 1.08E-01 8.83E-02 1.22E-01 -6.85E-04 3.93E-03 5.83E-04 1.80E-02 26.23 0.50 2.84 1.54E-01 1.17E-02 9.53E-03 1.09E-01 8.98E-02 1.18E-01 -8.40E-04 3.94E-03 1.02E-03 1.78E-02 26.23 0.50 3.06 1.58E-01 1.29E-02 6.26E-03 1.09E-01 8.98E-02 1.17E-01 -8.36E-04 4.46E-03 4.63E-04 1.77E-02 26.23 0.50 3.50 1.28E-01 1.15E-03 5.96E-04 9.70E-02 8.94E-02 1.19E-01 -8.53E-04 3.72E-03 8.15E-04 1.70E-02 26.23 0.50 3.50 1.28E-01 1.15E-03 5.96E-04 9.70E-02 8.79E-02 1.23E-01 -6.92E-04 2.69E-03 1.70E-02 26.23 0.50 3.72 1.10E-01 1.17E-02 1.33E-02 9.80E-02 8.71E-02 1.62E-01 -1.06E-03 2.96E-03 2.23E-02	1317(4)315(63)	35.454	2000000	The Real Property of the Control of		10 miles (m. 10 mi	1. C. 4. 4. C.	Contract to the second	1. F. O. H. O. C. W C. W	CONTRACTOR OF THE PARTY		TOOTS OF Y	
26.23 0.50 2.84 1.54E-01 1.17E-02 9.53E-03 1.10E-01 8.82E-02 1.18E-01 -8.40E-04 3.94E-03 1.02E-03 1.78E-02 26.23 0.50 3.06 1.58E-01 1.29E-02 6.26E-03 1.09E-01 8.98E-02 1.17E-01 -8.36E-04 4.46E-03 4.63E-04 1.77E-02 26.23 0.50 3.28 1.35E-01 9.26E-03 1.20E-02 1.02E-01 8.94E-02 1.19E-01 -8.53E-04 3.72E-03 8.15E-04 1.72E-02 26.23 0.50 3.72 1.10E-01 1.15E-03 5.96E-04 9.70E-02 8.79E-02 1.23E-01 -6.92E-04 2.69E-03 8.25E-03 2.23E-02 26.23 0.50 3.72 1.10E-01 1.17E-02 1.33E-02 9.80E-02 8.17E-02 1.62E-01 -1.06E-03 2.96E-03 8.25E-03 2.23E-02 26.23 0.50 3.93 8.04E-02 1.31E-02 1.76E-02 9.10E-02 7.49E-02 1.31E-01 -1.71E-03 1.15E-03 1.73E-03 <td></td> <td>I SECTION.</td> <td>100000000000000000000000000000000000000</td> <td>LEGITATION SPECIAL</td> <td>PRESENTED TO THE STATE OF</td> <td>The state of the state of</td> <td>LIFE OF SECURITIES AND ADDRESS OF THE PARTY OF THE PARTY</td> <td>Programme and Control of</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>		I SECTION.	100000000000000000000000000000000000000	LEGITATION SPECIAL	PRESENTED TO THE STATE OF	The state of the state of	LIFE OF SECURITIES AND ADDRESS OF THE PARTY	Programme and Control of					
26.23 0.50 3.06 1.58E-01 1.29E-02 6.26E-03 1.09E-01 8.98E-02 1.17E-01 -8.36E-04 4.46E-03 4.63E-04 1.77E-02 26.23 0.50 3.28 1.35E-01 9.26E-03 1.20E-02 1.02E-01 8.94E-02 1.19E-01 -8.53E-04 3.72E-03 8.15E-04 1.72E-02 26.23 0.50 3.50 1.28E-01 1.15E-03 5.96E-04 9.70E-02 8.79E-02 1.23E-01 -6.92E-04 2.69E-03 1.81E-03 1.70E-02 26.23 0.50 3.72 1.10E-01 1.17E-02 1.33E-02 9.80E-02 8.17E-02 1.62E-01 -1.06E-03 2.96E-03 8.25E-03 2.23E-02 26.23 0.50 3.93 8.04E-02 1.31E-02 1.76E-02 9.10E-02 7.49E-02 1.31E-01 -1.71E-03 1.15E-03 1.73E-03 1.66E-02	10.000000000000000000000000000000000000	100505555	520000000	1.7000000000000000000000000000000000000	- PARTICUS (77 / 75) (7)	220000 120000000	100000000000000000000000000000000000000		1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1				
26.23 0.50 3.28 1.35E-01 9.26E-03 1.20E-02 1.02E-01 8.94E-02 1.19E-01 -8.53E-04 3.72E-03 8.15E-04 1.72E-02 26.23 0.50 3.50 1.28E-01 1.15E-03 5.96E-04 9.70E-02 8.79E-02 1.23E-01 -6.92E-04 2.69E-03 1.81E-03 1.70E-02 26.23 0.50 3.72 1.10E-01 1.17E-02 1.33E-02 9.80E-02 8.17E-02 1.62E-01 -1.06E-03 2.96E-03 8.25E-03 2.23E-02 26.23 0.50 3.93 8.04E-02 1.31E-02 1.76E-02 9.10E-02 7.49E-02 1.31E-01 -1.71E-03 1.15E-03 1.73E-03 1.66E-02	A	77 745 77396	52.57.55		The State of the S	100 Per 100 Pe	THE RESIDENCE OF THE PARTY OF T		1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		12 TO		
26.23 0.50 3.50 1.28E-01 1.15E-03 5.96E-04 9.70E-02 8.79E-02 1.23E-01 -6.92E-04 2.69E-03 1.81E-03 1.70E-02 26.23 0.50 3.72 1.10E-01 1.17E-02 1.33E-02 9.80E-02 8.17E-02 1.62E-01 -1.06E-03 2.96E-03 8.25E-03 2.23E-02 26.23 0.50 3.93 8.04E-02 1.31E-02 1.76E-02 9.10E-02 7.49E-02 1.31E-01 -1.71E-03 1.15E-03 1.73E-03 1.66E-02	1 - 5 - 5 - 5 - 5	1300000000		100000000000000000000000000000000000000	the second second	1.50	100000000000000000000000000000000000000	The second second	The second second				100000000000000000000000000000000000000
26.23 0.50 3.72 1.10E-01 1.17E-02 1.33E-02 9.80E-02 8.17E-02 1.62E-01 -1.06E-03 2.96E-03 8.25E-03 2.23E-02 26.23 0.50 3.93 8.04E-02 1.31E-02 1.76E-02 9.10E-02 7.49E-02 1.31E-01 -1.71E-03 1.15E-03 1.73E-03 1.73E-03 1.66E-02		1000	2.75.2			100	0.0000000000000000000000000000000000000	Particular Control of the Control of					1000
26.23 0.50 3.93 8.04E-02 1.31E-02 1.76E-02 9.10E-02 7.49E-02 1.31E-01 -1.71E-03 1.15E-03 1.73E-03 1.66E-02	300000000000000000000000000000000000000	1.0000000000000000000000000000000000000	0.795,0.389		100 To 10		50.50 (CL) (CL) (CL) (CL)						1 To 10 TO 1
													1.66E-02
TOTAL DISTRIBUTE OF LANGE OF L	26.23	0.50	4.15	1.04E-01	1.57E-02	8.44E-03	9.26E-02	9.22E-02	1.40E-01	-1.61E-03	1.89E-04	3.24E-03	1.93E-02

 $Fr_1[-]=$ 2.0 (Froude de Ingreso) S[-]= 1.0 (Sumergencia) $d_1[m]=$ 0.075 (Apertura) W[m]= 0.60 (Ancho del canal) $h_1[m]=$ 0.046 (Sección contraída)

U. [m/s]=	1.34	(Velocidacidad de ingreso al resalto)	

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{v'^2}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U
30.60	0.50	0.22	2.15E-01	2.54E-02	1.61E-02	9.67E-02	7.68E-02	7.54E-02	-1.19E-03	-1.17E-05	7.68E-04	1.05E-0
30.60	0.50	0.44	2.28E-01	2.12E-02	7.62E-03	9.87E-02	7.17E-02	8.14E-02	-5.55E-04	-2.42E-04	1.57E-04	1.11E-0
30.60	0.50	0.66	2.28E-01	1.81E-02	1.13E-02	1.00E-01	7.15E-02	8.62E-02	-1.06E-03	1.09E-04	-2.84E-05	1.17E-0
30.60	0.50	0.87	2.31E-01	1.74E-02	7.95E-03	9.75E-02	7.30E-02	8.99E-02	-7.53E-04	7.68E-04	1.69E-05	1.18E-0
30.60	0.50	1.09	2.45E-01	1.55E-02	1.44E-02	1.04E-01	7.35E-02	9.11E-02	-3.60E-04	9.28E-04	2.68E-04	1.26E-0
30.60	0.50	1.31	2.46E-01	1.99E-02	1.23E-02	1.07E-01	7.32E-02	9.06E-02	-8.90E-04	1.41E-03	4.24E-04	1.28E-0
30.60	0.50	1.53	2.38E-01	1.64E-02	8.32E-03	1.04E-01	7.38E-02	9.47E-02	-5.95E-04	1.47E-03	4.23E-04	1.29E-0
30.60	0.50	1.75	2.21E-01	1.17E-02	9.78E-03	9.57E-02	7.15E-02	9.74E-02	-7.06E-04	1.48E-03	5.06E-04	1.22E-0
30.60	0.50	1.97	2.23E-01	1.12E-02	1.06E-02	9.96E-02	7.29E-02	9.49E-02	-4.83E-04	2.04E-03	3.80E-04	1.25E-0
30.60	0.50	2.19	2.24E-01	1.41E-02	1.54E-02	9.83E-02	7.25E-02	9.88E-02	-6.75E-04	2.17E-03	6.84E-04	1.27E-0
30.60	0.50	2.40	2.16E-01	1.06E-02	6.29E-03	9.81E-02	7.00E-02	1.01E-01	-4.53E-04	1.89E-03	5.54E-04	1.27E-0
30.60	0.50	2.62	2.13E-01	1.03E-02	8.78E-03	9.18E-02	7.39E-02	9.89E-02	-6.60E-04	1.99E-03	2.80E-04	1.22E-0
30.60	0.50	2.84	2.04E-01	1.05E-02	4.59E-03	8.91E-02	7.27E-02	9.80E-02	-5.61E-04	1.57E-03	2.28E-04	1.18E-0
30.60	0.50	3.06	1.96E-01	8.63E-03	7.00E-03	8.95E-02	7.18E-02	9.40E-02	-5.93E-04	1.64E-03	4.66E-04	1.14E-0
30.60	0.50	3.28	2.00E-01	1.09E-02	6.74E-03	9.11E-02	7.07E-02	9.48E-02	-3.16E-04	1.74E-03	2.96E-04	1.15E-0
30.60	0.50	3.50	1.92E-01	1.04E-02	-2.51E-03	8.02E-02	7.16E-02	9.23E-02	-4.63E-04	1.48E-03	6.14E-04	1.04E-0
30.60	0.50	3.72	1.87E-01	5.41E-03	9.76E-03	8.17E-02	7.14E-02	1.14E-01	-4.40E-04	1.44E-03	3.84E-03	1.28E-0
30.60	0.50	3.93	1.42E-01	5.55E-03	8.43E-03	8.34E-02	6.40E-02	1.08E-01	-5.20E-04	5.20E-05	1.26E-03	1.20E-0
30.60	0.50	4.15	1.78E-01	5.50E-03	5.34E-03	8.18E-02	7.83E-02	9.95E-02	-2.80E-04	3.18E-04	1.89E-03	1.18E-0
39.34	0.50	0.22	1.76E-01	1.61E-02	7.24E-03	6.11E-02	5.25E-02	5.07E-02	-2.76E-04	-2.50E-04	4.15E-04	4.53E-0
39.34	0.50	0.44	1.92E-01	1.22E-02	2.50E-03	6.25E-02	5.22E-02	5.46E-02	-2.03E-04	-2.30E-04	8.46E-05	5.01E-0
39.34	0.50	0.66	2.01E-01	1.58E-02	4.09E-03	6.21E-02	5.07E-02	5.60E-02	-2.46E-04	-1.22E-04	1.24E-04	4.96E-0
39.34	0.50	0.87	1.99E-01	1.38E-02	8.86E-03	6.19E-02	4.83E-02	6.15E-02	-5.33E-04	-5.64E-05	-2.81E-04	5.16E-0
39.34	0.50	1.09	2.08E-01	1.47E-02	8.90E-03	6.19E-02	4.99E-02	6.34E-02	-2.89E-04	-7.32E-05	9.83E-05	5.34E-0
39.34	0.50	1.31	2.09E-01	1.34E-02	6.63E-03	6.20E-02	5.07E-02	6.25E-02	-2.83E-04	-1.94E-04	8.90E-05	5.33E-0
39.34	10 40 0 to 5 0 cm	10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 1	1276/50/5421 7424 (1							The Principle of the Pr		1579-246201-2
39.34	0.50	1.53	2.13E-01	1.21E-02	8.99E-03	6.62E-02	5.00E-02	6.43E-02	-3.06E-04	-7.68E-05	1.38E-04	5.69E-0
	0.50	1.75	2.18E-01	1.00E-02	4.59E-03	6.16E-02	5.25E-02	6.60E-02	-2.20E-04	9.24E-05	1.59E-04	5.60E-0
39.34	0.50	1.97	2.15E-01	1.09E-02	6.06E-03	6.21E-02	4.95E-02	6.43E-02	-1.77E-04	1.69E-04	1.84E-04	5.38E-0
39.34	0.50	2.19	2.18E-01	8.44E-03	9.83E-03	6.59E-02	5.22E-02	6.81E-02	-4.39E-04	1.52E-04	2.11E-04	6.03E-0
39.34	0.50	2.40	2.14E-01	8.87E-03	4.89E-03	6.02E-02	5.07E-02	6.74E-02	-9.47E-05	-2.04E-05	7.61E-05	5.52E-0
39.34	0.50	2.62	2.23E-01	6.66E-03	7.72E-03	6.06E-02	5.03E-02	6.72E-02	-7.98E-05	1.19E-04	1.66E-04	5.50E-0
39.34	0.50	2.84	2.29E-01	8.60E-03	5.89E-03	5.99E-02	4.99E-02	6.69E-02	-1.84E-04	2.03E-04	1.67E-04	5.40E-0
39.34	0.50	3.06	2.18E-01	7.27E-03	3.80E-03	5.52E-02	5.11E-02	6.80E-02	-2.34E-04	-5.02E-05	2.31E-04	5.26E-0
39.34	0.50	3.28	2.28E-01	7.64E-03	3.15E-03	6.00E-02	5.22E-02	6.84E-02	-2.54E-04	2.48E-04	3.01E-04	5.63E-0
39.34	0.50	3.50	2.27E-01	6.08E-03	2.37E-03	6.16E-02	5.12E-02	7.26E-02	-5.22E-04	-1.40E-04	3.52E-04	5.98E-0
39.34	0.50	3.72	2.27E-01	9.33E-03	3.01E-02	6.26E-02	5.06E-02	9.71E-02	-4.07E-05	3.23E-04	3.12E-03	8.10E-0
39.34	0.50	3.93	2.02E-01	7.50E-03	9.19E-03	5.91E-02	4.84E-02	7.75E-02	-2.65E-04	-1.54E-04	7.72E-04	6.09E-0
39.34	0.50	4.15	2.35E-01	5,52E-03	3.00E-03	6.13E-02	5.41E-02	6.66E-02	-6.98E-05	-9.30E-05	8.16E-04	5.68E-0
52.46	0.50	0.22	1.68E-01	1.43E-02	7.21E-03	4.01E-02	3.44E-02	4.58E-02	-2.33E-04	-1.40E-04	9.12E-04	2.45E-0
52.46	0.50	0.44	1.80E-01	1.21E-02	1.39E-02	3.83E-02	3.59E-02	4.00E-02	-1.22E-04	-2.43E-04	1.67E-04	2.27E-0
52.46	0.50	0.66	1.88E-01	1.44E-02	1.64E-03	3.74E-02	3.59E-02	3.97E-02	-1.95E-04	-2.31E-04	4.99E-05	2.21E-0
52.46	0.50	0.87	1.86E-01	1.42E-02	7.67E-03	3.71E-02	3.60E-02	3.99E-02	-2.25E-04	-1.62E-04	-3.30E-05	2.20E-0
52.46	0.50	1.09	1.96E-01	1.29E-02	2.69E-03	3.90E-02	3.63E-02	4.25E-02	-7.52E-05	-1.58E-04	4.46E-06	2.40E-0
52.46	0.50	1.31	1.94E-01	1.10E-02	8.82E-03	3.83E-02	3.50E-02	4.30E-02	-6.78E-05	-2.32E-04	5.88E-05	2.34E-0
52.46	0.50	1.53	2.02E-01	9.98E-03	6.27E-03	4.02E-02	3.66E-02	4.37E-02	-1.10E-04	-1.80E-04	8.90E-05	2.51E-0
52.46	0.50	1.75	2.02E-01	9.80E-03	6.62E-03	4.04E-02	3.47E-02	4.33E-02	-1.75E-05	-2.16E-04	5.15E-05	2.43E-0
52.46	0.50	1.97	2.11E-01	1.07E-02	6.34E-03	4.19E-02	3.54E-02	4.48E-02	-2.18E-04	-2.64E-04	1.28E-04	2.59E-0
52.46	0.50	2.19	2.04E-01	9.83E-03	8.49E-03	4.01E-02	3.38E-02	4.47E-02	-1.69E-04	-2.38E-04	1.16E-04	2.45E-0
52.46	0.50	2.40	2.14E-01	9.37E-03	6.60E-03	3.92E-02	3.62E-02	4.59E-02	-7.53E-05	-2.05E-04	1.20E-04	2.54E-
52.46	0.50	2.62	2.15E-01	9.95E-03	8.29E-03	3.86E-02	3.35E-02	4.54E-02	-8.33E-05	-2.07E-04	1.05E-04	2.40E-
52.46	0.50	2.84	2.20E-01	1.00E-02	7.52E-03	4.08E-02	3.49E-02	4.63E-02	-1.05E-04	-2.77E-04	6.19E-05	2.58E-
52.46	0.50	3.06	2.22E-01	8.88E-03	6.45E-03	3.92E-02	3.50E-02	4.52E-02	-6.01E-05	-2.10E-04	8.97E-05	2.46E-
52.46	0.50	3.28	2.22E-01	7.43E-03	4.29E-03	3.85E-02	3.55E-02	4.43E-02	-1.04E-04	-2.92E-04	1.25E-04	2.41E-
52.46	0.50	3.50	2.28E-01	6.85E-03	5.47E-03	3.97E-02	3.57E-02	4.60E-02	-1.82E-04	-2.11E-04	1.57E-04	2.54E-
52.46	0.50	3.72	2.26E-01	8.41E-03	3.65E-02	4.29E-02	3.52E-02	6.73E-02	-2.91E-04	3.04E-04	1.52E-03	3.88E-
52.46	0.50	3.93	2.19E-01	2.72E-03	6.38E-03	3.91E-02	3.38E-02	4.69E-02	-1.39E-04	-5.53E-05	4.05E-04	2.50E-0
	0.50	4.15	2.37E-01	7.14E-03	3.38E-03	4.34E-02	3.59E-02	4.35E-02	-1.48E-04	-1.13E-04	3.20E-04	2.59E-

Fr₁[-]= 2.0 (Froude de Ingreso)
S [-]= 1.0 (Sumergencia)
d₁ [m]= 0.075 (Apertura)
W [m]= 0.60 (Ancho del canal)
h₁ [m]= 0.046 (Sección contraída)
U₁ [m/s]= 1.34 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U2
1.09	0.11	HI-CHE I	4.7	1 -11-	PACATED			1 1			3.68E-04	
1.09	0.11	3.50 3.50	2.16E-03 -4.24E-03	-1.78E-02 -1.91E-02	-1.39E-01 -1.31E-01	4.51E-02 5.17E-02	7.62E-02 8.68E-02	4.79E-02 5.29E-02	-9.14E-04 -1.28E-03	-9.14E-04 -1.28E-03	4.17E-04	5.07E-03 6.50E-03
1.09	0.13	3.50	-2.25E-02	-2.29E-02	-1.42E-01	4.75E-02	8.95E-02	5.22E-02	-6.65E-04	-6.65E-04	5.51E-04	6.49E-03
1.09	0.17	3.50	-2.79E-02	-2.74E-02	-1.42E-01	4.73E-02 4.88E-02	9.97E-02	5.59E-02	-3.83E-04	-3.83E-04	5.55E-04	7.72E-03
1.09	0.25	3.50	-2.94E-02	-2.74E-02	-1.39E-01	4.67E-02	9.56E-02	5.68E-02	2.65E-04	2.65E-04	4.33E-04	7.28E-03
1.09	0.23	3.50	-2.87E-02	-3.02E-02	-7.00E-02	4.68E-02	1.05E-01	5.74E-02	4.30E-04	4.30E-04	1.59E-04	8.28E-03
1.09	0.42	3.50	-3.01E-02	-2.74E-02	-6.87E-02	4.35E-02	9.83E-02	5.49E-02	7.07E-04	7.07E-04	3.94E-04	7.29E-03
1.09	0.50	3.50	-2.54E-02	-3.07E-02	4.27E-03	4.25E-02	1.16E-01	5.63E-02	-3.59E-04	-3.59E-04	2.82E-04	9.18E-03
1.64	0.03	3.50	8.00E-02	-1.07E-02	-4.67E-02	5.88E-02	4.19E-02	5.96E-02	6.67E-04	6.67E-04	3.35E-04	4.38E-03
1.64	0.05	3.50	5.38E-02	-1.51E-02	-6.77E-02	6.44E-02	4.35E-02	5.49E-02	6.42E-04	6.42E-04	1.25E-04	4.53E-03
1.64	0.08	3.50	3.47E-02	-8.93E-03	-8.20E-02	7.13E-02	4.82E-02	5.90E-02	7.75E-04	7.75E-04	2.10E-04	5.44E-03
1.64	0.13	3.50	-4.79E-03	-1.97E-02	-1.00E-01	7.62E-02	5.88E-02	5.92E-02	7.70E-04	7.70E-04	-4.46E-08	6.39E-03
1.64	0.17	3.50	-2.95E-02	-1.66E-02	-9.28E-02	7.78E-02	7.28E-02	6.13E-02	9.29E-04	9.29E-04	2.03E-04	7.55E-03
1.64	0.21	3.50	-5.58E-02	-1.85E-02	-9.89E-02	7.68E-02	7.15E-02	5.60E-02	1.01E-03	1.01E-03	1.33E-04	7.07E-03
1.64	0.25	3.50	-6.78E-02	-2.44E-02	-9.74E-02	8.01E-02	8.24E-02	5.71E-02	1.22E-03	1.22E-03	-4.15E-04	8.24E-03
1.64	0.33	3.50	-7.36E-02	-3.72E-02	-5.51E-02	7.45E-02	7.84E-02	5.64E-02	3.63E-04	3.63E-04	-3.18E-04	7.44E-03
1.64	0.42	3.50	-6.53E-02	-3.64E-02	-3.17E-02	7.46E-02	7.88E-02	5.61E-02	-1.27E-04	-1.27E-04	2.69E-04	7.46E-03
1.64	0.50	3.50	-5.45E-02	-3.71E-02	-1.50E-02	7.30E-02	8.04E-02	5.54E-02	-2.21E-04	-2.21E-04	-2.28E-04	7.44E-03
2.19	0.03	3.50	1.06E-01	-1.22E-02	-2.98E-02	7.59E-02	4.40E-02	5.54E-02	6.38E-04	6.38E-04	7.77E-05	5.38E-03
2.19	0.05	3.50	8.34E-02	-9.54E-03	-3.79E-02	8.41E-02	5.46E-02	6.05E-02	9.10E-04	9.10E-04	3.95E-04	6.86E-03
2.19	0.08	3.50	3.85E-02	-5.49E-03	-4.17E-02	8.75E-02	5.70E-02	5.63E-02	1.13E-03	1.13E-03	7.71E-06	7.04E-03
2.19	0.13	3.50	-3.54E-03	-1.19E-03	-5.44E-02	8.66E-02	7.22E-02	5.80E-02	1.09E-03	1.09E-03	3.65E-05	8.04E-03
2.19	0.17	3.50	-5.35E-02	-4.35E-03	-5.13E-02	1.18E-01	7.86E-02	6.43E-02	1.01E-04	1.01E-04	-2.36E-05	1.22E-02
2.19	0.21	3.50	-7.84E-02	-1.30E-02	-6.14E-02	8.92E-02	7.75E-02	5.32E-02	1.28E-03	1.28E-03	7.44E-05	8.40E-03
2.19	0.25	3.50	-1.02E-01	-1.90E-02	-5.90E-02	8.53E-02	7.34E-02	5.58E-02	1.36E-03	1.36E-03	-3.00E-04	7.89E-03
2.19	0.33	3.50	-9.73E-02	-2.22E-02	-3.14E-02	8.09E-02	6.84E-02	5.98E-02	-4.74E-04	-4.74E-04	-9.94E-04	7.40E-03
2.19	0.42	3.50	-9.79E-02	-2.33E-02	-1.78E-02	8.58E-02	6.98E-02	5.55E-02	-3.11E-05	-3.11E-05	-2.25E-05	7.66E-03
2.19	0.50	3.50	-8.28E-02	-3.81E-02	-8.24E-03	8.56E-02	7.50E-02	5.83E-02	9.95E-05	9.95E-05	-1.17E-04	8.17E-03
2.73	0.03	3.50	1.11E-01	-9.62E-03	-1.06E-02	8.73E-02	4.55E-02	5.58E-02	4.73E-04	4.73E-04	2.88E-05	6.40E-03
2.73	0.05	3.50	7.74E-02	-5.78E-03	-1.23E-02	9.83E-02	5.58E-02	5.83E-02	1.04E-03	1.04E-03	-2.02E-04	8.09E-03
2.73	0.08	3.50	4.43E-02	2.04E-03	-6.60E-03	9.33E-02	6.35E-02	5.93E-02	9.41E-04	9.41E-04	3.49E-04	8.12E-03
2.73	0.13	3.50	-1.40E-02	-5.11E-03	-6.29E-03	9.48E-02	7.14E-02	5.44E-02	1.31E-03	1.31E-03	-7.12E-05	8.52E-03
2.73	0.17	3.50	-5.57E-02	-1.50E-02	-1.75E-02	9.49E-02	7.84E-02	5.80E-02	1.37E-03	1.37E-03	4.48E-05	9.26E-03
2.73	0.21	3.50	-9.78E-02	-1.18E-02	-2.78E-02	9.08E-02	7.80E-02	5.99E-02	5.95E-04	5.95E-04	3.44E-04	8.96E-03
2.73	0.25	3,50	-1.20E-01	-1.95E-02	-1.67E-02	8.99E-02	7.49E-02	5.78E-02	7.15E-04	7.15E-04	-3.28E-04	8.52E-03
3.28	0.03	3.50	1.10E-01	-5.76E-03	6.81E-03	7.84E-02	3.73E-02	4.78E-02	2.80E-05	2.80E-05	1.35E-04	4.91E-03
3.28	0.05	3.50	8.30E-02	-5.02E-03	1.27E-02	8.99E-02	5.34E-02	5.77E-02	1.09E-04	1.09E-04	2.58E-04	7.12E-03
3.28	0.08	3.50	3.02E-02	-5.43E-03	1.88E-02	1.00E-01	6.24E-02	5.64E-02	-2.45E-04	-2.45E-04	3.66E-04	8.57E-03
3.28	0.13	3.50	-3.02E-02	-1.40E-02	2.27E-02	1.01E-01	7.46E-02	6.23E-02	2.55E-04	2.55E-04	4.29E-04	9.82E-03
3.28	0.17	3,50	-7.85E-02	-9.60E-03	1.59E-02	1.05E-01	8.51E-02	5.95E-02	3.04E-04	3.04E-04	2.42E-04	1.09E-02
3.28	0.21	3.50	-1.03E-01	-1.33E-02	8.84E-03	9.23E-02	7.92E-02	5.85E-02	4.79E-04	4.79E-04	2.59E-04	9.10E-03
3.28	0.25	3.50	-1.30E-01	-2.22E-02	9.48E-03	9.37E-02	7.83E-02	5.89E-02	5.39E-04	5.39E-04	-5.07E-04	9.19E-03
3.28	0.33	3.50	-1.23E-01	-2.39E-02	-4.31E-04	9.46E-02	7.09E-02	5.93E-02	-4.40E-04	-4.40E-04	5.70E-05	8.74E-03
3.28	0.42	3.50	-1.42E-01	-1.85E-02	-5.10E-03	8.99E-02	6.85E-02	6.02E-02	1.82E-04	1.82E-04	-1.26E-04	8.20E-03
3.28	0.50	3.50	-1.28E-01	-2.89E-02	-6.91E-03	1.02E-01	7.11E-02	6.18E-02	-6.79E-04	-6.79E-04	4.24E-06	9.63E-03
3.83	0.03	3.50	1.06E-01	-1.04E-02	1.68E-02	9.12E-02	3.75E-02	4.84E-02	-5.09E-04	-5.09E-04	1.52E-04	6.03E-03
3.83	0.05	3.50	7.36E-02	-8.78E-03	2.94E-02	9.82E-02	5.05E-02	5.63E-02	-2.02E-04	-2.02E-04	2.78E-04	7.67E-03
3.83	0.08	3.50	3.01E-02	-8.71E-03	4.04E-02	1.11E-01	6.05E-02	5.76E-02	-4.87E-04	-4.87E-04	4.14E-04	9.65E-03
3.83	0.13	3.50	-2.96E-02	-2.02E-02	4.56E-02	1.07E-01	7.31E-02	6.29E-02	2.42E-04	2.42E-04	3.13E-04	1.04E-02
3.83	0.17	3.50	-7.83E-02	-1.38E-02	3.53E-02	9.83E-02	8.53E-02	6.17E-02	3.18E-04	3.18E-04	2.44E-04	1.04E-02
3.83	0.21	3.50	-1.07E-01	-1.14E-02	3.09E-02	9.80E-02	8.28E-02	5.83E-02	-4.67E-04	-4.67E-04	2.16E-04	9.93E-03
3.83	0.25	3.50	-1.36E-01	-2.31E-02	2.95E-02	8.80E-02	7.83E-02	6.17E-02	-2.93E-04	-2.93E-04	-4.92E-05	8.85E-03

 $\begin{array}{lll} & & & & & \\ & & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & \\ & & & \\ & &$

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
4.37	0.03	3.50	7.82E-02	-1.03E-02	2.07E-02	9.51E-02	3.62E-02	5.03E-02	-6.43E-04	-6.43E-04	1.70E-04	6.44E-03
4.37	0.05	3.50	5.81E-02	-1.12E-02	3.32E-02	1.20E-01	5.69E-02	6.48E-02	-1.35E-03	-1.35E-03	6.15E-05	1.09E-02
4.37	0.08	3.50	1.47E-02	-1.29E-02	4.47E-02	1.00E-01	5.79E-02	5.40E-02	-1.05E-03	-1.05E-03	2.23E-04	8.18E-03
4.37	0.13	3.50	-4.40E-02	-2.12E-02	4.96E-02	1.13E-01	6.85E-02	6.69E-02	-9.04E-04	-9.04E-04	2.56E-04	1.10E-02
4.37	0.17	3.50	-9.65E-02	-2.03E-02	4.55E-02	1.03E-01	8.81E-02	6.28E-02	-1.50E-03	-1.50E-03	-7.28E-06	1.12E-02
4.37	0.21	3.50	-1.27E-01	-1.76E-02	3.93E-02	9.36E-02	7.93E-02	6.24E-02	-3.26E-04	-3.26E-04	2.70E-04	9.48E-03
4.37	0.25	3.50	-1.47E-01	-2.38E-02	3.41E-02	9.50E-02	8.05E-02	6.40E-02	-9.89E-05	-9.89E-05	-2.90E-04	9.80E-03
4.37	0.33	3.50	-1.27E-01	-3.89E-02	1.48E-02	1.01E-01	7.08E-02	7.66E-02	-1.30E-03	-1.30E-03	-6.08E-04	1.06E-02
4.37	0.42	3.50	-1.68E-01	-1.80E-02	1.55E-03	1.03E-01	7.30E-02	6.64E-02	-5.48E-04	-5.48E-04	-1.19E-05	1.01E-02
4.37	0.50	3.50	-1.63E-01	-2.18E-02	-5.35E-03	1.02E-01	7.39E-02	6.71E-02	1.54E-04	1.54E-04	1.33E-04	1.02E-02
4.92	0.03	3.50	3.79E-02	-1.39E-02	2.23E-02	1.27E-01	4.45E-02	6.21E-02	-1.65E-03	-1.65E-03	2.56E-04	1.10E-02
4.92	0.05	3.50	8.52E-03	-1.54E-02	3.60E-02	1.26E-01	5.49E-02	6.73E-02	-1.59E-03	-1.59E-03	-3.37E-05	1.16E-02
4.92	0.08	3.50	-2.10E-02	-1.84E-02	5.05E-02	1.20E-01	6.94E-02	6.59E-02	-2.22E-03	-2.22E-03	-3.90E-05	1.18E-02
4.92	0.13	3.50	-6.48E-02	-2.15E-02	5.16E-02	1.12E-01	7.61E-02	7.24E-02	-2.06E-03	-2.06E-03	1.25E-04	1.18E-02
4.92	0.17	3.50	-1.10E-01	-2.83E-02	5.41E-02	1.09E-01	8.02E-02	6.82E-02	-2.15E-03	-2.15E-03	9.94E-05	1.14E-02
4.92	0.21	3.50	-1.37E-01	-1.81E-02	4.25E-02	1.02E-01	8.04E-02	6.60E-02	-1.30E-03	-1.30E-03	2.50E-04	1.06E-02
4.92	0.25	3.50	-1.43E-01	-2.72E-02	4.31E-02	1.01E-01	8.49E-02	6.85E-02	-7.80E-04	-7.80E-04	7.24E-05	1.10E-02
5.46	0.03	3.50	7.76E-03	-1.83E-02	1.91E-02	1.35E-01	6.68E-02	7.46E-02	-1.22E-05	-1.22E-05	1.62E-03	1.41E-02
5.46	0.05	3.50	-2.86E-02	-1.78E-02	3.06E-02	1.33E-01	5.95E-02	7.69E-02	-1.09E-03	-1.09E-03	7.20E-04	1.35E-02
5.46	0.08	3.50	-5.88E-02	-1.69E-02	4.01E-02	1.24E-01	6.40E-02	6.89E-02	-2.17E-03	-2.17E-03	5.50E-04	1.21E-02
5.46	0.17	3.50	-1.41E-01	-2.33E-02	4.57E-02	1.08E-01	8.01E-02	7.22E-02	-2.25E-03	-2.25E-03	-3.41E-05	1.17E-02
5.46	0.21	3.50	-1.41E-01	-1.69E-02	4.47E-02	1.11E-01	8.46E-02	7.33E-02	-1.09E-03	-1.09E-03	3.07E-04	1.24E-02
5.46	0.25	3.50	-1.56E-01	-2.38E-02	3.25E-02	1.04E-01	7.71E-02	7.52E-02	-4.04E-04	-4.04E-04	1.51E-04	1.12E-02
5.46	0.33	3.50	-1.66E-01	-2.28E-02	1.40E-02	1.12E-01	7.47E-02	7.62E-02	-1.29E-03	-1.29E-03	-2.89E-05	1.20E-02
5.46	0.42	3.50	-1.87E-01	-1.93E-02	3.47E-03	1.02E-01	7.41E-02	7.53E-02	-7.26E-05	-7.26E-05	2.12E-04	1.08E-02
5.46	0.50	3.50	-2.01E-01	-2.49E-02	-6.86E-03	1.09E-01	7.33E-02	7.86E-02	2.23E-04	2.23E-04	1.31E-04	1.18E-02
6.01	0.03	3.50	-4.90E-02	-1.99E-02	2.02E-02	1.37E-01	6.08E-02	8.28E-02	-2.09E-03	-2.09E-03	7.59E-04	1.47E-02
6.01	0.05	3.50	-4.29E-02	-2.05E-02	2.77E-02	1.23E-01	5.09E-02	6.60E-02	-1.35E-03	-1.35E-03	3.54E-04	1.11E-02
6.01	0.08	3.50	-6.28E-02	-2.03E-02	3.92E-02	1.19E-01	5.75E-02	6.82E-02	-1.89E-03	-1.89E-03	3.62E-04	1.10E-02
6.01	0.13	3.50	-1.22E-01	-2.33E-02	3.88E-02	1.22E-01	7.41E-02	7.80E-02	-2.19E-03	-2.19E-03	4.27E-04	1.32E-02
6.01	0.17	3.50	-1.47E-01	-2.01E-02	4.11E-02	1.09E-01	8.39E-02	7.58E-02	-2.03E-03	-2.03E-03	1.84E-04	1.23E-02
6.01	0.21	3.50	-1.62E-01	-1.50E-02	3.58E-02	1.10E-01	8.02E-02	7.67E-02	-1.56E-03	-1.56E-03	5.54E-04	1.22E-02
6.01	0.25	3.50	-1.62E-01	-2.62E-02	2.73E-02	1.16E-01	7.71E-02	7.92E-02	2.09E-04	2.09E-04	7.01E-05	1.28E-02
6.56	0.03	3.50	-8.26E-02	-1.31E-02	1.77E-02	1.47E-01	8.25E-02	9.26E-02	-2.55E-03	-2.55E-03	2.67E-03	1.85E-02
6.56	0.05	3.50	-1.12E-01	-1.39E-02	2.56E-02	1.51E-01	6.82E-02	8.58E-02	-5.59E-04	-5.59E-04	6.62E-04	1.74E-02
6.56	0.08	3.50	-1.18E-01	-1.69E-02	3.15E-02	1.32E-01	6.97E-02	8.44E-02	-1.92E-03	-1.92E-03	6.35E-04	1.46E-02
6.56	0.13	3.50	-1.47E-01	-1.66E-02	3.10E-02	1.26E-01	7.44E-02	8.36E-02	-1.90E-03	-1.90E-03	6.29E-04	1.42E-02
6.56	0.17	3.50	-1.66E-01	-1.64E-02	3.43E-02	1.19E-01	8.05E-02	8.30E-02	-1.32E-03	-1.32E-03	3.12E-04	1.37E-02
6.56	0.21	3.50	-1.68E-01	-1.33E-02	3.66E-02	1.19E-01	8.15E-02	8.56E-02	-1.35E-03	-1.35E-03	3.13E-04	1.40E-02
6.56	0.25	3.50	-1.92E-01	-2.82E-02	2.86E-02	1.21E-01	8.67E-02	8.68E-02	1.12E-04	1.12E-04	-1.39E-04	1.48E-02
6.56	0.33	3.50	-1.97E-01	-2.62E-02	1.28E-02	1.08E-01	7.68E-02	8.52E-02	-8.07E-04	-8.07E-04	2.07E-04	1.25E-02
6.56	0.42	3.50	-2.14E-01	-2.04E-02	3.79E-03	1.40E-01	9.32E-02	9.79E-02	-4.77E-03	-4.77E-03	1.54E-03	1.89E-02
6.56	0.50	3.50	-2.31E-01	-2.52E-02	-8.47E-03	1.10E-01	7.73E-02	8.89E-02	-7.21E-04	-7.21E-04	5.25E-04	1.30E-02
7.65	0.03	3.50	-1.23E-01	-9.07E-04	1.51E-02	1.50E-01	6.31E-02	1.01E-01	-9.24E-04	-9.24E-04	3.86E-04	1.84E-02
7.65	0.08	3.50	-1.65E-01	-1.24E-02	2.89E-02	1.34E-01	7.38E-02	9.65E-02	-8.97E-04	-8.97E-04	3.09E-04	1.64E-02
7.65	0.17	3.50	-1.82E-01	-1.36E-02	2.82E-02	1.17E-01	7.25E-02	8.67E-02	6.95E-05	6.95E-05	6.61E-04	1.32E-02
7.65	0.25	3.50	-1.92E-01	-2.41E-02	2.31E-02	1.28E-01	8.05E-02	9.92E-02	-1.26E-03	-1.26E-03	2.90E-04	1.64E-02
7.65	0.33	3.50	-2.27E-01	-1.70E-02	2.18E-03	1.20E-01	8.90E-02	1.12E-01	-1.55E-03	-1.55E-03	-7.63E-04	1.75E-02
7.65	0.42	3.50	-2.43E-01	-2.32E-02	-6.57E-04	1.20E-01	8.44E-02	1.02E-01	-7.98E-04	-7.98E-04	2.54E-04	1.60E-02
7.65	0.50	3.50	-2.54E-01	-2.25E-02	-8.72E-03	1.14E-01	8.04E-02	1.04E-01	-5.39E-04	-5.39E-04	3.31E-04	1.52E-02
8.74	0.03	3.50	-1.40E-01	1.17E-02	1.90E-02	1.55E-01	7.41E-02	1.25E-01	-1.50E-03	-1.50E-03	9.41E-04	2.26E-02
8.74	0.08	3.50	-1.98E-01	-1.15E-02	3.12E-02	1.32E-01	8.52E-02	1.11E-01	-6.28E-04	-6.28E-04	8.00E-04	1.85E-02
8.74	0.17	3.50	-1.79E-01	-7.76E-03	1.87E-02	1.32E-01	8.69E-02	1.05E-01	7.30E-04	7.30E-04	1.22E-03	1.79E-02
8.74	0.25	3.50	-2.04E-01	-2.31E-02	2.63E-02	1.42E-01	9.86E-02	1.18E-01	-1.21E-03	-1.21E-03	-4.23E-04	2.19E-02
8.74	0.23	3.50	-2.09E-01	-2.48E-02	1.28E-02	1.25E-01	8.95E-02	1.09E-01	-2.06E-03	-2.06E-03	3.55E-04	1.78E-02
8.74	0.33	3.50	-2.64E-01	-2.46E-02	-5.01E-03	1.25E-01 1.18E-01	8.40E-02	9.99E-02	-2.06E-03	-1.09E-03	3.44E-04	1.55E-02
8.74	0.50	3.50	-2.70E-01	-2.51E-02 -2.68E-02	-3.01E-03	1.21E-01	8.41E-02	1.05E-01	-5.58E-04	-5.58E-04	8.40E-04	1.63E-02
0.74	0.50	3.30	-2.70E-01	2.000-02	1.00E-02	1.515-01	0.416-02	1.035-01	J.30E-04	J.JGE-04	3,40E-04	1.036-02

Apéndice C. Conjunto de datos experimentales obtenidos con el Vectrino⁺

Fr₁[-]= 2.0 (Froude de Ingreso)

S [-]= 1.0 (Sumergencia) $d_1 [m]=$ 0.075 (Apertura)

W [m]= 0.60 (Ancho del canal)

h₁ [m]= 0.046 (Sección contraída)

U₁ [m/s]= 1.34 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v^{\prime 2}}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
9.84	0.03	3.50	-1.41E-01	1.30E-02	2.32E-02	1.56E-01	7.71E-02	1.23E-01	-2.25E-03	-2.25E-03	1.14E-04	2.28E-02
9.84	0.08	3.50	-1.86E-01	-1.52E-03	3.37E-02	1.37E-01	9.25E-02	1.20E-01	2.48E-04	2.48E-04	6.69E-04	2.09E-02
9.84	0.17	3.50	-2.11E-01	-1.49E-02	2.45E-02	1.36E-01	9.84E-02	1.24E-01	2.82E-04	2.82E-04	1.28E-03	2.18E-02
9.84	0.25	3.50	-1.99E-01	-2.12E-02	1.46E-02	1.38E-01	1.00E-01	1.18E-01	-1.42E-03	-1.42E-03	3.19E-04	2.15E-02
9.84	0.33	3.50	-2.26E-01	-1.69E-02	3.96E-04	1.29E-01	9.37E-02	1.20E-01	-1.43E-03	-1.43E-03	4.30E-04	1.99E-02
9.84	0.42	3.50	-2.57E-01	-2.41E-02	-4.90E-03	1.24E-01	9.01E-02	1.14E-01	-6.53E-04	-6.53E-04	8.81E-04	1.83E-02
9.84	0.50	3.50	-2.67E-01	-2.55E-02	-1.18E-02	1.24E-01	9.02E-02	1.16E-01	-2.86E-04	-2.86E-04	7.02E-04	1.84E-02
10.93	0.03	3.50	-1.57E-01	1.05E-02	1.97E-02	1.58E-01	8.98E-02	1.30E-01	-2.22E-03	-2.22E-03	3.82E-04	2.48E-02
10.93	0.08	3.50	-1.71E-01	-3.96E-03	2.26E-02	1.42E-01	9.72E-02	1.33E-01	1.06E-04	1.06E-04	1.29E-03	2.36E-02
10.93	0.17	3.50	-1.69E-01	-1.24E-02	1.16E-02	1.50E-01	1.04E-01	1.46E-01	8.24E-04	8.24E-04	1.23E-03	2.73E-02
10.93	0.25	3.50	-1.80E-01	-1.45E-02	8.83E-03	1.42E-01	1.01E-01	1.29E-01	-9.48E-04	-9.48E-04	8.87E-04	2.34E-02
10.93	0.33	3.50	-2.09E-01	-1.37E-02	1.14E-03	1.39E-01	9.67E-02	1.28E-01	-2.02E-03	-2.02E-03	7.00E-04	2.26E-02
10.93	0.42	3.50	-2.57E-01	-2.77E-02	9.28E-04	1.22E-01	9.27E-02	1.20E-01	-1.35E-03	-1.35E-03	9.65E-04	1.89E-02
10.93	0.50	3.50	-2.49E-01	-2.71E-02	-1.36E-02	1.53E-01	1.25E-01	1.82E-01	9.82E-04	9.82E-04	3.75E-03	3.60E-02

 $\begin{array}{lll} & \text{Fr}_1[\text{-}]= & 3.0 & \text{(Froude de Ingreso)} \\ & \text{S [-]=} & 0.24 & \text{(Sumergencia)} \\ & \text{d}_1[\text{m}]= & 0.060 & \text{(Apertura)} \\ & \text{W [m]=} & 0.60 & \text{(Ancho del canal)} \\ & \text{h}_1[\text{m}]= & 0.037 & \text{(Sección contraída)} \\ & \text{U}_1[\text{m/s}]= & 1.79 & \text{(Velocidacidad de ingreso al resalto)} \end{array}$

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
2.73	0.50	0.41	9.79E-01	-2.80E-02	-1.32E-02	2.76E-02	2.71E-02	2.36E-02	-1.74E-05	1.08E-05	-1.99E-05	1.03E-03
2.73	0.50	0.55	9.81E-01	-3.16E-02	-1.40E-02	2.93E-02	2.95E-02	3.21E-02	-2.84E-05	5.98E-05	1.48E-06	1.38E-03
2.73	0.50	0.82	8.94E-01	-4.22E-02	-3.07E-03	6.97E-02	4.44E-02	7.03E-02	-2.27E-04	2.66E-03	-1.55E-04	5.89E-03
2.73	0.50	1.09	3.66E-01	-1.04E-02	-1.98E-02	1.61E-01	1.06E-01	1.02E-01	-2.13E-03	1.12E-02	-9.14E-04	2.38E-02
2.73	0.50	1.37	1.94E-03	6.14E-03	-4.84E-02	1.01E-01	8.49E-02	6.57E-02	-4.31E-04	2.48E-03	-4.35E-04	1.09E-02
2.73	0.50	1.64	-6.97E-02	2.63E-03	-4.68E-02	1.07E-01	8.99E-02	5.50E-02	1.25E-04	1.59E-03	1.79E-04	1.12E-02
2.73	0.50	1.91	-6.58E-02	6.31E-03	-3.82E-02	9.75E-02	6.59E-02	7.59E-02	-4.43E-04	2.01E-03	-3.84E-05	9.81E-03
2.73	0.50	2.46	-9.63E-02	1.28E-02	-1.62E-02	9.89E-02	6.03E-02	7.16E-02	-2.08E-04	3.80E-04	2.31E-04	9.27E-03
2.73	0.50	3.01	-7.70E-02	8.60E-03	2.67E-02	7.59E-02	4.92E-02	2.20E-01	-3.46E-04	8.39E-04	8.87E-04	2.83E-02
5.46	0.50	0.41	9.82E-01	-2.73E-02	-4.84E-03	8.74E-02	5.77E-02	5.40E-02	-4.36E-05	2.20E-04	-1.10E-05	6.95E-03
5.46	0.50	0.55	9.63E-01	-2.82E-02	6.52E-03	1.00E-01	7.01E-02	6.94E-02	-9.76E-04	6.07E-04	5.76E-05	9.89E-03
5.46	0.50	0.82	7.97E-01	-3.09E-02	9.78E-03	1.56E-01	1.15E-01	1.25E-01	-1.60E-03	8.60E-03	-7.25E-04	2.66E-02
5.46	0.50	1.09	5.05E-01	-1.86E-02	2.39E-03	2.07E-01	1.57E-01	1.52E-01	-2.60E-03	1.65E-02	-1.26E-03	4.53E-02
5.46	0.50	1.37	2.33E-01	-8.93E-03	-9.92E-03	2.06E-01	1.58E-01	1.46E-01	-2.23E-03	1.43E-02	-9.85E-04	4.43E-02
5.46	0.50	1.61	1.82E-02	-8.00E-03	-1.46E-02	1.60E-01	1.14E-01	1.06E-01	-3.17E-04	7.01E-03	-3.44E-04	2.49E-02
5.46	0.50	1.91	-4.89E-02	1.05E-02	-2.40E-02	1.71E-01	1.09E-01	1.76E-01	-1.72E-03	1.08E-02	1.96E-03	3.60E-02
5.46	0.50	2.46	-2.23E-01	1.71E-02	-3.55E-02	1.27E-01	7.48E-02	1.72E-01	-5.30E-04	3.96E-03	2.30E-03	2.57E-02
5.46	0.50	3.01	-1.30E-01	1.56E-02	-5.25E-02	1.09E-01	5.51E-02	2.96E-01	-1.40E-03	6.07E-03	2.70E-03	5.13E-02
5.46	0.50	0.00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
5.46	0.50	0.00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
5.46	0.50	0.00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
5.46	0.50	0.00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
8.20	0.50	0.41	9.18E-01	-2.22E-02	1.22E-02	1.08E-01	8.25E-02	6.70E-02	-3.69E-04	1.86E-03	-1.74E-04	1.15E-02
8.20	0.50	0.55	8.77E-01	-2.54E-02	2.31E-02	1.23E-01	8.88E-02	9.01E-02	-4.98E-04	3.59E-03	-1.39E-04	1.56E-02
8.20	0.50	0.82	7.28E-01	-2.05E-02	2.37E-02	1.85E-01	1.41E-01	1.32E-01	-1.63E-03	1.07E-02	-5.66E-04	3.57E-02
8.20	0.50	1.09	5.45E-01	-1.83E-02	2.65E-02	2.27E-01	1.67E-01	1.59E-01	-1.55E-03	1.75E-02	-8.17E-04	5.24E-02
8.20	0.50	1.34	3.01E-01	-8.47E-03	1.63E-02	2.36E-01	1.91E-01	1.67E-01	-2.88E-03	1.87E-02	-6.23E-04	6.00E-02
8.20	0.50	1.64	1.21E-01	-5.57E-03	8.04E-03	2.06E-01	1.64E-01	1.49E-01	-8.27E-05	1.69E-02	-2.62E-04	4.58E-02
8.20	0.50	1.89	1.03E-02	-5.04E-03	1.05E-02	1.66E-01	1.36E-01	1.21E-01	2.99E-05	9.66E-03	-5.31E-04	3.03E-02
8.20	0.50	2.19	-4.98E-02	9.83E-03	-1.32E-02	1.74E-01	1.23E-01	1.83E-01	-9.03E-04	1.33E-02	2.69E-03	3.95E-02
8.20	0.50	2.73	-2.18E-01	1.77E-02	-5.54E-02	1.28E-01	8.47E-02	1.98E-01	-6.64E-04	6.81E-03	2.68E-03	3.13E-02
8.20	0.50	3.28	-1.32E-01	2.75E-02	-5.68E-02	1.11E-01	6.36E-02	2.91E-01	-1.03E-03	7.55E-03	3.01E-03	5.06E-02
10.93	0.50	0.38	8.24E-01	-2.22E-02	2.33E-02	1.37E-01	9.75E-02	8.24E-02	-4.42E-04	3.21E-03	-2.92E-04	1.76E-02
10.93	0.50	0.52	8.22E-01	-2.34E-02	3.41E-02	1.36E-01	9.51E-02	9.10E-02	-1.66E-04	4.05E-03	-2.69E-04	1.79E-02
10.93	0.50	0.82	6.93E-01	-2.09E-02	3.42E-02	1.98E-01	1.37E-01	1.28E-01	-2.32E-03	1.11E-02	-9.43E-04	3.71E-02
10.93	0.50	1.09	5.51E-01	-1.21E-02	4.08E-02	2.23E-01	1.67E-01	1.54E-01	-1.51E-03	1.45E-02	-7.09E-04	5.06E-02
10.93	0.50	1.37	3.25E-01	-5.54E-03	2.39E-02	2.26E-01	1.79E-01	1.63E-01	-1.45E-03	1.84E-02	-1.22E-03	5.47E-02
10.93	0.50	1.67	2.05E-01	-6.23E-03	2.21E-02	2.17E-01	1.72E-01	1.53E-01	-1.19E-03	1.73E-02	-5.71E-04	5.00E-02
10.93	0.50	1.91	1.05E-01	-8.35E-03	1.56E-02	2.01E-01	1.57E-01	1.41E-01	-1.34E-03	1.58E-02	-1.01E-03	4.25E-02
10.93	0.50	2.19	1.56E-03	-2.90E-03	9.12E-03	1.66E-01	1.37E-01	1.21E-01	-3.28E-04	9.73E-03	1.36E-05	3.05E-02
10.93	0.50	2.46	-1.84E-02	5.95E-03	5.25E-03	1.71E-01	1.22E-01	1.73E-01	-4.50E-04	1.30E-02	2.14E-03	3.69E-02
10.93	0.50	3.01	-1.59E-01	1.82E-02	-3.54E-02	1.28E-01	9.11E-02	1.64E-01	-6.98E-04	7.57E-03	2.56E-03	2.57E-02
10.93	0.50	3.55	-1.76E-01	4.90E-03	1.19E-01	1.17E-01	8.38E-02	5.43E-01	3.79E-03	1.16E-02	1.16E-02	1.58E-01
10.93	0.50	0.00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
10.93	0.50	0.00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
0.00	0.00	0.00	0.00L+00	0.001700	0.001.700	0.00L+00	0.001.700	0.001.700	0.001	U.UUL+00	0.00E+00	U.UULTUU

 $\begin{array}{lll} & & & & & \\ & & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\$

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
13.66	0.50	0.41	7.01E-01	-2.10E-02	2.10E-02	1.70E-01	1.08E-01	9.22E-02	-8.35E-05	2.97E-03	2.08E-05	2.45E-02
13.66	0.50	0.57	6.80E-01	-2.34E-02	2.46E-02	1.79E-01	1.09E-01	1.09E-01	-5.26E-04	6.35E-03	-4.27E-04	2.79E-02
13.66	0.50	0.82	6.19E-01	-2.32E-02	3.60E-02	2,00E-01	1.36E-01	1.26E-01	-3.53E-04	9.63E-03	-3.67E-04	3.70E-02
13.66	0.50	1.09	4.94E-01	-9.72E-03	3.92E-02	2.18E-01	1.57E-01	1.41E-01	-1.26E-03	1.37E-02	-5.15E-04	4.61E-02
13.66	0.50	1.37	3.98E-01	-1.97E-02	3.41E-02	2.21E-01	1.73E-01	1.50E-01	-2.26E-03	1.65E-02	-1.42E-03	5.07E-02
13.66	0.50	1.67	3.07E-01	-1.32E-02	3.59E-02	2.18E-01	1.67E-01	1.50E-01	-1.50E-03	1.68E-02	-7.90E-04	4.90E-02
13.66	0.50	1.91	1.67E-01	-1.37E-02	2.78E-02	1.93E-01	1.53E-01	1.36E-01	-3.18E-04	1.48E-02	-2.35E-04	3.95E-02
13.66	0.50	2.19	8.96E-02	-5.72E-03	2.28E-02	1.89E-01	1.50E-01	1.32E-01	-1.87E-03	1.39E-02	-7.52E-04	3.78E-02
13.66	0.50	2.46	2.51E-02	-5.61E-03	2.20E-02	1.54E-01	1.25E-01	1.12E-01	-5.92E-04	8.43E-03	-4.05E-04	2.59E-02
13.66	0.50	2.73	1.96E-02	4.67E-03	1.80E-02	1.63E-01	1.18E-01	1.62E-01	-8.54E-04	1.13E-02	1.39E-03	3.34E-02
13.66	0.50	3.28	-1.13E-01	8.64E-03	-1.63E-02	1.25E-01	9.10E-02	1.46E-01	-7.78E-04	7.34E-03	1.41E-03	2.25E-02
13.66	0.50	3.83	-1.22E-01	2.35E-02	-6.59E-02	8.51E-02	6.57E-02	1.81E-01	-3.12E-04	6.14E-03	1.91E-03	2.22E-02
16.39	0.50	0.46	5.66E-01	-1.90E-02	8.66E-03	1.83E-01	1.12E-01	9.88E-02	-2.10E-04	2.98E-03	-2.56E-04	2.79E-02
16.39	0.50	0.63	6.21E-01	-3.33E-02	-6.89E-03	2.17E-01	1.18E-01	1.18E-01	-3.13E-03	-2.19E-03	8.06E-04	3.76E-02
16.39	0.50	0.82	4.80E-01	-1.89E-02	2.54E-02	2.07E-01	1.36E-01	1.19E-01	-7.07E-04	9.34E-03	-5.32E-04	3.78E-02
16.39	0.50	1.09	4.12E-01	-3.02E-02	3.05E-02	2.02E-01	1.44E-01	1.30E-01	-5.40E-05	1.03E-02	-5.44E-05	3.93E-02
16.39	0.50	1.37	3.47E-01	-1.31E-02	3.22E-02	1.97E-01	1.49E-01	1.34E-01	-1.98E-03	1.31E-02	-5.59E-04	3.94E-02
16.39	0.50	1.64	2.96E-01	-1.61E-02	3.37E-02	1.95E-01	1.48E-01	1.32E-01	-2.77E-04	1.26E-02	-4.68E-04	3.87E-02
16.39	0.50	1.91	2.14E-01	-1.03E-02	3.49E-02	1.82E-01	1.49E-01	1.25E-01	-8.48E-04	1.18E-02	-1.12E-03	3.55E-02
16.39	0.50	2.19	1.43E-01	-5.09E-03	2.79E-02	1.78E-01	1.38E-01	1.21E-01	-1.35E-04	1.19E-02	-7.73E-04	3.27E-02
16.39	0.50	2.46	7.47E-02	-8.36E-03	2.01E-02	1.68E-01	1.31E-01	1.15E-01	-8.87E-04	1.04E-02	-7.56E-04	2.93E-02
16.39	0.50	2.73	2.47E-02	-4.39E-03	1.77E-02	1.44E-01	1.11E-01	9.87E-02	3.47E-04	7.07E-03	-3.56E-04	2.14E-02
16.39	0.50	3.01	1.36E-02	5.87E-04	1.02E-02	1.42E-01	1.00E-01	1.36E-01	-1.05E-03	7.83E-03	8.24E-04	2.44E-02
16.39	0.50	3.55	-6.80E-02	6.97E-03	-3.26E-03	1.15E-01	8.31E-02	1.24E-01	-8.12E-04	5.35E-03	1.02E-03	1.78E-02
16.39	0.50	4.10	-7.72E-02	1.65E-02	-4.31E-02	7.67E-02	6.19E-02	1.41E-01	-2.83E-04	4.16E-03	1.59E-03	1.47E-02
19.13	0.50	0.41	4.67E-01	-1.32E-02	6.37E-03	1.64E-01	1.18E-01	8.75E-02	-4.44E-05	1.93E-03	-3.88E-05	2.43E-02
19.13	0.50	0.55	4.62E-01	-1.58E-02	1.07E-02	1.72E-01	1.12E-01	9.68E-02	-4.33E-04	2.75E-03	-1.27E-04	2.58E-02
19.13	0.50	0.82	4.29E-01	-1.38E-02	1.95E-02	1.80E-01	1.22E-01	1.04E-01	-6.90E-04	5.11E-03	-1.12E-04	2.90E-02
19.13	0.50	1.09	3.79E-01	-1.99E-02	2.00E-02	1.82E-01	1.25E-01	1.12E-01	-9.57E-04	7.25E-03	-4.19E-04	3.05E-02
19.13	0.50	1.37	3.16E-01	-1.64E-02	2.64E-02	1.77E-01	1.27E-01	1.17E-01	-6.94E-04	8.71E-03	-8.36E-04	3.06E-02
19.13	0.50	1.64	2.88E-01	-1.22E-02	2.80E-02	1.79E-01	1.34E-01	1.12E-01	-2.57E-04	9.36E-03	-4.98E-04	3.14E-02
19.13	0.50	1.91	2.22E-01	-1.10E-02	2.80E-02	1.73E-01	1.29E-01	1.12E-01	-1.22E-03	1.00E-02	-4.91E-04	2.96E-02
19.13	0.50	2.19	1.63E-01	-2.76E-03	2.91E-02	1.59E-01	1.24E-01	1.08E-01	1.55E-04	9.29E-03	-1.96E-04	2.62E-02
19.13	0.50	2.49	1.18E-01	-5.31E-03	2.67E-02	1.54E-01	1.24E-01	1.04E-01	-1.02E-03	7.96E-03	-4.14E-04	2.49E-02
19.13	0.50	2.73	8.79E-02	2.46E-04	2.25E-02	1.45E-01	1.19E-01	1.01E-01	4.26E-04	7.07E-03	-2.05E-04	2.26E-02
19.13	0.50	3.01	4.69E-02	1.32E-03	1.72E-02	1.22E-01	9.94E-02	8.44E-02	-6.63E-05	5.02E-03	1.69E-04	1.60E-02
19.13	0.50	3.28	4.02E-02	-1.48E-03	1.61E-02	1.17E-01	8.46E-02	1.21E-01	-3.70E-04	5.55E-03	5.91E-04	1.78E-02
19.13	0.50	3.83	-1.62E-02	3.00E-03	3.86E-03	1.03E-01	7.90E-02	1.09E-01	-1.83E-04	4.04E-03	9.37E-04	1.43E-02
19.13	0.50	4.37	-2.85E-02	1.29E-02	-2.28E-02	6.48E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.95E-03	0.00E+00	7.69E-03
21.86	0.50	0.41	3.83E-01	-1.34E-02	6.18E-03	1.49E-01	1.07E-01	7.76E-02	-2.50E-04	1.20E-03	-4.88E-05	1.98E-02
21.86	0.50	0.55	3.85E-01	-1.28E-02	9.12E-03	1.54E-01	1.03E-01	8.23E-02	-1.51E-04	1.84E-03	-1.97E-05	2.05E-02
21.86	0.50	0.74	3.71E-01	-1.26E-02	1.40E-02	1.62E-01	1.10E-01	8.91E-02	-3.22E-04	3.30E-03	-1.72E-04	2.31E-02
21.86	0.50	1.09	3.31E-01	-1.91E-02	2.00E-02	1.58E-01	1.12E-01	9.31E-02	-8.28E-04	4.65E-03	-3.88E-04	2.31E-02
21.86	0.50	1.37	2.98E-01	-1.55E-02	2.26E-02	1.60E-01	1.10E-01	9.80E-02	-3.22E-04	6.19E-03	-2.21E-04	2.36E-02
21.86	0.50	1.64	2.66E-01	-5.27E-03	2.33E-02	1.54E-01	1.14E-01	9.63E-02	-1.23E-04	6.46E-03	1.10E-04	2.31E-02
21.86	0.50	1.91	2.27E-01	-4.86E-03	2.51E-02	1.51E-01	1.14E-01	9.74E-02	2.34E-05	6.79E-03	-2.31E-04	2.27E-02
21.86	0.50	2.19	1.84E-01	-4.62E-03	2.34E-02	1.42E-01	1.11E-01	9.63E-02	-4.92E-05	6.98E-03	-4.10E-05	2.09E-02
21.86	0.50	2.46	1.56E-01	-7.07E-03	2.52E-02	1.42E-01	1.10E-01	9.15E-02	-1.82E-04	6.33E-03	-1.35E-04	2.04E-02
21.86	0.50	2.76	1.19E-01	1.69E-03	2.09E-02	1.33E-01	1.06E-01	9.11E-02	6.97E-05	6.15E-03	-3.02E-04	1.86E-02
21.86	0.50	3.01	8.09E-02	2.02E-03	1.55E-02	1.23E-01	1.07E-01	8.82E-02	3.58E-04	4.77E-03	-3.04E-04	1.72E-02
21.86	0.50	3.55	6.36E-02	-1.11E-03	8.36E-03	1.03E-01	7.81E-02	1.03E-01	-7.40E-04	3.80E-03	4.12E-04	1.37E-02
21.86	0.50	3.83	3.54E-02	5.59E-04	4.73E-03	9.56E-02	7.33E-02	9.66E-02	-2.03E-04	2.75E-03	2.72E-04	1.19E-02

 $Fr_1[-]=$ 3.0 (Froude de Ingreso) S[-]= 0.24 (Sumergencia) $d_1[m]=$ 0.060 (Apertura) W[m]= 0.60 (Ancho del canal) $h_1[m]=$ 0.037 (Sección contraída)

U₁ [m/s]= 1.79 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
27.32	0.50	0.41	2.83E-01	-6.56E-03	-2.62E-03	1.12E-01	9.03E-02	5.39E-02	4.99E-05	4.46E-04	-7.17E-05	1.19E-02
27.32	0.50	0.57	2.91E-01	-1.07E-02	-1.12E-03	1.13E-01	9.08E-02	6.03E-02	3.07E-04	8.83E-04	1.63E-04	1.24E-02
27.32	0.50	0.82	2.88E-01	-8.70E-03	6.36E-03	1.20E-01	8.99E-02	6.82E-02	-6.73E-05	1.78E-03	-1.13E-04	1.36E-02
27.32	0.50	1.07	2.78E-01	-1.07E-02	7.43E-03	1.18E-01	8.91E-02	7.21E-02	-2.98E-04	2.30E-03	-1.03E-04	1.35E-02
27.32	0.50	1.39	2.57E-01	-6.15E-03	6.67E-03	1.18E-01	8.92E-02	7.30E-02	-2.20E-05	2.69E-03	-7.50E-05	1.36E-02
27.32	0.50	1.64	2.46E-01	-6.21E-03	5.40E-03	1.14E-01	9.08E-02	7.48E-02	-5.47E-05	2.89E-03	-8.32E-05	1.34E-02
27.32	0.50	1.91	2.28E-01	-5.39E-03	8.21E-03	1.11E-01	8.46E-02	7.08E-02	-6.31E-05	3.27E-03	-1.87E-04	1.22E-02
27.32	0.50	2.19	2.07E-01	-6.09E-03	9.94E-03	1.08E-01	8.61E-02	7.54E-02	-2.17E-04	3.68E-03	-6.75E-06	1.23E-02
27.32	0.50	2.46	1.92E-01	-4.25E-03	1.28E-02	1.06E-01	8.71E-02	7.21E-02	2.51E-04	3.31E-03	-1.22E-04	1.20E-02
27.32	0.50	2.73	1.59E-01	1.01E-03	5.35E-03	9.92E-02	8.35E-02	6.95E-02	-8.70E-05	2.93E-03	-9.68E-05	1.08E-02
27.32	0.50	3.01	1.51E-01	-2.07E-03	1.24E-02	1.02E-01	8.20E-02	6.99E-02	-2.30E-04	3.26E-03	-2.14E-04	1.10E-02
27.32	0.50	3.28	1.34E-01	-1.57E-03	2.52E-03	8.41E-02	7.04E-02	6.18E-02	-7.13E-05	2.03E-03	-7.69E-05	7.92E-03
38.25	0.50	0.41	2.29E-01	-4.30E-03	-2.43E-03	6.75E-02	6.03E-02	3.11E-02	-8.14E-05	2.61E-05	5.08E-05	4.58E-03
38.25	0.50	0.55	2.26E-01	-4.86E-03	-1.70E-03	6.37E-02	5.93E-02	3.39E-02	7.95E-05	2.27E-05	6.10E-05	4.37E-03
38.25	0.50	0.82	2.30E-01	-5.80E-03	-1.95E-03	6.79E-02	5.84E-02	3.94E-02	-6.50E-05	1.67E-04	6.23E-05	4.79E-03
38.25	0.50	1.09	2.35E-01	-7.93E-03	-1.17E-03	6.97E-02	5.80E-02	4.19E-02	9.16E-05	2.93E-04	-4.32E-05	4.99E-03
38.25	0.50	1.37	2.29E-01	-6.86E-03	-1.18E-03	6.90E-02	5.81E-02	4.37E-02	8.42E-05	4.39E-04	5.32E-05	5.02E-03
38.25	0.50	1.61	2.20E-01	-6.47E-03	-5.63E-04	6.64E-02	5.70E-02	4.66E-02	-6.02E-05	5.65E-04	-1.80E-05	4.91E-03
38.25	0.50	1.91	2.24E-01	-6.81E-03	-2.88E-03	6.75E-02	5.60E-02	4.75E-02	-4.72E-05	7.43E-04	4.77E-06	4.97E-03
38.25	0.50	2.21	2.13E-01	-5.29E-03	-3.24E-03	6.65E-02	5.53E-02	4.66E-02	-1.89E-05	8.71E-04	-4.64E-05	4.83E-03
38.25	0.50	2.46	2.15E-01	-1.01E-03	-3.12E-03	6.67E-02	5.56E-02	4.84E-02	8.41E-05	8.20E-04	-1.34E-05	4.94E-03
38.25	0.50	2.73	2.08E-01	-2.81E-03	-4.80E-03	6.63E-02	5.52E-02	4.83E-02	-4.44E-05	7.36E-04	-4.85E-05	4.89E-03
38.25	0.50	3.01	1.98E-01	1.21E-03	-1.14E-03	6.14E-02	5.41E-02	4.77E-02	1.00E-04	6.28E-04	5.48E-05	4.49E-03
38.25	0.50	3.28	2.02E-01	-1.23E-03	-4.64E-03	6.11E-02	5.42E-02	4.76E-02	5.81E-05	7.99E-04	-1.76E-05	4.47E-03
49.18	0.50	0.41	2.07E-01	-5.38E-03	-4.09E-03	4.27E-02	4.12E-02	2.09E-02	-7.86E-05	-7.04E-05	2.10E-05	1.98E-03
49.18	0.50	0.55	2,14E-01	-6.20E-03	-3.92E-03	4.25E-02	4.14E-02	2.30E-02	-1.30E-05	-4.21E-05	3.52E-05	2.02E-03
49.18	0.50	0.82	2.22E-01	-7.66E-03	-6.11E-03	4.73E-02	4.33E-02	2.77E-02	-7.65E-06	2.73E-05	3.71E-06	2.44E-03
49.18	0.50	1.09	2.18E-01	-6.83E-03	-4.54E-03	4.62E-02	4.04E-02	3.02E-02	-3.21E-05	3.14E-05	1.53E-05	2.34E-03
49.18	0.50	1.37	2.20E-01	-6.10E-03	-3.63E-03	4.47E-02	4.03E-02	3.21E-02	5.75E-06	4.43E-05	6.78E-06	2.33E-03
49.18	0.50	1.64	2.23E-01	-6.88E-03	-2.08E-03	4.59E-02	3.99E-02	3.21E-02	-2.09E-06	1.36E-04	5.09E-05	2.36E-03
49.18	0.50	1.91	2.21E-01	-7.45E-03	-3.80E-03	4.53E-02	3.91E-02	3.30E-02	-8.50E-05	1.85E-04	-4.79E-06	2.33E-03
49.18	0.50	2.19	2.19E-01	-4.95E-03	-3.42E-03	4.38E-02	3.92E-02	3.31E-02	-3.89E-05	1.39E-04	-5.58E-05	2.28E-03
49.18	0.50	2.49	2.21E-01	-6.01E-03	-5.10E-03	4.46E-02	3.90E-02	3.41E-02	-4.49E-05	1.12E-04	6.71E-06	2.34E-03
49.18	0.50	2.73	2.20E-01	-3.02E-03	-6.74E-03	4.38E-02	4.09E-02	3.39E-02	-3.65E-05	9.97E-05	5.07E-06	2.37E-03
49.18	0.50	3.03	2.17E-01	-2.83E-03	-5.01E-03	4.25E-02	3.91E-02	3.44E-02	-7.41E-05	1.35E-04	3.48E-05	2.26E-03
49.18	0.50	3.28	2.16E-01	-2.35E-03	-5.37E-03	4.31E-02	4.10E-02	3.37E-02	-5.03E-05	1.36E-04	2.70E-05	2.34E-03
79.23	0.50	0.41	2.03E-01	-4.07E-03	-3.27E-03	2.47E-02	2.70E-02	1.25E-02	-7.28E-05	-8.13E-05	1.42E-05	7.45E-04
79.23	0.50	0.57	2.06E-01	-6.13E-03	-3.99E-03	2.43E-02	2.49E-02	1.32E-02	-3.94E-05	-8.32E-05	6.58E-06	6.93E-04
79.23	0.50	0.82	2.12E-01	-6.88E-03	-4.41E-03	2.30E-02	2.19E-02	1.36E-02	-2.37E-05	-7.54E-05	2.80E-07	5.97E-04
79.23	0.50	1.09	2.13E-01	-7.01E-03	-3.49E-03	2.55E-02	2.47E-02	1.60E-02	-3.86E-05	-9.26E-05	-3.41E-06	7.60E-04
79.23	0.50	1.34	2.18E-01	-6.07E-03	-4.38E-03	2.68E-02	2.49E-02	1.73E-02	-5.93E-05	-1.11E-04	-4.91E-07	8.16E-04
79.23	0.50	1.67	2.20E-01	-5.92E-03	-4.17E-03	2.59E-02	2.54E-02	1.76E-02	-7.92E-05	-9.46E-05	1.40E-05	8.14E-04
79.23	0.50	1.94	2.21E-01	-6.24E-03	-4.68E-03	2.47E-02	2.42E-02	1.75E-02	-2.76E-05	-7.40E-05	-1.30E-06	7.51E-04
79.23	0.50	2.19	2.22E-01	-5.23E-03	-4.79E-03	2.47E-02	2.42E-02	1.85E-02	-1.70E-05	-8.31E-05	1.07E-05	7.67E-04
79.23	0.50	2.49	2.23E-01	-5.49E-03	-5.10E-03	2.38E-02	2.32E-02	1.86E-02	-2.14E-05	-7.95E-05	-4.06E-06	7.27E-04
79.23	0.50	2.73	2.25E-01	-4.99E-03	-6.95E-03	2.48E-02	2.48E-02	1.92E-02	-6.54E-05	-7.49E-05	1.87E-05	8.00E-04
79.23	0.50	3.03	2.25E-01	-2.75E-03	-4.54E-03	2.52E-02	2.32E-02	1.90E-02	-3.27E-05	-4.11E-05	-5.73E-06	7.68E-04
79.23	0.50	3.28	2.26E-01	-3.08E-03	-5.70E-03	2.54E-02	2.51E-02	1.94E-02	-7.02E-05	-5.87E-05	-7.74E-06	8.25E-04

Fr₁[-]= 4.0 (Froude de Ingreso)

S [-]= 0.2 (Sumergencia)

d₁ [m]= 0.050 (Apertura)

W [m] = 0.60 (Ancho del canal) $h_1 [m] = 0.031$ (Sección contraída)

U₁[m/s]= 2.19 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
2.13	0.50	0.66	9.55E-01	-2.21E-02	-2.11E-02	3.82E-02	4.58E-02	3.42E-02	1.07E-03	6.71E-04	5.18E-04	2.36E-0
2.13	0.50	0.98	5.21E-01	-7.20E-03	-2.20E-02	1.05E-01	5.55E-02	9.17E-02	-2.35E-03	1.27E-02	-7.25E-04	1.12E-0
2.13	0.50	1.31	4.03E-03	5.60E-03	-4.04E-02	7.39E-02	6.76E-02	4.46E-02	-2.59E-04	1.26E-03	-7.08E-05	6.01E-0
3.28	0.50	0.69	9.51E-01	-3.60E-02	3.43E-03	4.72E-02	3.43E-02	5.09E-02	-3.08E-04	3.81E-04	-7.05E-05	3.00E-0
3.28	0.50	1.02	5.41E-01	-1.50E-02	-8.43E-03	1.52E-01	5.38E-02	1.16E-01	-2.65E-03	1.44E-02	-1.31E-03	1.97E-0
3.28	0.50	1.34	9.40E-02	3.43E-03	-3.86E-02	1.06E-01	7.97E-02	7.06E-02	-2.81E-04	3.94E-03	-1.13E-04	1.13E-0
3.28	0.50	1.64	-3.99E-02	1.08E-02	-5.09E-02	8.73E-02	7.29E-02	5.32E-02	-1.27E-04	1.55E-03	-9.77E-05	7.88E-0
3.28	0.50	1.97	-7.23E-02	7.02E-03	-4.91E-02	8.59E-02	6.60E-02	4.44E-02	-8.26E-06	1.19E-03	4.52E-05	6.85E-0
3.28	0.50	2.20	-7.54E-02	5.19E-03	-3.98E-02	8.84E-02	6.41E-02	4.19E-02	-1.97E-04	8.74E-04	-8.62E-05	6.84E-0
3.28	0.50	2.79	-8.83E-02	1.43E-02	-3.65E-02	9.27E-02	5.55E-02	6.20E-02	8.84E-05	7.28E-04	1.82E-04	7.76E-0
3.28	0.50	3.28	-8.51E-02	1.18E-02	-1.83E-02	9.53E-02	5.24E-02	6.20E-02	-9.75E-05	1.81E-04	1.48E-04	7.84E-0
3.28	0.50	3.61	-7.73E-02	1.52E-02	6.76E-03	8.10E-02	5.08E-02	9.89E-02	-1.01E-04	1.90E-05	1.05E-03	9.47E-0
6.56	0.50	0.49	9.49E-01	-3.82E-02	2.72E-03	7.82E-02	5.48E-02	5.94E-02	-5.53E-06	6.15E-04	2.97E-05	6.32E-0
6.56	0.50	0.66	8.91E-01	-3.36E-02	5.16E-03	1.01E-01	5.94E-02	9.23E-02	-4.10E-04	3.37E-03	-1.22E-04	1.11E-0
6.56	0.50	0.98	6.10E-01	-1.93E-02	-1.50E-04	1.64E-01	1.08E-01	1.39E-01	-1.75E-03	1.37E-02	-6.16E-04	2.89E-0
6.56	0.50	1.31	3.24E-01	-5.04E-03	-1.02E-02	1.83E-01	1.27E-01	1.32E-01	-1.88E-03	1.31E-02	-6.28E-04	3.36E-0
6.56	0.50	1.64	8.30E-02	2.73E-03	-2.86E-02	1.61E-01	1.11E-01	1.04E-01	-8.10E-04	8.02E-03	-2.97E-04	2.46E-0
6.56	0.50	1.97	-3.22E-02	3.50E-03	-3.30E-02	1.27E-01	9.39E-02	8.04E-02	3.47E-05	4.22E-03	-1.47E-05	1.57E-0
6.56	0.50	2.46	-9.30E-02	1.81E-02	-3.83E-02	1.29E-01	8.18E-02	1.25E-01	-8.19E-04	4.98E-03	1.28E-03	1.94E-0
6.56	0.50	2.95	-1.81E-01	1.59E-02	-2.14E-02	1.22E-01	6.77E-02	1.13E-01	-6.77E-04	2.72E-03	8.89E-04	1.60E-0
6.56	0.50	3.61	-1.60E-01	2.79E-02	-3.63E-02	1.05E-01	5.52E-02	2.42E-01	-7.53E-04	1.31E-03	2.42E-03	3.63E-0
9.84	0.50	0.49	8.84E-01	-1.28E-02	9.24E-03	1.17E-01	8.33E-02	7.81E-02	-4.02E-04	2.90E-03	1.92E-05	1.33E-0
9.84	0.50	0.66	8.18E-01	-1.17E-02	1.46E-02	1.44E-01	9.02E-02	1.02E-01	-9.61E-04	5.87E-03	-2.10E-04	1.96E-0
9.84	0.50	0.98	6.31E-01	-3.29E-04	1.70E-02	1.93E-01	1.30E-01	1.35E-01	-1.94E-03	1.28E-02	-2.69E-04	3.61E-0
9.84	0.50	1.31	4.37E-01	3.13E-03	1.51E-02	2.17E-01	1.50E-01	1.49E-01	-2.70E-03	1.59E-02	-3.96E-04	4.58E-0
9.84	0.50	1.64	2.10E-01	2.52E-03	3.74E-04	2.03E-01	1.50E-01	1.35E-01	-1.63E-04	1.28E-02	6.08E-04	4.11E-0
9.84	0.50	1.97	5.67E-02	4.10E-04	-6.17E-03	1.76E-01	1.33E-01	1.17E-01	-6.78E-04	1.08E-02	-1.91E-04	3.10E-0
9.84	0.50	2.46	-1.25E-03	1.67E-02	-1.35E-02	1.64E-01	1.09E-01	1.65E-01	-1.24E-03	1.12E-02	1.82E-03	3.30E-0
9.84	0.50	2.95	-1.42E-01	2.07E-02	-1.68E-02	1.36E-01	9.16E-02	1.43E-01	-1.51E-04	6.47E-03	1.56E-03	2.36E-0
9.84	0.50	3.61	-2.59E-01	2.43E-02	-1.00E-01	9.31E-02	6.33E-02	2.36E-01	1.14E-04	4.65E-03	2.84E-03	3.42E-0
13.11	0.50	0.49	7.57E-01	-7.63E-03	3.11E-02	1.34E-01	8.18E-02	8.76E-02	-7.94E-04	4.55E-03	-2.67E-04	1.61E-(
13.11	0.50	0.69	7.05E-01	-1.42E-02	2.82E-02	1.85E-01	1.19E-01	1.17E-01	-1.34E-03	8.66E-03	1.08E-05	3.10E-0
13.11	0.50	0.98	5.49E-01	9.57E-03	3.58E-02	2.08E-01	1.41E-01	1.36E-01	-1.33E-03	1.36E-02	-2.04E-04	4.07E-0
13.11	0.50	1.28	4.13E-01	1.99E-03	3.10E-02	2.18E-01	1.50E-01	1.43E-01	-1.08E-03	1.55E-02	4.81E-05	4.52E-0
13.11	0.50	1.64	2.75E-01	5.35E-03	1.85E-02	1.97E-01	1.66E-01	1.37E-01	-6.90E-04	1.33E-02	-3.56E-05	4.26E-0
13.11	0.50	1.97	1.58E-01	6.78E-03	1.29E-02	1.96E-01	1.43E-01	1.32E-01	-2.17E-04	1.44E-02	3.64E-04	3.82E-0
13.11	0.50	2.30	4.56E-02	5.50E-04	3.75E-03	1.71E-01	1.29E-01	1.21E-01	-3.63E-04	1.11E-02	-1.09E-04	3.04E-0
13.11	0.50	2.62	-2.80E-02	-2.33E-03	1.04E-03	1.67E-01	1.31E-01	1.25E-01	-3.17E-04	1.00E-02	-1.38E-04	3.03E-0
13.11	0.50	2.95	-4.96E-02	1.25E-02	-1.12E-02	1.53E-01	1.05E-01	1.52E-01	-2.43E-04	9.69E-03	1.57E-03	2.88E-0
13.11	0.50	3.28	-1.28E-01	1.44E-02	-1.68E-02	1.34E-01	9.08E-02	1.31E-01	-2.76E-04	6.72E-03	1.34E-03	2.17E-0
13.11	0.50	3.93	-2.35E-01	1.55E-02	-9.00E-02	8.97E-02	6.65E-02	1.98E-01	-2.03E-04	4.75E-03	2.29E-03	2.58E-0
16.39	0.50	0.49	6.67E-01	-4.77E-03	3.46E-02	1.78E-01	1.04E-01	9.87E-02	-3.94E-04	5.85E-03	-1.56E-04	2.61E-0
16.39	0.50	0.69	6.11E-01	-3.15E-02	2.42E-02	2.14E-01	1.27E-01	1.25E-01	-4.42E-03	6.17E-03	-1.55E-03	3.88E-0
16.39	0.50	0.98	5.26E-01	6.88E-03	3.34E-02	2.07E-01	1.33E-01	1.29E-01	-1.11E-03	1.17E-02	-2.08E-04	3.86E-0
16.39	0.50	1.31	4.06E-01	2.86E-03	3.24E-02	2.07E-01 2.09E-01	1.46E-01	1.37E-01	-6.59E-04	1.33E-02	1.43E-04	4.20E-0
16.39	0.50	1.64	2.87E-01	3.07E-03	2.35E-02	1.93E-01	1.46E-01 1.57E-01	1.37E-01	-9.60E-04	1.35E-02	-3.59E-04	4.20E-0
16.39	0.50	1.97	1.91E-01	9.18E-04	2.33E-02 2.31E-02	1.93E-01	1.41E-01	1.30E-01	-2.05E-04	1.32E-02	6.73E-04	3.68E-0
16.39	0.50	2.30	1.02E-01	5.81E-03	1.34E-02	1.76E-01	1.41E-01 1.29E-01	1.22E-01	-6.01E-04	1.32E-02	-1.37E-04	3.12E-0
16.39	0.50	2.62	2.15E-02	7.82E-04	8.43E-03	1.70E-01	1.29E-01 1.28E-01	1.16E-01	7.65E-04	1.09E-02	2.26E-04	2.93E-
16.39	BEA 45-2-KI	The Arthur State of the State o	TENDRY KUSTURKE	Transport of the San A	\$500 ALC: NOS-WYSEN	THE SHALL SANDERS AND IN	100°0°00000000000000000000000000000000	Unitable Pluminosts	DECKARDO WAVE		In Programme of the Section 2015	13 40 00 Po - 25 Carlo La
	0.50	2.79	7.21E-02	1.13E-02	1.15E-02	1.63E-01	1.15E-01	1.61E-01	-1.70E-03	1.26E-02	4.96E-04	3.28E-0
16.39 16.39	0.50 0.50	3.61	-1.02E-01	9.78E-03	-6.98E-03	1.30E-01	9.35E-02	1.32E-01	-3.41E-04	6.68E-03	1.31E-03	2.15E-0
10.39	0.50	4.26	-2.05E-01	1.35E-02	-6.55E-02	8.56E-02	6.78E-02	1.58E-01	-9.92E-05	4.52E-03	1.71E-03	1.85E-

 $Fr_1[-]=$ 4.0 (Froude de Ingreso) S [-]= 0.2 (Sumergencia)

d₁ [m]= 0.050 (Apertura)

W [m]= 0.60 (Ancho del canal) h₁ [m]= 0.031 (Sección contraída)

U₁ [m/s]= 2.19 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overrightarrow{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
19.67	0.50	0.49	5.71E-01	-4.97E-03	1.37E-02	1.75E-01	1.05E-01	8.76E-02	-3.98E-04	3.54E-03	-1.48E-04	2.47E-0
19.67	0.50	0.66	5.63E-01	-5.84E-03	2.03E-02	1.83E-01	1.07E-01	1.04E-01	-1.61E-03	5.64E-03	-7.66E-04	2.79E-0
19.67	0.50	0.98	4.49E-01	8.34E-03	2.69E-02	1.98E-01	1.24E-01	1.15E-01	-2.30E-04	9.02E-03	2.44E-04	3.38E-0
19.67	0.50	1.31	3.89E-01	1.18E-03	2.90E-02	2.02E-01	1.35E-01	1.26E-01	-9.80E-04	1.14E-02	-1.81E-04	3.74E-0
19.67	0.50	1.64	3.00E-01	-1.56E-03	2.72E-02	1.92E-01	1.36E-01	1.24E-01	-3.60E-04	1.09E-02	-9.84E-05	3.55E-0
19.67	0.50	1.97	2.28E-01	-1.06E-03	2.77E-02	1.85E-01	1.37E-01	1.25E-01	-8.31E-04	1.16E-02	-5.75E-05	3.43E-0
19.67	0.50	2.30	1.55E-01	2.65E-03	2.22E-02	1.71E-01	1.26E-01	1.15E-01	-1.90E-05	1.12E-02	-2.99E-04	2.91E-0
19.67	0.50	2.62	8.01E-02	4.98E-03	1.68E-02	1.62E-01	1.24E-01	1.11E-01	-7.43E-04	9.55E-03	1.63E-04	2.70E-0
19.67	0.50	2.95	1.09E-02	3.28E-03	8.39E-03	1.61E-01	1.17E-01	1.11E-01	1.15E-03	9.95E-03	7.03E-04	2.60E-0
19.67	0.50	3.44	1.10E-02	8.53E-03	8.63E-03	1.42E-01	1.01E-01	1.38E-01	-8.87E-04	8.11E-03	9.44E-04	2.46E-0
19.67	0.50	3.93	-6.48E-02	8.69E-03	-1.23E-03	1.23E-01	9.11E-02	1.23E-01	-7.37E-04	6.20E-03	8.79E-04	1.92E-0
19.67	0.50	4.59	-1.59E-01	7.50E-03	-4.47E-02	8.65E-02	6.62E-02	1.29E-01	-1.73E-04	4.44E-03	1.16E-03	1.42E-0
22.95	0.50	0.49	4.74E-01	-1.13E-02	1.37E-02	1.73E-01	1.06E-01	7.77E-02	-1.10E-03	2.63E-03	-7.34E-06	2.36E-0
22.95	0.50	0.66	4.71E-01	-1.19E-02	1.89E-02	1.76E-01	9.59E-02	9.31E-02	-7.09E-04	3.87E-03	-2.24E-04	2.44E-0
22.95	0.50	0.98	4.20E-01	-5.16E-03	2.20E-02	1.75E-01	1.05E-01	1.00E-01	-8.60E-04	6.09E-03	-3.82E-04	2.58E-0
22.95	0.50	1.31	3.76E-01	-5.43E-05	3.08E-02	1.84E-01	1.15E-01	1.06E-01	-9.50E-04	8.19E-03	-5.54E-04	2.92E-0
22.95	0.50	1.64	3.04E-01	-1.23E-03	2.85E-02	1.70E-01	1.25E-01	1.13E-01	-3.74E-04	8.87E-03	-1.30E-04	2.87E-0
22.95	0.50	1.97	2.54E-01	6.33E-04	3.03E-02	1.79E-01	1.25E-01	1.12E-01	-3.98E-04	9.74E-03	-3.27E-04	3.01E-0
22.95	0.50	2.30	1.94E-01	3.15E-03	2.92E-02	1.69E-01	1.23E-01	1.06E-01	-1.58E-03	9.44E-03	-5.70E-04	2.75E-0
22.95	0.50	2.66	1.40E-01	-3.30E-04	3.13E-02	1.57E-01	1.21E-01	1.05E-01	-4.29E-04	9.30E-03	1.09E-04	2.51E-0
22.95	0.50	2.95	8.82E-02	-2.12E-03	2.31E-02	1.56E-01	1.19E-01	1.03E-01	5.37E-04	8.56E-03	-7.28E-05	2.45E-0
22.95	0.50	3.28	2.05E-02	6.08E-03	8.68E-03	1.41E-01	1.08E-01	9.70E-02	-7.65E-04	7.44E-03	-3.94E-05	2.05E-0
22.95	0.50	3.61	-1.44E-02	-1.62E-03	1.77E-02	1.48E-01	1.14E-01	1.06E-01	-2.31E-04	7.62E-03	1.14E-04	2.30E-0
22.95	0.50	4.10	-5.21E-02	4.05E-03	1.68E-03	1.15E-01	8.28E-02	1.10E-01	-1.08E-04	5.38E-03	5.45E-04	1.61E-0
22.95	0.50	4.59	-8.44E-02	5.01E-03	2.62E-03	9.98E-02	7.11E-02	1.04E-01	-3.75E-04	3.79E-03	5.53E-04	1.29E-0
22.95	0.50	4.92	-1.20E-01	5.85E-03	-2.63E-02	7.82E-02	6.27E-02	1.05E-01	-1.20E-04	3.43E-03	6.57E-04	1.06E-0
26.23	0.50	0.49	3.91E-01	-2.94E-03	1.18E-02	1.55E-01	1.04E-01	6.86E-02	-1.34E-03	1.32E-03	-1.50E-04	1.98E-0
26.23	0.50	0.49	3.96E-01	-1.05E-02	1.47E-02	1.57E-01	9.90E-02	8.08E-02	-9.18E-04	2.75E-03	-1.10E-04	2.05E-0
26.23	0.50	0.98	3.66E-01	-2.81E-03	2.12E-02	1.56E-01	1.03E-01	8.69E-02	-1.00E-03	3.48E-03	-1.10E-04	2.12E-0
26.23	0.50	1.31	3.31E-01	4.14E-04	3.18E-02	1.57E-01	1.08E-01	9.17E-02	-7.63E-04	4.59E-03	-4.77E-05	2.12E-0
	394-17330		THE SECTION OF STREET	1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1			SECTION OF SECTION		250.000.000.000.000.000		- CANCEL TO BE SEE	
26.23	0.50	1.61	2.88E-01	-5.33E-03	2.81E-02	1.62E-01	1.06E-01	1.00E-01	-4.79E-04	6.49E-03	-4.98E-05	2.39E-0
26.23	0.50	1.97	2.40E-01	-1.43E-03	2.78E-02	1.59E-01	1.13E-01	9.69E-02	-6.16E-04	7.04E-03	-6.70E-05	2.37E-0
26.23	0.50	2.30	2.04E-01	2.05E-03	2.91E-02	1.58E-01	1.13E-01	9.56E-02	-4.70E-04	7.37E-03	9.76E-05	2.34E-0
26.23	0.50	2.62	1.52E-01	-3.71E-03	2.72E-02	1.47E-01	1.09E-01	9.37E-02	-1.05E-04	7.22E-03	-1.04E-04	2.11E-0
26.23	0.50	2.95	1.15E-01	5.48E-03	2.86E-02	1.41E-01	1.08E-01	9.46E-02	1.05E-04	7.10E-03	-3.55E-04	2.02E-0
26.23	0.50	3.28	6.75E-02	-1.68E-03	2.24E-02	1.31E-01	1.04E-01	9.28E-02	1.02E-04	6.24E-03	1.59E-04	1.83E-0
26.23	0.50	3.61	3.50E-02	1.03E-03	1.47E-02	1.31E-01	9.98E-02	8.94E-02	5.50E-04	6.05E-03	2.40E-04	1.76E-0
26.23	0.50	3.93	-2.34E-03	3.33E-03	2.17E-02	1.22E-01	9.80E-02	8.91E-02	-4.78E-04	4.75E-03	-1.11E-04	1.62E-0
26.23	0.50	4.43	-2.25E-02	3.18E-03	1.02E-02	1.13E-01	8.04E-02	1.08E-01	-3.40E-05	4.10E-03	3.75E-04	1.54E-0
26.23	0.50	4.92	-5.74E-02	1.53E-03	2.47E-03	8.79E-02	6.42E-02	8.75E-02	-4.84E-04	2.69E-03	1.09E-04	9.76E-0
26.23	0.50	5.25	-7.03E-02	9.98E-03	-1.10E-02	7.35E-02	6.18E-02	9.17E-02	-2.17E-04	2.55E-03	6.81E-04	7.62E-0
29.51	0.50	0.49	3.22E-01	-6.16E-03	1.07E-02	1.36E-01	9.82E-02	6.17E-02	-5.75E-04	1.07E-03	6.21E-05	1.60E-0
29.51	0.50	0.69	3.07E-01	-8.23E-03	1.14E-02	1.39E-01	9.38E-02	7.02E-02	-7.92E-05	1.62E-03	-1.12E-04	1.65E-0
29.51	0.50	0.98	3.01E-01	-7.10E-03	1.74E-02	1.45E-01	9.45E-02	7.70E-02	-6.38E-05	2.78E-03	-4.31E-05	1.79E-0
29.51	0.50	1.31	2.80E-01	-3.42E-04	2.51E-02	1.43E-01	9.45E-02	8.14E-02	-1.53E-04	3.40E-03	1.81E-05	1.80E-0
29.51	0.50	1.64	2.61E-01	-4.80E-03	2.47E-02	1.44E-01	9.42E-02	8.59E-02	-6.08E-04	4.54E-03	-1.01E-04	1.84E-0
29.51	0.50	1.97	2.32E-01	-9.98E-04	2.79E-02	1.38E-01	1.00E-01	8.41E-02	2.24E-04	4.55E-03	1.80E-04	1.81E-0
29.51	0.50	2.30	1.97E-01	-1.02E-03	2.60E-02	1.37E-01	9.84E-02	8.39E-02	-3.06E-04	5.77E-03	-1.17E-04	1.77E-0
29.51	0.50	2.62	1.67E-01	-1.55E-03	2.75E-02	1.37E-01	9.65E-02	8.59E-02	-2.99E-04	5.84E-03	-1.81E-04	1.77E-0
29.51	0.50	2.95	1.26E-01	2.10E-03	2.44E-02	1.31E-01	9.72E-02	8.52E-02	-4.86E-04	5.76E-03	-1.04E-05	1.69E-
29.51	0.50	3.28	9.87E-02	-3.02E-03	2.30E-02	1.20E-01	9.50E-02	8.36E-02	-1.86E-04	4.97E-03	-1.12E-04	1.52E-
29.51	0.50	3.54	7.57E-02	1.61E-03	2.68E-02	1.17E-01	9.22E-02	7.98E-02	2.42E-04	4.41E-03	-2.15E-04	1.43E-
29.51	0.50	3.93	3.92E-02	7.75E-03	2.15E-02	1.09E-01	8.83E-02	7.92E-02	-1.51E-04	4.23E-03	3.62E-05	1.30E-
29.51	0.50	4.59	1.36E-02	2.63E-03	8.85E-03	8.98E-02	6.70E-02	8.93E-02	-9.37E-05	2.99E-03	4.15E-04	1.03E-
29.51	0.50	5.25	-1.14E-02	5.71E-03	3.99E-03	7.79E-02	6.18E-02	7.90E-02	-3.32E-05	2.03E-03	2.86E-04	8.07E-0
29.51	0.50	5.57	-2.42E-02	8.13E-03	-9.59E-03	6.93E-02	5.62E-02	8.01E-02	4.15E-05	1.78E-03	8.11E-04	5.25E-

Fr₁[-]= 4.0 (Froude de Ingreso)

S [-]= 0.2 (Sumergencia) d₁ [m]= 0.050 (Apertura)

W [m]= 0.60 (Ancho del canal)

h₁ [m]= 0.031 (Sección contraída)

U₁ [m/s]= 2.19 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U ₁	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
32.79	0.50	0.49	2.68E-01	-1.66E-03	4.42E-03	1.29E-01	8.96E-02	5.14E-02	4.02E-04	7.51E-04	-3.93E-05	1.36E-02
32.79	0.50	0.66	2.67E-01	-9.34E-03	5.44E-03	1.25E-01	8.36E-02	6.04E-02	-1.47E-04	1.23E-03	4.32E-05	1.32E-02
32.79	0.50	0.98	2.66E-01	-4.47E-03	1.06E-02	1.27E-01	8.72E-02	6.67E-02	-1.37E-04	1.93E-03	-1.33E-04	1.41E-02
32.79	0.50	1.31	2.42E-01	-1.90E-03	1.82E-02	1.28E-01	8.78E-02	7.11E-02	-1.12E-04	2.54E-03	1.75E-04	1.45E-02
32.79	0.50	1.64	2.31E-01	-3.52E-03	1.59E-02	1.25E-01	8.83E-02	7.49E-02	-5.84E-04	3.32E-03	-1.48E-04	1.46E-02
32.79	0.50	1.97	2.17E-01	-1.24E-03	2.20E-02	1.23E-01	9.08E-02	7.70E-02	-2.70E-04	3.47E-03	3.77E-05	1.47E-02
32.79	0.50	2.30	1.82E-01	-1.53E-03	1.62E-02	1.19E-01	8.59E-02	7.59E-02	1.47E-04	4.17E-03	9.65E-05	1.37E-02
32.79	0.50	2.62	1.65E-01	-1.47E-03	2.10E-02	1.21E-01	8.68E-02	7.55E-02	-2.90E-04	4.12E-03	-1.96E-04	1.39E-02
32.79	0.50	2.95	1.38E-01	5.55E-04	1.76E-02	1.15E-01	8.98E-02	7.79E-02	2.68E-04	4.06E-03	-1.15E-04	1.37E-02
32.79	0.50	3.28	1.10E-01	1.20E-03	1.64E-02	1.11E-01	8.44E-02	7.49E-02	1.81E-04	4.16E-03	9.67E-05	1.25E-02
32.79	0.50	3.61	9.33E-02	3.50E-03	1.73E-02	1.03E-01	8.28E-02	7.39E-02	-1.75E-04	3.78E-03	-1.25E-04	1.15E-02
32.79	0.50	3.93	6.61E-02	-5.54E-04	5.14E-03	9.90E-02	8.07E-02	7.36E-02	-1.76E-04	3.19E-03	-6.36E-05	1.09E-02
32.79	0.50	4.26	5.05E-02	9.26E-04	4.88E-03	7.75E-02	6.79E-02	6.13E-02	1.23E-05	1.94E-03	-2.93E-05	7.19E-03
32.79	0.50	4.59	5.73E-02	6.02E-04	8.07E-03	8.57E-02	6.41E-02	7.98E-02	1.67E-04	2.53E-03	2.26E-04	8.92E-03
32.79	0.50	5.25	3.23E-02	5.25E-03	2.29E-03	7.35E-02	6.12E-02	7.29E-02	7.56E-06	1.62E-03	2.42E-04	7.24E-03
32.79	0.50	5.57	2.64E-02	1.02E-02	1.28E-03	6.34E-02	5.45E-02	6.53E-02	2.04E-04	8.90E-04	1.73E-04	5.63E-03
36.07	0.50	0.49	2.35E-01	-3.51E-03	-4.53E-04	1.12E-01	8.61E-02	5.27E-02	-2.10E-04	5.53E-04	1.47E-04	1.13E-02
36.07	0.50	0.66	2.35E-01	4.32E-03	1.39E-03	1.10E-01	7.84E-02	5.49E-02	-2.20E-04	8.31E-04	-3.46E-05	1.06E-02
36.07	0.50	0.98	2.36E-01	-1.21E-03	3.77E-03	1.12E-01	7.98E-02	5.96E-02	1.75E-05	1.51E-03	-6.49E-05	1.12E-02
36.07	0.50	1.31	2.24E-01	-7.43E-04	6.89E-03	1.14E-01	8.05E-02	6.44E-02	-4.13E-04	1.82E-03	1.14E-04	1.18E-02
36.07	0.50	1.64	2.13E-01	-1.63E-03	9.14E-03	1.17E-01	7.86E-02	6.75E-02	1.64E-04	2.66E-03	7.89E-05	1.22E-02
36.07	0.50	1.97	1.97E-01	2.80E-03	1.39E-02	1.09E-01	7.84E-02	6.57E-02	4.62E-04	2.71E-03	1.20E-04	1.11E-02
36.07	0.50	2.30	1.81E-01	2.82E-03	1.52E-02	1.10E-01	8.23E-02	6.81E-02	2.22E-04	3.03E-03	1.50E-04	1.18E-02
36.07	0.50	2.62	1.55E-01	3.77E-03	1.11E-02	1.05E-01	7.96E-02	6.83E-02	2.65E-04	3.30E-03	-1.23E-04	1.10E-02
36.07	0.50	2.95	1.40E-01	2.38E-03	1.10E-02	9.66E-02	7.65E-02	6.81E-02	-1.03E-04	2.79E-03	9.80E-05	9.91E-03
36.07	0.50	3.28	1.12E-01	1.98E-03	6.60E-03	9.15E-02	7.40E-02	6.60E-02	1.87E-04	2.77E-03	-4.53E-05	9.11E-03
36.07	0.50	3.61	1.07E-01	1.54E-03	5.32E-03	9.54E-02	7.65E-02	6.77E-02	-1.47E-04	3.02E-03	-5.75E-06	9.77E-03
36.07	0.50	3.93	9.34E-02	4.76E-03	4.38E-03	8.59E-02	7.18E-02	6.53E-02	-2.79E-05	2.42E-03	-5.76E-05	8.40E-03
36.07	0.50	4.59	9.11E-02	1.21E-03	3.35E-03	7.57E-02	6.04E-02	7.59E-02	1.74E-04	1.95E-03	2.29E-04	7.57E-03
36.07	0.50	5.25	7.04E-02	2.28E-04	-6.32E-04	6.94E-02	6.04E-02	6.84E-02	-1.54E-04	1.24E-03	-8.05E-05	6.57E-03
36.07	0.50	5.57	6.30E-02	1.17E-02	2.58E-04	6.36E-02	5.70E-02	6.00E-02	2.44E-04	6.57E-04	-1.66E-05	4.58E-03
42.62	0.50	0.49	1.87E-01	-2.77E-03	-1.59E-03	8.11E-02	6.58E-02	3.84E-02	2.08E-04	2.43E-04	2.47E-05	6.18E-03
42.62	0.50	0.66	1.87E-01	-2.00E-03	3.36E-04	8.13E-02	6.61E-02	4.04E-02	-1.32E-05	2.39E-04	7.66E-05	6.30E-03
42.62	0.50	0.98	1.92E-01	1.06E-03	2.43E-04	8.11E-02	6.38E-02	4.66E-02	-1.18E-04	5.15E-04	-2.03E-05	6.41E-03
42.62	0.50	1.31	1.85E-01	-3.49E-03	-4.47E-04	8.17E-02	6.16E-02	4.97E-02	2.90E-04	7.99E-04	2.43E-05	6.47E-03
42.62	0.50	1.64	1.84E-01	-8.66E-04	3.41E-03	8.41E-02	6.24E-02	4.98E-02	3.22E-04	9.17E-04	-6.84E-05	6.72E-03
42.62	0.50	1.97	1.75E-01	1.64E-03	5.82E-03	8.12E-02	6.44E-02	5.22E-02	-3.63E-05	1.19E-03	2.59E-05	6.74E-03
42.62	0.50	2.30	1.67E-01	2.59E-03	4.30E-03	8.16E-02	6.19E-02	5.27E-02	5.57E-05	1.28E-03	-2.05E-05	6.63E-03
42.62	0.50	2.62	1.56E-01	2.68E-03	2.32E-03	7.73E-02	6.26E-02	5.39E-02	-7.23E-05	1.51E-03	5.09E-05	6.41E-03
42.62	0.50	2.95	1.55E-01	2.70E-03	3.29E-03	7.83E-02	6.38E-02	5.52E-02	1.14E-04	1.55E-03	-6.66E-05	6.62E-03
42.62	0.50	3.28	1.40E-01	4.26E-03	1.92E-03	7.57E-02	6.11E-02	5.40E-02	1.14E-04	1.49E-03	1.80E-04	6.20E-03
42.62	0.50	3.61	1.39E-01	-8.22E-06	5.17E-03	7.31E-02	6.24E-02	5.75E-02	-1.77E-04	1.46E-03	-1.13E-04	6.27E-03
42.62	0.50	3.93	1.27E-01	1.93E-03	8.97E-04	6.82E-02	5.87E-02	5.73E-02 5.29E-02	-4.26E-05	1.10E-03	-1.03E-04	5.44E-03
42.62	0.50	4.26	1.20E-01	2.44E-03	-9.55E-04	6.54E-02	5.86E-02	5.23E-02	4.10E-05	9.87E-04	3.92E-05	5.22E-03
42.62	0.50	4.59	1.14E-01	3.27E-03	-5.21E-05	6.13E-02	5.74E-02	5.08E-02	7.64E-05	7.02E-04	1.02E-04	4.82E-03
42.02	0.50	4.33	1.146-01	3.276-03	-J.21E-03	U.13E-UZ	3.746-02	J.UGE-UZ	7.046-03	7.02E-04	1.021-04	4.026-03

 $Fr_1[-]=$ 4.0 (Froude de Ingreso) S [-]= 0.2 (Sumergencia)

d₁ [m]= 0.050 (Apertura)

W [m]= 0.60 (Ancho del canal)

h₁ [m]= 0.031 (Sección contraída)

U₁ [m/s]= 2.19 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
49.18	0.50	0.49	1.63E-01	-4.71E-03	-8.47E-04	5.92E-02	5.28E-02	3.02E-02	-1.79E-04	2.13E-05	2.87E-05	3.60E-03
49.18	0.50	0.66	1.61E-01	-3.84E-05	2.51E-04	6.38E-02	5.10E-02	3.28E-02	-2.53E-04	5.26E-05	2.90E-05	3.87E-03
49.18	0.50	0.98	1.70E-01	-1.86E-03	-7.07E-04	6.17E-02	5.25E-02	3.63E-02	-1.13E-04	2.62E-04	-1.96E-05	3.94E-03
49.18	0.50	1.31	1.67E-01	-2.39E-03	-4.89E-05	6.50E-02	5.07E-02	3.80E-02	-6.29E-05	3.11E-04	5.14E-05	4.12E-03
49.18	0.50	1.64	1.65E-01	1.28E-03	-1.86E-04	6.38E-02	5.01E-02	4.01E-02	2.43E-04	4.33E-04	-7.03E-07	4.09E-03
49.18	0.50	1.97	1.67E-01	-1.17E-03	4.08E-04	6.37E-02	5.06E-02	4.21E-02	-3.75E-05	5.31E-04	1.58E-05	4.20E-03
49.18	0.50	2.30	1.63E-01	1.53E-03	1.59E-03	6.07E-02	5.10E-02	4.23E-02	6.10E-06	5.58E-04	-1.27E-05	4.04E-03
49.18	0.50	2.62	1.58E-01	2.11E-03	-6.26E-05	6.13E-02	5.17E-02	4.39E-02	1.01E-04	7.10E-04	1.53E-05	4.18E-03
49.18	0.50	2.95	1.60E-01	4.23E-03	-3.80E-04	6.15E-02	5.05E-02	4.39E-02	-2.10E-04	7.14E-04	4.06E-05	4.13E-03
49.18	0.50	3.28	1.55E-01	1.03E-03	-2.32E-04	5.78E-02	4.92E-02	4.45E-02	8.15E-05	6.48E-04	2.86E-05	3.87E-03
49.18	0.50	3.61	1.52E-01	-2.58E-04	1.73E-03	5.58E-02	4.92E-02	4.48E-02	1.21E-04	6.58E-04	-1.28E-06	3.77E-03
49.18	0.50	3.93	1.52E-01	1.07E-03	-1.24E-03	5.55E-02	4.88E-02	4.48E-02	-3.66E-05	6.44E-04	-1.04E-04	3.73E-03
49.18	0.50	4.26	1.47E-01	2.35E-03	-3.54E-03	5.45E-02	4.89E-02	4.51E-02	3.15E-05	5.72E-04	-4.52E-05	3.70E-03
49.18	0.50	4.59	1.45E-01	4.01E-03	-2.57E-03	5.39E-02	4.85E-02	4.34E-02	9.93E-05	4.41E-04	-2.01E-06	3.57E-03

 $\begin{array}{lll} & & & & & \\ Fr_1[\cdot] = & & 5.0 & (Froude de Ingreso) \\ S [\cdot] = & 0.18 & (Sumergencia) \\ d_1[m] = & 0.037 & (Apertura) \\ W [m] = & 0.60 & (Ancho del canal) \\ h_1[m] = & 0.023 & (Sección contraída) \\ U_1[m/s] = & 2.35 & (Velocidacidad de ingreso al resalto) \end{array}$

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
4.43	0.50	0.66	8.32E-01	-1.67E-02	-1.28E-02	7.81E-02	5.23E-02	9.14E-02	-8.36E-04	5.97E-03	-2.54E-04	5.86E-03
4.43	1.50	0.89	3.32E-01	-1.95E-02	1.57E-02	1.36E-01	9.42E-02	9.00E-02	-2.28E-03	5.81E-03	-1.20E-03	1.77E-02
4.43	2.50	1.33	1.22E-01	3.90E-03	-3.40E-02	1.01E-01	6.53E-02	6.35E-02	-9.76E-04	3.72E-03	-3.00E-04	9.27E-03
4.43	3.50	1.77	-4.07E-02	8.64E-03	-4.38E-02	9.00E-02	6.68E-02	4.55E-02	3.24E-05	1.20E-03	-5.89E-05	7.31E-03
4.43	4.50	2.22	-7.74E-02	5.16E-03	-4.40E-02	9.07E-02	6.60E-02	4.33E-02	4.44E-04	1.09E-03	7.19E-05	7.23E-03
4.43	5.50	2.66	-7.55E-02	7.67E-03	-2.74E-02	8.35E-02	6.16E-02	3.98E-02	1.45E-04	6.34E-04	2.02E-05	6.17E-03
4.43	6.50	3.32	-9.87E-02	1.08E-02	-2.44E-02	9.33E-02	5.15E-02	6.45E-02	-3.25E-05	1.43E-04	1.54E-04	7.76E-03
4.43	7.50	3.99	-6.84E-02	1.00E-02	6.10E-03	8.02E-02	5.05E-02	7.85E-02	-3.60E-04	-5.12E-04	5.06E-04	7.57E-03
8.86	0.50	0.66	8.29E-01	-1.99E-02	-7.04E-03	1.29E-01	8.52E-02	1.01E-01	-1.62E-03	6.57E-03	-2.29E-04	1.70E-02
8.86	1.50	0.89	6.84E-01	-8.42E-03	-1.43E-02	1.55E-01	1.08E-01	1.20E-01	-1.57E-03	9.03E-03	-1.29E-04	2.50E-02
8.86	2.50	1.33	3.67E-01	-4.78E-03	-1.00E-02	1.72E-01	1.39E-01	1.19E-01	-1.21E-03	1.39E-02	-9.44E-04	3.15E-02
8.86	3.50	1.77	1.18E-01	7.44E-04	-2.25E-02	1.59E-01	1.08E-01	1.01E-01	-4.52E-04	8.66E-03	-3.97E-04	2.36E-02
8.86	4.50	2.08	-2.51E-02	7.30E-03	-1.56E-02	1.11E-01	1.01E-01	8.27E-02	-1.20E-04	3.78E-03	4.66E-04	1.47E-02
8.86	5.50	3.32	-2.15E-01	1.33E-02	-2.11E-02	1.12E-01	6.19E-02	1.26E-01	-3.07E-04	2.34E-03	1.16E-03	1.61E-02
8.86	6.50	3.99	-2.22E-01	2.30E-02	-4.70E-02	1.01E-01	5.38E-02	2.38E-01	-3.29E-04	1.65E-03	2.87E-03	3.48E-02
13.29	0.50	0.66	7.67E-01	-9.91E-03	9.02E-03	1.57E-01	1.04E-01	1.00E-01	-1.40E-03	7.35E-03	-1.12E-04	2.27E-02
13.29	1.50	0.89	6.60E-01	-1.21E-02	7.30E-03	1.85E-01	1.27E-01	1.16E-01	-1.85E-03	9.94E-03	-5.18E-04	3.19E-02
13.29	2.50	1.33	4.51E-01	-7.97E-03	1.21E-02	2.06E-01	1.29E-01	1.35E-01	-1.94E-03	1.49E-02	-3.48E-04	3.85E-02
13.29	3.50	1.77	3.49E-01	-4.11E-03	2.89E-02	2.01E-01	1.42E-01	1.31E-01	-9.22E-04	1.30E-02	-7.12E-04	3.89E-02
13.29	4.50	2.22	7.90E-02	1.22E-03	-5.85E-03	1.75E-01	1.27E-01	1.11E-01	-2.37E-03	1.05E-02	-1.47E-04	2.96E-02
13.29	5.50	2.53	-2.62E-02	9.97E-04	-3.49E-03	1.36E-01	9.98E-02	9.12E-02	7.10E-04	5.99E-03	1.88E-05	1.84E-02
13.29	6.50	3.32	-1.60E-01	1.48E-02	-2.81E-02	1.22E-01	8.57E-02	1.32E-01	-4.57E-04	5.35E-03	1.62E-03	1.98E-02
13.29	7.50	3.99	-2.42E-01	1.51E-02	-6.78E-02	9.27E-02	6.37E-02	1.74E-01	-2.68E-04	3.28E-03	2.11E-03	2.15E-02
17.72	0.50	0.66	7.33E-01	-7.28E-03	2.02E-02	1.70E-01	1.03E-01	8.82E-02	-1.18E-03	4.76E-03	-1.30E-04	2.37E-02
17.72	1.50	0.89	6.61E-01	-8.34E-03	2.24E-02	1.89E-01	1.12E-01	1.07E-01	-9.55E-04	7.72E-03	-5.54E-04	2.98E-02
17.72	2.50	1.33	5.16E-01	-1.05E-02	2.81E-02	2.04E-01	1.29E-01	1.28E-01	-2.34E-03	1.26E-02	-6.93E-04	3.72E-02
17.72	3.50	1.77	3.49E-01	-4.11E-03	2.89E-02	2.01E-01	1.42E-01	1.31E-01	-9.22E-04	1.30E-02	-7.12E-04	3.89E-02
17.72	4.50	2.22	2.13E-01	-3.79E-03	1.23E-02	1.89E-01	1.49E-01	1.23E-01	-1.17E-03	1.13E-02	-2.53E-04	3.66E-02
17.72	5.50	2.66	1.04E-01	-1.79E-03	5.25E-03	1.69E-01	1.29E-01	1.13E-01	-1.31E-03	1.11E-02	-2.36E-04	2.91E-02
17.72	6.50	3.10	3.33E-03	-9.49E-04	3.91E-03	1.65E-01	1.18E-01	1.07E-01	9.41E-05	9.22E-03	-4.92E-04	2.63E-02
17.72	7.50	3.99	-1.50E-01	1.47E-02	-2.51E-02	1.16E-01	8.18E-02	1.23E-01	-1.20E-04	4.56E-03	1.32E-03	1.76E-02
17.72	8.50	4.43	-2.13E-01	1.30E-02	-4.83E-02	9.19E-02	6.65E-02	1.40E-01	-1.86E-04	3.32E-03	1.43E-03	1.63E-02
22.15	0.50	0.66	6.09E-01	-7.03E-03	1.78E-02	1.80E-01	9.26E-02	9.18E-02	-1.41E-03	4.58E-03	-2.72E-04	2.46E-02
22.15	1.50	0.89	5.66E-01	-6.53E-03	2.00E-02	1.79E-01	1.08E-01	1.06E-01	-2.84E-03	7.12E-03	-5.03E-04	2.74E-02
22.15	2.50	1.33	4.65E-01	-6.54E-03	2.98E-02	1.94E-01	1.19E-01	1.15E-01	-9.73E-04	9.96E-03	-5.53E-04	3.24E-02
22.15	3.50	1.77	3.57E-01	-2.27E-03	3.38E-02	1.91E-01	1.36E-01	1.25E-01	-1.61E-03	1.05E-02	-4.09E-04	3.52E-02
22.15	4.50	2.22	1.91E-01	-2.42E-03	1.63E-02	1.75E-01	1.45E-01	1.20E-01	-1.93E-03	1.02E-02	-6.27E-04	3.30E-02
22.15	5.50	2.66	1.08E-01	-2.19E-03	1.59E-02	1.69E-01	1.23E-01	1.12E-01	-5.19E-04	1.10E-02	8.94E-05	2.80E-02
22.15	6.50	3.10	3.53E-02	-3.09E-03	1.13E-02	1.58E-01	1.20E-01	1.09E-01	-9.68E-04	9.61E-03	-3.76E-04	2.58E-02
22.15	7.50	3.54	-4.10E-02	2.50E-03	4.31E-03	1.27E-01	9.94E-02	8.83E-02	-5.17E-05	5.73E-03	1.53E-05	1.69E-02
22.15	8.50	4.43	-1.06E-01	1.80E-02	-3.65E-03	1.14E-01	8.06E-02	1.18E-01	-5.88E-05	5.47E-03	1.04E-03	1.67E-02
22.15	9.50	5.10	-1.66E-01	1.33E-02	-2.93E-02	9.23E-02	6.58E-02	1.25E-01	-4.68E-04	3.93E-03	1.02E-03	1.42E-02
26.58	0.50	0.66	4.83E-01	-4.51E-03	1.42E-02	1.67E-01	9.89E-02	9.01E-02	-1.39E-03	3.79E-03	-4.68E-04	2.29E-02
26.58	1.50	0.89	4.60E-01	-9.72E-03	1.64E-02	1.76E-01	1.07E-01	9.89E-02	-9.22E-04	4.76E-03	-4.69E-04	2.60E-02
26.58	2.50	1.33	3.96E-01	-2.15E-03	2.29E-02	1.82E-01	1.16E-01	1.05E-01	-1.03E-03	7.67E-03	-4.37E-04	2.88E-02
26.58	3.50	1.77	3.09E-01	-5.39E-03	2.39E-02	1.85E-01	1.19E-01	1.13E-01	-6.41E-04	9.50E-03	-3.94E-04	3.07E-02
26.58	4.50	2.22	2.23E-01	3.76E-04	2.46E-02	1.68E-01	1.25E-01	1.09E-01	-7.49E-04	8.79E-03	-4.33E-04	2.79E-02
26.58	5.50	2.66	1.58E-01	-3.23E-03	2.48E-02	1.59E-01	1.20E-01	1.02E-01	-7.26E-04	8.92E-03	-5.90E-04	2.50E-02
26.58	6.50	3.10	8.04E-02	-2.28E-03	1.38E-02	1.53E-01	1.18E-01	9.92E-02	-3.29E-04	8.11E-03	-2.71E-04	2.36E-02
26.58	7.50	3.54	1.54E-02	1.53E-03	1.20E-02	1.37E-01	1.06E-01	9.17E-02	-7.96E-04	6.37E-03	-2.76E-04	1.91E-02
26.58	8.50	3.99	-3.03E-02	1.95E-03	1.06E-02	1.19E-01	9.60E-02	8.23E-02	-4.07E-04	4.79E-03	-2.97E-04	1.51E-02
26.58	9.50	4.87	-7.46E-02	3.22E-03	3.27E-03	1.08E-01	7.92E-02	1.07E-01	-5.14E-04	4.79E-03	6.28E-04	1.48E-02
26.58	10.50	5.76	-1.55E-01	1.47E-02	-4.88E-02	7.27E-02	5.97E-02	1.22E-01	-2.54E-04	3.40E-03	9.77E-04	1.19E-02

 $Fr_1[-]=$ 5.0 (Froude de Ingreso) S[-]= 0.18 (Sumergencia) $d_1[m]=$ 0.037 (Apertura) W[m]= 0.60 (Ancho del canal)

 h_1 [m]= 0.023 (Sección contraída)

U₁ [m/s]= 2.35 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
31.01	0.50	0.66	4.03E-01	-5.72E-03	1.31E-02	1.48E-01	9.16E-02	7.65E-02	-7.33E-04	2.10E-03	-1.04E-04	1.81E-02
31.01	1.50	0.89	3.83E-01	-1.22E-02	1.75E-02	1.56E-01	1.03E-01	8.70E-02	-6.67E-04	3.10E-03	-2.51E-04	2.12E-02
31.01	2.50	1.33	3.39E-01	-8.38E-03	2.70E-02	1.59E-01	1.07E-01	9.07E-02	-3.47E-04	4.97E-03	9.72E-05	2.25E-02
31.01	3.50	1.77	2.77E-01	-6.41E-03	2.32E-02	1.65E-01	1.14E-01	9.67E-02	-7.11E-04	6.38E-03	-3.43E-04	2.47E-02
31.01	4.50	2.22	2.31E-01	-4.51E-03	2.75E-02	1.59E-01	1.16E-01	1.02E-01	-9.00E-04	7.79E-03	-7.54E-04	2.45E-02
31.01	5.50	2.66	1.87E-01	-1.43E-03	3.11E-02	1.47E-01	1.13E-01	9.43E-02	-7.26E-04	6.81E-03	-2.33E-04	2.16E-02
31.01	6.50	3.10	1.17E-01	-7.58E-04	2.27E-02	1.41E-01	1.08E-01	9.14E-02	-3.01E-04	6.87E-03	-2.47E-04	1.99E-02
31.01	7.50	3.54	7.59E-02	-3.24E-03	2.71E-02	1.38E-01	1.07E-01	8.84E-02	-5.67E-04	6.63E-03	-1.75E-04	1.91E-02
31.01	8.50	3.99	1.53E-02	-1.65E-04	1.16E-02	1.26E-01	1.01E-01	8.53E-02	-4.27E-04	5.48E-03	-4.29E-05	1.67E-02
31.01	9.50	4.43	-1.73E-02	-1.43E-03	1.45E-02	1.09E-01	8.96E-02	7.46E-02	-3.79E-04	3.90E-03	-2.26E-04	1.28E-02
31.01	10.50	5.54	-6.25E-02	4.06E-03	4.21E-03	9.12E-02	7.04E-02	9.28E-02	-5.89E-04	3.22E-03	4.46E-04	1.09E-02
31.01	11.50	6.20	-1.05E-01	6.65E-03	-2.19E-02	7.02E-02	5.74E-02	9.80E-02	-1.12E-04	2.85E-03	6.78E-04	8.91E-03
35.45	0.50	0.66	3.20E-01	-5.44E-03	1.04E-02	1.38E-01	9.06E-02	6.52E-02	5.23E-05	1.20E-03	-1.22E-04	1.57E-02
35.45	1.50	0.89	3.04E-01	-3.68E-03	1.64E-02	1.43E-01	9.38E-02	7.33E-02	-4.60E-04	2.49E-03	-4.21E-05	1.73E-02
35.45	2.50	1.33	2.79E-01	-5.53E-03	2.13E-02	1.48E-01	9.50E-02	7.74E-02	-4.00E-04	3.40E-03	-2.74E-04	1.85E-02
35.45	3.50	1.77	2.65E-01	-1.43E-02	1.74E-02	1.46E-01	9.96E-02	8.10E-02	-3.46E-04	4.65E-03	2.46E-05	1.89E-02
35.45	4.50	2.22	2.12E-01	-6.02E-03	2.48E-02	1.39E-01	9.52E-02	8.60E-02	-1.02E-03	5.47E-03	-3.73E-04	1.78E-02
35.45	5.50	2.66	1.81E-01	-4.02E-03	2.84E-02	1.34E-01	9.95E-02	8.05E-02	-7.15E-04	5.01E-03	-2.07E-04	1.72E-02
35.45	6.50	3.10	1.44E-01	1.40E-03	2.77E-02	1.35E-01	9.77E-02	8.20E-02	-2.29E-04	5.79E-03	1.49E-06	1.73E-02
35.45	7.50	3.54	9.61E-02	-4.70E-04	2.81E-02	1.25E-01	9.52E-02	7.96E-02	-1.94E-04	4.91E-03	-1.89E-04	1.55E-02
35.45	8.50	3.99	5.86E-02	-2.81E-03	2.03E-02	1.20E-01	9.43E-02	8.05E-02	-1.71E-04	4.95E-03	-3.10E-04	1.48E-02
35.45	9.50	4.43	2.22E-02	3.66E-04	1.57E-02		THE RESERVE AND DESCRIPTION OF STREET	T187-679-65-F98-609-61	-3.20E-04	4.95E-03	-3.10E-04	THE STATE OF STREET
11,755,563,1	The same and the		\$15,600 U.C. 1190,000	1167, 7422, 1960		1.11E-01	8.65E-02	7.63E-02	IT THE COST OF THE ALL		1.70.29.094.33.004	1.28E-02
35.45	10.50	4.87	1.29E-02	-3.93E-03	2.05E-02	1.07E-01	9.15E-02	7.79E-02	-4.91E-05	3.77E-03	-1.69E-04	1.29E-02
35.45	11.50	5.76	-1.27E-02	3.56E-03	1.46E-02	9.02E-02	6.84E-02	8.71E-02	-3.04E-04	2.93E-03	2.66E-04	1.02E-02
35.45	12.50	6.65	-6.45E-02	3.88E-03	-1.62E-02	6.77E-02	5.74E-02	8.71E-02	-1.60E-04	2.48E-03	5.37E-04	7.73E-03
39.88	0.50	0.66	2.47E-01	-6.74E-03	8.35E-03	1.27E-01	8.70E-02	5.35E-02	-3.84E-04	5.34E-04	-6.10E-05	1.32E-02
39.88	1.50	0.89	2.58E-01	-4.66E-03	1.00E-02	1.27E-01	8.72E-02	6.01E-02	2.71E-05	1.10E-03	-1.86E-04	1.37E-02
39.88	2.50	1.33	2.46E-01	-3.48E-03	1.55E-02	1.33E-01	8.73E-02	6.60E-02	-7.14E-04	2.02E-03	-7.97E-05	1.48E-02
39.88	3.50	1.77	2.27E-01	-6.20E-03	2.05E-02	1.29E-01	8.65E-02	6.96E-02	-2.66E-04	2.57E-03	2.86E-05	1.44E-02
39.88	4.50	2.22	2.12E-01	-5.06E-03	2.43E-02	1.25E-01	8.42E-02	7.33E-02	-1.76E-04	3.21E-03	-1.88E-04	1.40E-02
39.88	5.50	2.61	1.85E-01	-2.00E-03	2.68E-02	1.20E-01	8.81E-02	7.19E-02	-4.48E-04	3.64E-03	-1.32E-04	1.37E-02
39.88	6.50	3.10	1.67E-01	-2.44E-03	2.88E-02	1.17E-01	8.57E-02	7.26E-02	-5.30E-04	3.67E-03	-1.37E-04	1.32E-02
39.88	7.50	3.54	1.22E-01	-1.47E-03	2.39E-02	1.13E-01	8.56E-02	7.08E-02	-2.11E-04	3.61E-03	-2.91E-04	1.26E-02
39.88	8.50	3.99	9.79E-02	-2.93E-03	2.22E-02	1.10E-01	8.50E-02	7.28E-02	-3.54E-04	3.70E-03	-3.78E-05	1.23E-02
39.88	9.50	4.43	5.87E-02	-4.26E-04	1.68E-02	1.01E-01	8.34E-02	6.95E-02	-3.24E-04	3.26E-03	-1.19E-04	1.10E-02
39.88	10.50	4.87	3.55E-02	-1.15E-03	1.81E-02	9.42E-02	7.81E-02	6.81E-02	-4.99E-04	2.98E-03	-2.47E-04	9.80E-03
39.88	11.50	6.20	1.50E-03	5.10E-04	6.17E-03	7.31E-02	5.58E-02	7.22E-02	-2.14E-04	1.80E-03	4.84E-05	6.83E-03
39.88	12.50	6.87	-9.60E-03	1.52E-03	7.76E-04	6.55E-02	5.32E-02	6.70E-02	9.75E-05	1.40E-03	4.14E-04	5.81E-03
48.74	0.50	0.66	1.63E-01	-1.02E-03	1.86E-04	8.99E-02	7.01E-02	4.03E-02	1.93E-04	2.56E-04	1.22E-04	7.32E-03
48.74	1.50	0.89	1.62E-01	-2.59E-03	3.32E-04	9.96E-02	6.96E-02	4.50E-02	1.09E-04	3.41E-04	1.17E-05	8.39E-03
48.74	2.50	1.33	1.66E-01	-4.47E-03	4.12E-03	9.36E-02	7.15E-02	4.92E-02	1,55E-04	6.79E-04	-9.86E-05	8.14E-03
48.74	3.50	1.77	1.68E-01	-4.49E-03	4.72E-03	9.32E-02	6.65E-02	5.01E-02	1.39E-04	1.01E-03	-1.71E-04	7.81E-03
48.74	4.50	2.22	1.55E-01	-3.83E-03	7.28E-03	9.30E-02	7.06E-02	5.43E-02	-2.53E-04	1.50E-03	-7.83E-05	8.29E-03
48.74	5.50	2.66	1.52E-01	-1.93E-03	1.15E-02	9.13E-02	6.91E-02	5.36E-02	1.82E-05	1.47E-03	-8.69E-05	7.99E-03
48.74	6.50	3.10	1.37E-01	-2.58E-03	1.38E-02	8.85E-02	6.86E-02	5.66E-02	3.65E-04	1.75E-03	2.14E-05	7.87E-03
48.74	7.50	3.54	1.27E-01	8.85E-04	1.23E-02	8.71E-02	7.00E-02	5.67E-02	-1.62E-04	1.98E-03	-1.35E-04	7.85E-03
48.74	8.50	3.99	1.04E-01	-1.08E-03	1.03E-02	8.31E-02	6.89E-02	5.70E-02	1.14E-04	1.96E-03	1.05E-04	7.45E-03
48.74	9.50	4.43	9.65E-02	3.63E-04	8.84E-03	7.99E-02	6.42E-02	5.53E-02	1.11E-04	1.83E-03	-6.36E-05	6.78E-03
48.74	10.50	4.87	8.36E-02	-4.00E-04	7.13E-03	7.60E-02	6.28E-02	5.30E-02	-2.45E-04	1.71E-03	-8.92E-05	6.26E-03
100 CV V/V/V/V/V/VIII	11.50	5.32	7.58E-02	2.95E-03	6.83E-03	7.29E-02	6.22E-02	5.48E-02	-1.79E-04	1.44E-03	-2.20E-04	6.09E-03
48.74	11.50	0.06	LIDOR OF	E.O. C.	01000 00							

Fr₁[-]= 5.0 (Froude de Ingreso)
S [-]= 0.18 (Sumergencia)
d₁ [m]= 0.037 (Apertura)
W [m]= 0.60 (Ancho del canal)
h₁ [m]= 0.023 (Sección contraída)
U₁ [m/s]= 2.35 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

	x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
1.5	57.60	0.50	0.66	1.17E-01	1.06E-04	-1.77E-03	6.39E-02	5.35E-02	2.79E-02	4.49E-05	5.77E-05	-1.16E-05	3.86E-03
1.5 1.5	10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 1	1.50				-3.20E-03	2022 CAR SALES	THE WAY SEED OF	1 2 cm 2 cm 2 cm 1 cm 2 cm				
1.576	57.60	2.50	1.28	1.26E-01	-1.23E-03	-3.04E-03	6.66E-02	5.51E-02	3.60E-02	1.04E-04	2.02E-04	4.23E-05	4.38E-03
Section Sect	57.60	3.50	1.77	1.30E-01	-2.57E-03	-1.55E-03	6.60E-02	5.54E-02	3.84E-02	-1.27E-04	3.48E-04	-3.62E-09	4.45E-03
57.60 75.0 35.6 1.10f-01 5.94e-04 1.55e-03 6.90e-04 5.26e-02 4.10e-02 1.15e-04 7.76e-04 3.51e-03 5.75e-04 5.95e-05 5.95e-05 3.54 1.10e-01 1.17e-03 9.49e-04 6.05e-02 5.31e-02 4.36e-02 2.02e-04 7.02e-04 3.51e-05 4.29e-03 5.760 10.50 4.87 1.08e-01 4.01e-04 4.01e-04 6.05e-02 5.31e-02 4.36e-02 2.02e-04 7.76e-04 4.35e-05 7.76e-04 4.36e-02 5.76e-04 4.06e-04 4.06e-04 4.06e-04 4.06e-05 4.06e-05 4.06e-05 4.06e-05 4.06e-05 6.06e-02 5.18e-02 4.36e-02 2.00e-04 7.74e-04 4.95e-05 4.06e-05 6.06e-04 4.06e-05 6.06e-04 4.06e-05 6.06e-04 4.06e-05 6.06e-05 6.06e-04 6.06e-05 6.06e-04 6.06e-05 6.06e-04 6.06e-05 6	57.60	4.50	2.17	1.29E-01	-2.23E-03	9.34E-04	6.75E-02	5.34E-02		2.67E-05	4.95E-04	4.18E-05	4.53E-03
57.60 3.54 1.211-01 -2.671-03 1.681-03 6.481-02 5.300-02 4.400-02 1.451-04 7.760-04 4.000-05 4.451-03 57.60 9.50 4.43 1.070-01 -7.071-04 3.091-04 6.051-02 5.318-02 4.360-02 2.312-04 7.020-04 -9.040-05 4.312-03 5.760 11.50 3.22 1.051-01 -2.051-04 -2.051-03 6.051-02 5.318-02 4.360-02 2.310-05 7.774-04 -9.940-05 4.261-03 5.760 11.50 3.32 1.051-01 -2.051-04 -1.151-03 5.000-02 4.381-02 4.291-02 -5.541-06 6.451-04 -5.591-05 3.711-03 6.646 5.50 0.89 1.151-01 -2.732-03 -2.246-03 4.961-02 2.438-02 4.291-05 5.351-05 8.161-05 2.318-03 6.646 5.50 1.33 1.216-01 -3.381-03 -3.246-03 4.845-02 4.361-02 2.330-02 4.318-02 4.301-05 5.351-05 6.456-05 6.450-05	57.60	5.50	2.66	1.20E-01	-2.98E-03	-1.87E-03	6.64E-02	5.41E-02	4.16E-02	-1.31E-05	6.08E-04	2.16E-05	4.53E-03
57.60	57.60	6.50	3.06	1.20E-01	5.94E-04	-1.56E-03	6.50E-02	5.26E-02	4.31E-02	5.15E-05	6.75E-04	-5.83E-05	4.42E-03
17.60 9.50 4.81 1.07E-01 7.07E-04 3.09E-04 6.05E-02 5.18E-02 4.09E-02 5.18E-02 5.10E-04 5.10E-04 5.17E-04 5.17E-04	57.60	7.50		1.21E-01	-2.67E-03	1.68E-03	6.44E-02	5.30E-02	4.40E-02	1.45E-04	7.76E-04	4.00E-05	
1.57.60 10.50 4.87 1.09E-01 4.01E-04 2.02E-03 6.11E-02 5.33E-02 4.07E-02 6.53E-06 6.54E-04 5.59E-05 3.75E-04 1.55E-05 6.66.64 1.50 0.689 1.15E-01 2.73E-03 2.42E-03 4.96E-02 4.42E-02 2.42E-02 -1.32E-05 6.73E-06 1.28E-05 2.47E-03 6.646 1.50 0.89 1.15E-01 2.73E-03 2.42E-03 4.96E-02 4.20E-02 2.43E-02 4.20E-05 3.59E-05 8.16E-05 2.41E-03 6.646 4.50 1.33E-01 1.21E-01 3.85E-03 4.21E-03 4.45E-02 4.40E-02 3.04E-02 1.37E-04 6.35E-05 6.42E-06 2.03E-03 6.646 4.50 2.22 1.23E-01 2.22E-03 2.13E-03 4.85E-02 4.46E-02 3.04E-02 1.10E-05 1.05E-04 3.36E-05 2.63E-03 6.646 6.50 2.22 1.23E-01 2.22E-03 2.13E-03 3.55E-03 5.01E-02 4.45E-03 3.00E-02 4.91E-05 2.05E-05 6.42E-06 2.05E-03 6.646 6.50 3.10 1.22E-01 4.73E-03 2.33E-03 4.79E-02 4.59E-02 3.05E-02 4.91E-06 2.01E-04 4.33E-05 2.63E-03 6.646 6.50 3.10 1.22E-01 4.73E-03 2.33E-03 4.79E-02 4.59E-02 3.65E-02 2.55E-03 4.65E-03 2.67E-03 6.646 6.50 3.10 1.22E-01 4.73E-03 3.37E-03 4.53E-02 4.22E-02 3.49E-02 2.56E-03 2.46E-04 3.46E-03 3.66E-04 5.50E-04 4.73E-05 4.65E-03 3.75E-03 4.74E-02 4.5EE-03 3.5EE-03 4.74E-03 4.65E-03 4.74E-03 4.65E-03 4.74E-03 4.65E-03 4.74E-03 4.65E-03 4.74E-03 4.65E-03 4.74E-03 4.74E-03	57.60	8.50	3.99	1.20E-01	-1.72E-03	9.49E-04	6.23E-02	5.31E-02	4.32E-02	2.23E-04	7.02E-04	3.51E-05	4.29E-03
1.50	0.000	9.50				200000000000000000000000000000000000000	6.05E-02	5.18E-02	20 CASC C 20 C	A STATE OF THE PARTY OF THE PAR			
66.46 1.50 0.66 1.17E-01 5.94E-04 2.20E-03 4.76E-02 4.20E-02 2.43E-02 1.32E-05 5.73E-05 6.24E-05 2.41E-03 6.646 1.50 0.89 1.15E-01 1.73E-03 4.20E-03 4.20E-03 4.20E-02 2.43E-02 1.37E-04 6.65E-05 6.42E-05 2.50E-03 6.646 4.50 1.77 1.21E-01 4.73E-03 4.76E-03 4.85E-02 4.46E-02 3.00E-02 1.10E-05 1.05E-04 3.36E-05 2.50E-03 6.646 4.50 2.22 1.28E-01 2.22E-03 2.13E-03 4.85E-02 4.46E-02 3.00E-02 1.10E-05 1.05E-04 3.36E-05 2.65E-03 6.646 5.50 2.666 1.20E-01 3.73E-03 2.35E-03 4.85E-02 4.36E-02 3.00E-02 4.91E-06 2.01E-04 4.35E-06 2.74E-03 6.646 6.50 3.10 1.22E-01 4.71E-03 4.75E-03 4.85E-02 4.35E-02 3.05E-02 4.91E-06 2.01E-04 4.35E-06 2.74E-03 6.646 7.50 3.44 1.24E-01 4.71E-04 1.22E-03 5.07E-02 4.23E-02 3.65E-02 7.52E-04 4.71E-05 2.74E-03 6.646 8.50 3.39 1.20E-01 4.71E-03 4.71E-03 4.71E-04 4.12E-03 4.71E-04 4.12E-03 6.646 9.50 4.43 1.80E-01 1.80E-03 3.37E-03 4.37E-02 4.23E-02 3.65E-02 7.52E-03 4.66E-04 3.46E-05 2.35E-03 6.646 10.50 4.87 1.24E-01 7.18E-04 2.29E-03 4.37E-02 4.25E-02 3.65E-03 2.46E-04 3.46E-05 2.35E-03 6.646 10.50 4.87 1.24E-01 7.18E-04 2.29E-03 4.37E-02 4.26E-02 3.52E-02 5.88E-03 2.56E-04 4.14E-05 2.53E-03 6.646 10.50 4.87 1.15E-01 1.15E-04 2.40E-03 3.37E-03 4.37E-02 4.26E-02 3.52E-02 5.88E-03 2.56E-04 4.14E-05 2.50E-03 3.66E-03 4.37E-03 4.66E-03 3.76E-03 4.37E-03 4.66E-03 3.76E-03 4.37E-03 4.66E-03 3.76E-03 4.37E-03 4.47E-03 4.66E-03 3.76E-03 4.47E-03 4.66E-03 3.76E-03 4.47E-03 4.66E-03 3.76E-03 4.47E-03 4.66E-03 3.76E-03 4.47E-03 4.66E-03 4.76E-03 4.76E	COMMONSON	7 TO SECURE						200210000000000000000000000000000000000	10.05 (20.00) (20.00)				
66.46 1.50													
66.46 2.50 1.33 1.21E-01 -3.88E-03 -3.21E-03 4.88E-02 4.36E-02 2.73E-02 1.37E-04 6.65E-05 6.64E-05 3.50 1.77 1.21E-01 -1.73E-03 2.15E-03 5.10E-02 4.49E-02 3.04E-02 3.04E-02 3.04E-02 3.04E-02 3.04E-02 3.04E-02 3.04E-03 3.04E-04 -1.39E-05 2.82E-03 6.646 6.55 3.10 1.22E-01 -3.73E-03 2.53E-03 4.85E-02 4.36E-02 3.30E-02 2.22E-03 4.32E-04 -1.13E-05 2.74E-03 6.646 6.55 3.10 1.22E-01 -3.75E-03 5.07E-02 4.23E-02 3.50E-02 3.55E-05 3.65E-05 2.74E-03 6.646 7.50 3.55 4.24E-01 -3.75E-03 2.33E-03 4.79E-02 4.29E-03 3.65E-02 3.65E-05 3.65E-05 2.74E-03 6.646 8.50 3.99 1.20E-01 -2.97E-03 -2.75E-03 4.53E-02 4.22E-02 3.65E-02 3.65E-05 3.86E-04 -7.56E-05 2.73E-03 6.646 10.50 4.87 1.18E-01 1.69E-03 -3.37E-03 4.71E-02 4.12E-02 3.52E-02 5.86E-05 2.56E-03 5.66E-04 1.71E-05 2.57E-03 4.75E-05 4.75E-05 4.75E-05 2.57E-03 4.75E-05 4.75E-05 4.75E-05 2.75E-03 4.75E-05 4.75E-05 4.75E-05 2.75E-03 4.75E-05 4.75	11-42-150-301	110,453,4-2301		E005056554-4723		1100,7112,311-357.51	STATE OF THE PARTY	BACA TESTANON	11:30°C/5.85°A.0.101	1116575-0005-00061	STATE OF STREET		1110002701/03/10/04/1
66.46 4.50 2.22 1.28-01 -1.75-03 1.76-03 4.50-02 4.46-02 3.04-02 1.100-05 1.05-04 3.36-05 2.38-05 6.646 6.50 2.66 1.200-01 -2.22-03 2.13-03 5.100-02 4.36-02 3.00-02 3.00-02 4.91-06 2.010-04 -3.56-06 2.26-06 2.66-06 6.50 3.10 1.22-01 -4.71-04 1.82-03 5.75-02 4.23-02 3.35-02 3.56-05 7.52-05 2.52-04 -7.171-05 2.74-03 6.646 8.50 3.99 1.20-01 -2.97-03 2.75-03 4.79-02 4.29-02 3.62-02 7.52-05 7.52-05 3.86-05 5.87-03 5.8	125475 May 27596 1	1775 S. O.		1.000,0400,000,000,000	11 11 11 12 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	TO STATE OF THE PARTY OF THE PARTY.	STUDY SALES SEE STUDY	HITTO SANTOSANDO ACTOSIS	126777762775276776	11110 (A0\$ 464 LOSS 551	POWER PARTY OF THE	[15] 252 SECT. WILLIAMS	150000000000000000000000000000000000000
66.46 6.50 2.22 1.28E-01 -2.2E-03 2.13E-03 5.10E-02 4.49E-02 3.0E-02 4.21E-04 -1.2E-04 -1.3E-05 -2.6F-05 6.646 6.50 3.10 1.2E-01 -4.71E-04 -1.3E-03 5.0F-02 4.23E-02 3.30E-02 3.5E-02 5.5E-04 -1.71E-05 2.74E-03 66.46 7.50 3.54 1.24E-01 -3.75E-03 2.33E-03 4.79E-02 4.29E-02 3.5E-02 2.5E-04 -1.71E-05 2.74E-03 66.46 7.50 3.54 1.24E-01 -3.75E-03 2.33E-03 4.79E-02 4.29E-02 3.65E-02 2.5E-05 2.5E-05 2.5E-05 6.646 7.50 4.43 1.18E-01 1.69E-03 3.37E-03 4.71E-02 4.12E-02 3.62E-02 2.5E-05 2.5E-05 2.5E-05 6.5E-05 2.5E-05 6.646 10.50 4.87 1.24E-01 7.18E-04 -2.29E-03 4.7E-02 4.2E-02 3.5E-02 5.5E-05 5.5E-04 3.12E-05 2.5T-03 6.646 10.50 4.87 1.24E-01 7.18E-04 2.29E-03 4.5F-02 4.2E-02 3.5E-02 5.8E-05 2.56E-04 3.12E-05 2.3E-03 6.646 10.50 4.87 1.24E-01 7.18E-04 2.29E-03 4.7E-02 4.16E-02 3.37E-02 4.43E-05 1.7E-04 6.01E-05 2.43E-03 4.48E-05 4.20E-06 4.20E-	11/16/2005/2005	THE STATE OF		Teach strack that is the first to the			STATE OF THE PROPERTY.	TO A SOUTH OF LOST IN A SO		16/19/52/2005 (6/19/65/19/65)	TO DO A SUBSTITUTE OF		PERSONAL PROPERTY AND ADMINISTRATION OF THE PERSONAL PROPERTY ADMINISTRATION OF THE PERSONAL P
66.46 6.50 3.10 1.22E-01 -4.71E-04 -1.82E-03 5.07E-02 4.23E-02 3.35E-02 -3.65E-05 2.52E-04 -1.71E-05 2.74E-03 66.46 7.50 3.54 1.24E-01 -3.75E-03 2.33E-03 4.79E-02 4.29E-02 3.65E-02 7.52E-05 5.28E-03 -3.44E-05 2.53E-03 66.46 8.50 3.99 1.20E-01 -2.97E-03 -2.75E-03 4.73E-02 4.22E-02 3.49E-02 2.56E-05 2.46E-04 -3.44E-05 2.53E-03 66.46 10.50 4.87 1.24E-01 -7.18E-04 -2.29E-03 4.57E-02 4.22E-02 3.62E-02 1.92E-05 2.56E-05 2.66E-04 -3.44E-05 2.53E-03 66.46 10.50 4.87 1.24E-01 -7.18E-04 -2.29E-03 4.57E-02 4.22E-02 3.52E-02 5.88E-05 2.56E-04 1.91E-05 2.57E-03 66.46 10.50 5.32 1.18E-01 0.95E-04 -3.25E-03 4.57E-02 4.26E-02 3.05E-02 1.44E-02 1.65E-05 4.43E-05 1.71E-04 6.01E-05 2.43E-03 4.43E-05 1.05E-04 4.22E-03 3.05E-03 3.05E-02 4.41E-02 1.65E-05 4.43E-05 4.24E-05 4.24E-05 4.24E-03 4.35E-03 3.03E-02 3.05E-02 1.44E-02 1.65E-05 4.24E-05 4.24E-05 4.24E-05 4.24E-03 4.24E-03 4.35E-03 3.03E-02 3.05E-02 1.44E-02 1.65E-05 4.24E-05 4.	35.763.902.753												
66.46 6.50 3.10 1.22E-01 -4.71E-04 -1.82E-03 5.07E-02 4.23E-02 3.65E-02 -3.65E-05 2.52E-04 -1.71E-05 2.74E-03 66.46 7.50 3.59 1.20E-01 -2.97E-03 -2.75E-03 4.53E-02 4.22E-02 3.69E-02 2.65E-05 2.6E-04 -3.44E-05 2.53E-03 66.46 10.50 4.87 1.24E-01 -7.18E-04 -2.29E-03 4.77E-02 4.12E-02 3.62E-02 1.92E-05 2.6E-04 -3.12E-05 2.61E-03 66.46 10.50 4.87 1.24E-01 -7.18E-04 -2.29E-03 4.77E-02 4.12E-02 3.52E-02 5.88E-05 2.56E-04 -1.71E-05 2.47E-03 66.46 11.50 5.32 1.18E-01 9.13E-04 -2.04E-03 4.77E-02 4.12E-02 3.77E-02 4.48E-05 1.77E-04 6.01E-05 2.47E-03 4.818 1.50 0.89 1.14E-01 3.93E-03 3.09E-03 3.09E-02 3.05E-02 1.16E-05 4.89E-05 4.42E-06 9.92E-04 4.818 3.50 1.33 1.23E-01 -4.42E-03 -4.35E-03 3.19E-02 3.00E-02 1.03E-02 4.07E-05 -2.84E-05 -1.19E-05 1.18E-03 4.818 3.50 1.77 1.20E-01 -2.01E-03 3.69E-03 3.19E-02 3.00E-02 4.07E-05 -2.84E-05 -1.19E-05 1.18E-03 4.818 4.50 2.22 1.20E-01 -2.01E-03 3.69E-03 3.19E-02 2.97E-02 1.10E-05 -2.48E-03 -1.19E-05 1.18E-03 4.818 5.50 2.66 1.23E-01 -2.23E-03 -2.57E-03 3.09E-02 2.07E-02 -1.10E-05 -2.84E-05 -1.19E-05 1.18E-03 4.818 5.50 3.10 1.24E-01 -2.45E-03 -2.94E-03 3.09E-02 3.13E-02 2.75E-02 -7.24E-05 -1.92E-05 7.00E-06 1.26E-03 4.18E-03 4.18E-03	IF 945 4015 941	100000000000000000000000000000000000000			INCOME SECTION OF SECT				110000000000000000000000000000000000000	The property of the control of the c	PERSONAL PROPERTY OF CONTRACT	1.325 (B. 1952) (C. 1669)	
66.46 7.50 3.54 1.24E-01 -3.75E-03 -2.37E-03 4.39E-02 4.59E-02 3.49E-02 3.49E-02 5.65E-05 2.46E-04 -3.44E-05 2.53E-03 66.46 9.50 4.43 1.18E-01 1.69E-03 -3.37E-03 4.71E-02 4.12E-02 3.62E-02 1.92E-05 2.96E-04 -3.12E-05 2.51E-03 66.46 10.50 4.87 1.24E-01 7.18E-04 2.29E-03 4.75E-02 4.16E-02 3.57E-02 4.56E-05 2.56E-05 2.96E-04 -3.12E-05 2.51E-03 66.46 10.50 5.32 1.18E-01 9.13E-04 2.40E-03 4.47E-02 4.16E-02 3.57E-02 4.56E-03 2.57E-03 4.48E-05 2.57E-03 4.48E-05 4	The second second	111556554.11		1/2/05/04/25/5/5/6/6	115 405 har-375 4	Superior Continues	[] A (A) (A) (A) (A) (A) (A) (A)		110000000000000000000000000000000000000	The Children Statistics Calc.	10-10-10-10-10-10-10-10-10-10-10-10-10-1		THE RESIDENCE OF THE CONTRACTOR
66.46 8.50 3.99 1.20E-01 -2.97E-03 -2.75E-03 -3.57E-02 4.22E-02 3.49E-02 1.92E-05 2.46E-04 -3.42E-05 2.65E-03 6.646 10.50 4.87 1.24E-01 7.18E-04 -2.29E-03 4.75E-02 4.26E-02 3.57E-02 4.33E-05 1.75E-04 4.12E-05 2.57E-03 66.46 10.50 4.87 1.24E-01 7.18E-04 -2.29E-03 4.75E-02 4.6E-02 3.37E-02 4.33E-05 1.77E-04 6.01E-05 2.45E-03 4.47E-02 4.16E-02 3.37E-02 4.33E-05 1.77E-04 6.01E-05 2.45E-03 4.47E-03 4.47E-03 4.47E-03 4.47E-03 3.05E-03 3.05E-03 3.05E-02 1.46E-02 3.37E-02 4.43E-05 1.77E-04 6.01E-05 2.43E-03 4.48E-05 4.47E-03 4.47E-03 4.47E-03 3.05E-03 3.05E-03 3.05E-02 1.46E-02 3.05E-03 4.47E-02 4.67E-03 4.47E-03 4.	100000000000000000000000000000000000000	100000000000000000000000000000000000000			100000000000000000000000000000000000000	IIPPS SERVICE			1200001007255	THE STATE OF STREET	BRC97050A2481	Property and Company and	Proceedings of the second
66.46 9.50 4.43 1.18E-01 1.69E-03 -3.37E-03 4.71E-02 4.12E-02 3.62E-02 5.88E-05 2.56E-04 1.91E-05 2.57E-03 6.646 11.50 5.32 1.18E-01 7.18E-04 -2.49E-03 4.77E-02 4.16E-02 3.37E-02 4.38E-05 1.17E-04 6.01E-05 2.45E-03 8.418 0.50 0.66 1.09E-01 1.08E-03 -2.65E-03 2.93E-02 3.05E-02 1.41E-02 1.16E-05 4.48E-05 9.92E-04 4.48E-05 1.31E-01 3.93E-03 -3.03E-03 3.19E-02 3.05E-02 1.41E-02 1.16E-05 4.48E-05 4.42E-06 9.92E-04 4.48E-05 4.33E-05 1.17E-04 6.01E-05 2.48E-03 4.48E-05 1.33E-05 1.34E-05 1.33E-05 4.42E-06 9.92E-04 4.48E-05 4.33E-05 1.34E-05 4.42E-05 4.34E-05 4.43E-05 4.34E-05 4.43E-05 4.34E-05 4.43E-05 4.34E-05 4.43E-05 4.43		I POSSESSION				100 FTE 8-20 FEED 2-3		100 St. 100 St	THE STATE OF				
66.46 10.50 4.87 1.24E-01 -7.18E-04 -2.29E-03 4.77E-02 4.76E-02 3.37E-02 4.43E-05 1.77E-04 6.01E-05 2.43E-03 84.18 1.50 0.89 1.14E-01 3.99E-03 3.03E-03 3.19E-02 3.05E-02 1.41E-02 1.16E-05 4.89E-05 4.42E-06 9.92E-04 84.18 1.50 0.89 1.14E-01 3.99E-03 3.03E-03 3.19E-02 3.05E-02 1.41E-02 1.16E-05 4.89E-05 4.42E-06 4.92E-06 4.83E-05 4.24E-05 4.92E-06 4.92E-06 8.418 3.50 1.77 1.20E-01 -2.50E-03 3.69E-03 3.10E-02 2.92E-02 1.93E-02 -2.10E-05 -3.97E-05 8.33E-06 1.09E-03 84.18 3.50 1.77 1.20E-01 -2.50E-03 3.69E-03 3.19E-02 2.97E-02 2.11E-02 -6.67E-05 1.13E-03 5.41E-05 1.13E-03 4.42E-03 3.09E-03 3.19E-02 2.97E-02 2.11E-02 -6.67E-05 1.13E-05 1.14E-05 1.14E-05 1.14E-05 4.42E-03 4.24E-05 4.22E-06	The second second	The state of the s		BEST STOCK OF THE SERVICE	11. E36.65 (BCO) 74. (5.31 Sp.) 1	TELEPHONE TAKE STORY	SENS WATER STANKS TO	1504/50/00/44/04/04/04	TO STATE SHARE THE SAME	\$25,000 (ACM) ACM (ACM)	HOLOSON MARKET CONTROL		
84.18 1.50	B-8523996401	The second second		\$57.2 \$65Y.6 \$50CT			BLSN-BLS-SLAPEZS		11494907555555		THE RESERVE OF THE RE	11/19/04/19/05/19/19/19/19/19/19/19/19/19/19/19/19/19/	Debto Western
84.18 0.50 0.66 1.09E-01 -1.08E-03 -2.65E-03 2.93E-02 3.05E-02 1.16E-02 -1.6E-05 -4.89E-05 -4.2E-06 9.92E-04 84.18 1.50 0.89 1.14E-01 -3.93E-03 -3.03E-03 3.19E-02 3.10E-02 1.68E-02 1.83E-05 -3.42E-05 -4.94E-05 -4.94E-0		T = C.P.C. C.V.OS		1675V0F179E33V03VF				RESERVED AND THE PERSON OF THE		THEOLYMAN STATES AND THE			
84.18 1.50 0.89 1.14-01 -3.93E-03 3.03E-03 3.10E-02 1.68E-02 1.83E-05 -4.24E-05 -4.91E-06 1.13E-03 84.18 2.50 1.33 1.23E-01 -4.24E-03 -4.35E-03 3.10E-02 2.92E-02 2.19E-05 -3.97E-05 8.33E-06 1.09E-03 84.18 4.50 2.22 1.20E-01 -2.01E-03 3.78E-03 3.19E-02 2.97E-02 2.11E-02 -6.07E-05 -1.12E-05 -1.41E-05 1.17E-03 84.18 5.50 2.66 1.23E-01 -2.23E-03 2.57E-03 3.0E-02 2.31E-02 -2.0E-05 -1.95E-05 7.00E-06 1.26E-03 84.18 7.50 3.54 1.24E-01 -1.75E-03 3.79E-03 3.07E-02 2.36E-02 3.88E-05 -3.50E-06 2.29E-05 1.24E-03 84.18 10.50 4.87 1.27E-01 -1.5E-03 4.32E-03 3.15E-02 3.16E-02 2.36E-02 3.88E-05 -2.66E-05 6.8E-06 1.22E-03 84.18 10.50													The second second
84.18 2.50 1.33 1.23E-01 -4.42E-03 -4.35E-03 3.0E-02 2.92E-02 1.93E-02 -2.10E-05 -3.97E-05 8.33E-06 1.09E-03 84.18 4.50 2.22 1.20E-01 -2.50E-03 3.78E-03 3.19E-02 2.97E-02 2.17E-02 -4.67E-05 -1.12E-05 -1.14E-05 1.17E-05 1.14E-05 1.17E-03 3.78E-03 3.07E-02 3.10E-02 2.27E-02 -1.02E-05 -1.95E-05 7.00E-06 1.26E-03 1.24E-03 3.07E-02 3.09E-02 2.33E-02 -3.18E-05 -2.16E-05 8.22E-06 1.22E-03 84.18 8.50 3.99 1.25E-01 1.51E-03 4.32E-03 3.18E-02 3.01E-02 2.36E-02 5.86E-06 -4.06E-05 8.22E-06 1.22E-03 84.18 11.50 5.32 1.27E-01 4.00E-05 5.45E-03 3.07E-02 3.08E-0		113,000,000,000											(100 pt 100 pt 1
84.18 3.50 1.77 1.20E-01 -2.50E-03 3.69E-03 3.21E-02 2.08E-02 4.07E-05 -2.84E-05 -1.19E-05 1.18E-03 84.18 5.50 2.66 1.23E-01 -2.23E-03 -2.57E-03 3.24E-02 2.11E-02 -6.67E-05 -1.12E-05 -1.41E-05 1.17E-03 84.18 6.50 3.10 1.24E-01 -2.45E-03 -2.97E-03 3.03E-02 3.13E-02 2.27E-02 -7.24E-05 -1.26E-05 1.20E-03 84.18 7.50 3.54 1.24E-01 -1.75E-03 3.97E-02 3.03E-02 2.33E-02 2.38E-05 -3.50E-06 8.22E-06 1.22E-03 84.18 9.50 4.43 1.25E-01 1.56E-03 3.01E-02 3.18E-02 2.35E-02 -3.97E-05 4.09E-06 -1.33E-05 1.22E-03 84.18 10.50 4.87 1.27E-01 -9.69E-04 -3.23E-03 3.07E-02 2.35E-02 -3.97E-05 4.09E-06 -1.33E-05 1.22E-03 80.19 0.50 0.66 1.4E-01	U. 150 ST 125 ST	15/20/20/20/20			THE RESERVE AND RESERVE				Manager Co.				
84.18 4.50 2.22 1.20E-01 -2.01E-03 -3.78E-03 3.19E-02 2.97E-02 2.11E-02 -6.67E-05 -1.12E-05 -1.41E-05 1.17E-03 84.18 6.50 2.66 1.23E-01 -2.45E-03 2.94E-03 3.03E-02 3.13E-02 2.27E-02 -1.02E-05 -1.95E-05 7.00E-06 1.26E-05 84.18 7.50 3.54 1.24E-01 -1.75E-03 -3.79E-03 3.07E-02 3.09E-02 2.33E-02 -3.18E-05 -2.16E-05 8.22E-06 1.22E-03 84.18 9.50 3.99 1.25E-01 -1.51E-03 4.32E-03 3.18E-02 2.36E-02 3.88E-05 -3.50E-06 2.95E-05 1.22E-03 84.18 10.50 4.87 1.27E-01 -9.69E-04 -3.23E-03 3.07E-02 3.09E-02 2.36E-02 3.97E-05 4.09E-06 -1.32E-03 84.18 11.50 0.56 1.14E-01 -1.50E-03 2.63E-03 3.07E-02 3.09E-02 2.36E-02 2.41E-06 2.28E-05 6.29E-06 1.28E-03	0.0000000000000000000000000000000000000	1 10231352354			1 STATE CONTRACTOR (CORN)					The state of the s	Design the control of the control		
84.18 5.50 2.66 1.23E-01 -2.23E-03 -2.57E-03 3.24E-02 3.10E-02 2.27E-02 -1.02E-05 -1.95E-05 7.00E-06 1.26E-03 84.18 7.50 3.54 1.24E-01 -1.75E-03 -3.79E-03 3.07E-02 3.03E-02 2.33E-02 -3.18E-05 -2.16E-05 4.27E-06 1.20E-03 84.18 8.50 3.99 1.25E-01 -1.51E-03 -4.32E-03 3.18E-02 2.36E-02 3.88E-05 -3.50E-06 2.95E-05 1.22E-03 84.18 9.50 4.43 1.25E-01 1.86E-03 -4.61E-03 3.01E-02 2.36E-02 3.88E-05 -3.50E-06 2.95E-05 1.28E-03 84.18 10.50 4.87 1.27E-01 -9.69E-04 -3.23E-03 3.07E-02 3.08E-02 2.36E-02 2.40E-06 -1.33E-05 1.28E-03 1.28E-03 101.91 0.50 0.66 1.14E-01 -1.50E-03 2.63E-03 2.20E-02 2.49E-02 1.26E-02 -3.31E-05 6.29E-06 1.28E-03 101.9		75.033451				0.000 (0.0			79.77.00				10 TO
84.18 6.50 3.10 1.24E-01 -2.45E-03 2.94E-03 3.03E-02 2.25E-02 -7.24E-05 -4.72E-06 1.26E-05 1.20E-03 84.18 7.50 3.54 1.24E-01 -1.75E-03 3.79E-03 3.07E-02 3.09E-02 2.33E-02 -3.18E-05 -2.16E-05 8.22E-06 1.22E-03 84.18 9.50 4.43 1.25E-01 1.86E-03 -4.61E-03 3.01E-02 3.14E-02 2.36E-02 5.86E-06 -4.06E-05 6.18E-06 1.22E-03 84.18 10.50 4.87 1.27E-01 -9.69E-04 -3.23E-03 3.0TE-02 3.18E-02 2.35E-02 -3.97E-05 4.09E-06 -1.33E-05 1.28E-03 101.91 0.50 0.66 1.14E-01 -1.50E-03 -2.63E-03 2.20E-02 2.40E-02 1.11E-02 -3.51E-05 1.88E-05 5.94E-06 1.0191 1.50 0.89 1.17E-01 -1.50E-03 2.23E-02 2.49E-02 1.26E-02 -3.51E-05 1.81E-05 5.94E-06 1.0191 0.50E-04 1.0191		1.500000				1012 2012	2 2 2 2 2 2 2 2 2						
84.18 7.50 3.54 1.24E-01 -1.75E-03 -3.79E-03 3.07E-02 3.09E-02 2.33E-02 -3.18E-05 -2.16E-05 -8.22E-06 1.22E-03 84.18 9.50 4.43 1.25E-01 1.86E-03 -4.61E-03 3.01E-02 3.14E-02 2.36E-02 5.86E-06 -4.06E-05 6.18E-06 1.22E-03 84.18 10.50 4.87 1.27E-01 -9.69E-04 -3.23E-03 3.15E-02 2.36E-02 5.86E-06 -4.06E-05 6.18E-06 1.22E-03 84.18 11.50 5.32 1.25E-01 4.00E-05 5.45E-03 3.07E-02 3.09E-02 2.36E-02 2.41E-06 -2.83E-05 6.29E-06 1.23E-03 101.91 0.50 0.66 1.14E-01 -1.50E-03 -2.63E-03 2.20E-02 2.49E-02 1.26E-02 -3.31E-05 5.18E-05 9.92E-07 5.94E-04 101.91 2.50 1.33 1.19E-01 -4.21E-03 -2.43E-03 2.24F-02 2.46E-02 1.36E-03 -5.1E-05 1.18E-03 -6.9E-06 <t< td=""><td></td><td>1 - 0 - 0 - 0</td><td></td><td></td><td></td><td>BOSSET COLUMN</td><td></td><td>ELECTRON CASE</td><td>10 mar Contract 2011</td><td>Section Street, and the second</td><td></td><td></td><td></td></t<>		1 - 0 - 0 - 0				BOSSET COLUMN		ELECTRON CASE	10 mar Contract 2011	Section Street, and the second			
84.18 8.50 3.99 1.25E-01 -1.51E-03 4.32E-03 3.18E-02 3.01E-02 2.36E-02 5.86E-06 -3.50E-06 2.95E-05 1.24E-03 84.18 10.50 4.43 1.27E-01 -9.69E-04 -3.23E-03 3.15E-02 3.18E-02 2.36E-02 2.36F-02 -4.06E-05 6.18E-06 1.22E-03 84.18 10.50 4.87 1.27E-01 -9.69E-04 -3.23E-03 3.05E-02 2.36E-02 2.37E-03 4.09E-06 -1.33E-05 1.28E-03 101.91 0.50 0.66 1.14E-01 -1.50E-03 -2.63E-03 2.20E-02 2.40E-02 1.11E-02 -3.31E-05 -8.66E-05 9.92E-07 5.94E-04 101.91 1.50 0.89 1.17E-01 -2.20E-03 2.24E-02 2.49E-02 1.26E-02 -3.31E-05 3.51E-05 1.18E-05 6.76E-04 101.91 2.50 1.33 1.19E-01 -4.21E-03 2.43E-03 2.24FE-02 1.26E-02 1.26E-05 -3.51E-05 1.18E-05 6.76E-04 101		100000000000000000000000000000000000000					Service and Association of the Control of the Contr	1 TO SECURE OF THE PARTY OF THE	1.20000.00000.000000.0000		E 100 1750 1 2277		
84.18 9.50 4.43 1.25E-01 1.86E-03 4.61E-03 3.01E-02 3.14E-02 2.36E-02 5.86E-06 4.06E-05 6.18E-06 1.22E-03 84.18 10.50 4.87 1.27E-01 -9.69E-04 -3.23E-03 3.15E-02 3.18E-02 2.35E-02 2.37E-05 4.09E-06 -1.33E-05 1.28E-03 101.91 0.50 0.66 1.14E-01 -1.50E-03 2.20E-02 2.40E-02 1.11E-02 -1.31E-05 6.29E-06 -9.92E-07 5.94E-04 101.91 1.50 0.89 1.17E-01 -2.20E-03 2.46E-03 2.39E-02 1.26E-02 -2.33E-05 -3.51E-05 1.18E-05 6.76E-04 101.91 2.50 1.33 1.19E-01 -4.21E-03 -2.43E-03 2.47E-02 2.46E-02 1.46E-02 -2.69E-05 -5.18E-05 1.80E-05 7.11E-04 101.91 4.50 2.22 1.27E-01 -3.46E-03 2.43E-02 2.58E-02 1.46E-02 -1.3E-06 -3.51E-05 6.91E-06 6.55E-04 101.9		130000000000000000000000000000000000000			0.9 Carrie 5 5 12 Carr		5.2305.632.035.032.5V						
84.18 10.50 4.87 1.27E-01 -9.69E-04 -3.23E-03 3.15E-02 2.35E-02 2.39F-05 4.09E-06 -1.33E-05 1.28E-03 101.91 0.50 0.66 1.14E-01 -1.50E-03 -2.63E-03 2.20E-02 2.40E-02 1.11E-06 -4.66E-05 9.92E-07 5.94E-04 101.91 0.50 0.66 1.17E-01 -1.50E-03 -2.63E-03 2.20E-02 2.40E-02 1.1E-06 -4.66E-05 9.92E-07 5.94E-04 101.91 2.50 1.33 1.19E-01 -4.21E-03 2.43E-03 2.47E-02 2.49E-02 1.38E-06 -3.51E-05 1.18E-05 6.71E-04 101.91 3.50 1.77 1.22E-01 -2.23E-03 2.09E-03 2.25E-02 1.73E-06 -3.51E-05 6.91E-06 6.55E-04 101.91 4.50 2.22 1.27E-01 -3.46E-03 2.43E-02 2.58E-02 1.70E-02 -1.32E-05 5.40E-05 1.99E-05 7.30E-06 6.55E-04 101.91 6.50 3.10 1.26E-01		100000000000000000000000000000000000000											
84.18 11.50 5.32 1.25E-01 4.00E-05 5.45E-03 3.07E-02 3.09E-02 2.36E-02 2.41E-06 -2.83E-05 6.29E-06 1.23E-03 101.91 0.50 0.66 1.14E-01 -1.50E-03 -2.63E-03 2.20E-02 2.40E-02 1.11E-02 -1.31E-06 -4.66E-05 9.92E-07 5.94E-04 101.91 1.50 0.89 1.17E-01 -2.20E-03 -2.43E-03 2.49E-02 1.26E-02 -2.33E-05 -3.51E-05 1.80E-05 6.76E-04 101.91 3.50 1.77 1.22E-01 -2.23E-03 2.09E-03 2.22E-02 2.46E-02 1.46E-02 -1.28E-05 -5.18E-05 6.19E-05 6.15E-05 6.95E-04 101.91 4.50 2.22 1.27E-01 -3.46E-03 2.43E-02 2.66E-02 1.73E-02 -3.95E-05 -6.19E-05 1.37E-05 7.99E-04 101.91 5.50 2.66 1.25E-01 -1.93E-03 -2.52E-03 2.45E-02 2.58E-02 1.70E-02 -1.32E-05 -5.40E-05 1.37E-05		1 2 3 7 2 2 3 2 1			100 CO 10	- 040 - 145 G S S 146 L				100 CO. 100 CO. 41			
101.91	4	20 X X X X 111			100000	7	The family of the	A CONTRACT OF THE		The second secon		1 July 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	11.00
101.91 1.50 0.89 1.17E-01 -2.20E-03 -2.16E-03 2.39E-02 2.49E-02 1.26E-02 -2.33E-05 -3.51E-05 1.18E-05 6.76E-04 101.91 2.50 1.33 1.19E-01 -4.21E-03 -2.43E-03 2.47E-02 2.49E-02 1.38E-02 -2.69E-05 -5.18E-05 1.80E-05 7.11E-04 101.91 3.50 1.77 1.22E-01 -2.23E-03 -2.09E-03 2.22E-02 2.46E-02 1.46E-02 -1.28E-06 -3.51E-05 6.91E-06 6.55E-04 101.91 4.50 2.22 1.27E-01 -3.46E-03 -2.64E-03 2.43E-02 2.66E-02 1.70E-02 -3.95E-05 -6.19E-05 1.37E-05 7.99E-04 101.91 6.50 3.10 1.26E-01 -1.93E-03 -2.53E-03 2.45E-02 2.58E-02 1.78E-02 6.25E-07 -4.43E-05 1.99E-05 7.62E-04 101.91 7.50 3.54 1.28E-01 -2.28E-03 3.60E-03 2.53E-02 2.51E-02 1.81E-02 -2.79E-05 -7.15E-05 3.91E-07 7.80E-04 101.91 8.50 3.99 1.30E-01 -2.42E-03 -3.06E-03 2.53E-02 2.52E-02 1.86E-02 -7.33E-06 -6.51E-05 1.08E-05 8.10E-04 101.91 9.50 4.43 1.31E-01 7.70E-04 -3.22E-03 2.44E-02 2.58E-02 1.87E-02 -2.55E-05 5.90E-05 5.54E-06 8.05E-04 101.91 10.50 4.87 1.31E-01 -1.22E-03 3.43E-03 2.35E-02 2.55E-02 1.89E-02 -7.33E-06 -6.51E-05 1.47E-05 7.71E-04 101.91 11.50 5.32 1.33E-01 -2.22E-03 3.43E-03 2.35E-02 2.55E-02 1.89E-02 -7.33E-06 -6.51E-05 1.47E-05 7.71E-04 128.49 0.50 0.89 1.22E-01 -2.11E-03 -2.42E-03 1.61E-02 1.89E-02 1.89E-02 -7.36E-06 -3.29E-05 5.97E-05 3.32E-04 128.49 0.50 0.89 1.22E-01 -2.11E-03 -2.42E-03 1.83E-02 1.97E-02 1.07E-02 -6.69E-06 -3.57E-05 -1.29E-06 4.18E-04 128.49 0.50 0.60 0.70													
101.91 2.50 1.33	Fe Post State of the	THE RESERVE AND SERVED		1857 4040 VOVES 400 VI	Partition of the Action	11-270-274-2578-267	SCHOOL AND AND A TOO	30-400-00-40, 40-44-340-9	III DOMENDIA MARKATA	CLERKING AND COLOURS	Introduction (Appelliance)	1. BOSTO, 200 CO. SA. P. S.	
101.91 3.50 1.77 1.22E-01 -2.23E-03 -2.09E-03 2.22E-02 2.46E-02 1.46E-02 -1.28E-06 -3.51E-05 6.91E-06 6.55E-04 101.91 4.50 2.22 1.27E-01 -3.46E-03 -2.64E-03 2.43E-02 2.56E-02 1.73E-02 -3.95E-05 -6.19E-05 1.37E-05 7.99E-04 101.91 5.50 2.66 1.25E-01 -1.93E-03 -2.53E-03 2.45E-02 2.58E-02 1.70E-02 -1.32E-05 -5.40E-05 2.19E-06 7.80E-04 101.91 7.50 3.54 1.26E-01 -1.85E-03 -2.82E-03 -3.60E-03 2.35E-02 2.52E-02 1.81E-02 -2.79E-05 -7.15E-05 3.91E-07 7.80E-04 101.91 8.50 3.99 1.30E-01 -2.42E-03 -3.60E-03 2.35E-02 2.52E-02 1.81E-02 -7.33E-06 -6.51E-05 3.91E-07 7.80E-04 101.91 9.50 4.43 1.31E-01 7.70E-04 3.22E-03 2.44E-02 2.58E-02 1.87E-02 -2.55E-05 -5.90E-05 5.54E-06 8.05E-04 101.91 10.50 4.87 1.31E-01 -1.22E-03 -3.43E-03 2.35E-02 2.55E-02 1.84E-02 -2.51E-05 -5.90E-05 5.54E-06 8.05E-04 101.91 11.50 5.32 1.33E-01 -2.27E-03 -3.16E-03 2.50E-02 2.54E-02 1.89E-02 2.50E-05 -7.38E-05 1.11E-06 8.41E-04 128.49 1.50 1.33 1.24E-01 -2.71E-03 -2.42E-03 -3.05E-03 1.84E-02 1.07E-02 -2.50E-05 -3.95E-05 -1.29E-06 4.18E-04 128.49 3.50 2.22 1.28E-01 -1.95E-03 -3.31E-03 1.74E-02 1.99E-02 1.15E-02 -2.50E-05 -3.95E-05 -1.29E-06 4.18E-04 128.49 3.50 2.22 1.28E-01 -1.95E-03 -3.31E-03 1.74E-02 1.99E-02 1.25E-02 -2.50E-05 -3.95E-05 -1.29E-06 4.18E-04 128.49 3.50 2.66 1.30E-01 -1.68E-03 -3.60E-03 1.78E-02 2.06E-02 1.27E-03 -3.57E-05 -1.29E-06 4.18E-04 128.49 3.50 3.54 1.36E-01 -1.68E-03 -3.60E-03 1.78E-02 2.06E-02 1.27E-05 -3.95E-05 -2.94E-05 -4.95E-06 4.18E-04 128.49 3.50 3.54 1.36E-01 -1.68E-03 -3.60E-03 1.78E-02 2.06E-02 1.27E-05 -3.97E-05 -3.95E-05 -1.20E-05 -4.66E-04 128.49 3.50 3.50 3.50E-01 -1.68E-03 -3.60E-03 -3.60E-03 -3.86E-02 -3.97E-05	ADMINISTRAÇÃO	100000000000000000000000000000000000000		\$500 C \$150 CC	The Part of the Control of the Contr		Selfert region real Protection.	The Part Street and States of	100 100 100 100 100 100 100 100 100 100	130 Sept. 40 Sept. (1991)		Table of a Security for	
101.91 4.50 2.22 1.27E-01 -3.46E-03 2.64E-03 2.43E-02 2.66E-02 1.73E-02 -3.95E-05 -6.19E-05 1.37E-05 7.99E-04 101.91 5.50 2.66 1.25E-01 -1.93E-03 -2.53E-03 2.45E-02 2.58E-02 1.70E-02 -1.32E-05 -5.40E-05 2.19E-06 7.80E-04 101.91 6.50 3.10 1.26E-01 -1.85E-03 -2.28E-03 2.40E-02 2.52E-02 1.78E-02 6.25E-07 -4.43E-05 1.99E-05 7.62E-04 101.91 8.50 3.99 1.30E-01 -2.42E-03 3.60E-03 2.35E-02 2.51E-02 1.86E-02 -2.79E-05 -7.15E-05 3.91E-07 7.80E-04 101.91 9.50 4.43 1.31E-01 7.70E-04 -3.22E-03 2.44E-02 2.58E-02 1.87E-02 -2.55E-05 -5.90E-05 1.67E-05 8.05E-04 101.91 10.50 4.87 1.31E-01 -1.22E-03 -3.43E-03 2.50E-02 2.55E-02 1.84E-02 -2.01E-05 -5.90E-05 5.54E-06 8.05E-04 101.91 11.50 5.32 1.33E-01 2.35E-04 -3.09E-03 2.50E-02 2.64E-02 1.89E-02 2.50E-05 -7.38E-05 1.17E-05 7.71E-04 128.49 0.50 0.89 1.22E-01 -2.11E-03 -2.42E-03 1.61E-02 1.81E-02 8.9E-03 -7.36E-06 -3.29E-05 -1.99E-06 4.15E-04 128.49 2.50 1.77 1.28E-01 -1.95E-03 -3.31E-03 1.74E-02 1.99E-02 1.15E-02 -2.50E-05 -2.94E-05 -4.95E-06 4.15E-04 128.49 3.50 2.22 1.28E-01 -2.32E-03 -3.05E-03 1.92E-02 2.06E-02 1.27E-03 -3.95E-05 -3.95E-05 -4.95E-06 4.15E-04 128.49 3.50 2.26 1.30E-01 -1.68E-03 -3.76E-03 1.78E-02 2.06E-02 1.27E-02 -2.97E-06 -3.97E-05 -4.95E-06 4.15E-04 128.49 3.50 2.66 1.30E-01 -1.68E-03 -3.76E-03 1.78E-02 2.05E-02 1.43E-02 -2.91E-05 -2.91E-05 5.24E-05 4.16E-04 128.49 5.50 3.10 1.31E-01 -2.87E-03 -3.10E-03 1.79E-02 2.05E-02 1.43E-02 -2.91E-05 -2.91E-05 5.24E-05 4.06E-04 128.49 7.50 3.99 1.35E-01 -1.65E-03 -4.00E-03 1.78E-02 2.05E-02 1.43E-02 -2.67E-05 -3.97E-05 5.24E-05 4.56E-04 128.49 7.50 3.99 1.35E-01 -1.65E-03 -4.00E-03 1.78E-02 1.90E-02 1.43E-02 -2.67E-0	100000000000000000000000000000000000000	3.50			TORONO CONTRA	-2.09E-03		INCOME A SERVICE	T1940C03575508		BEAT STATE OF THE		The state of the s
101.91 5.50 2.66 1.25E-01 -1.93E-03 -2.53E-03 2.45E-02 2.58E-02 1.70E-02 -1.32E-05 -5.40E-05 2.19E-06 7.80E-04 101.91 6.50 3.10 1.26E-01 -1.85E-03 -2.82E-03 2.40E-02 2.52E-02 1.78E-02 6.25E-07 -4.43E-05 1.99E-05 7.62E-04 101.91 7.50 3.54 1.28E-01 -2.28E-03 3.60E-03 2.35E-02 2.61E-02 1.81E-02 -2.79E-05 -7.15E-05 3.91E-07 7.80E-04 101.91 8.50 3.99 1.30E-01 -2.42E-03 -3.06E-03 2.53E-02 2.52E-02 1.81E-02 -2.73E-06 -6.51E-05 1.08E-05 8.10E-04 101.91 9.50 4.43 1.31E-01 7.70E-04 -3.22E-03 2.44E-02 2.52E-02 1.87E-02 -2.55E-05 -5.90E-05 -5.54E-06 8.05E-04 101.91 10.50 4.87 1.31E-01 -1.22E-03 3.43E-03 2.35E-02 2.55E-02 1.84E-02 -2.01E-05 -2.84E-05 1.47E-05 7.71E-04 101.91 11.50 5.32 1.33E-01 2.35E-04 -3.09E-03 2.50E-02 2.64E-02 1.89E-02 2.50E-05 -7.38E-05 1.11E-06 8.41E-04 128.49 0.50 0.89 1.22E-01 -2.11E-03 -2.42E-03 1.61E-02 1.81E-02 8.69E-03 -7.36E-06 -3.29E-05 5.97E-06 3.32E-04 128.49 2.50 1.77 1.28E-01 -1.95E-03 3.31E-03 1.74E-02 1.97E-02 1.15E-02 -2.50E-05 -2.94E-05 -4.95E-06 4.15E-04 128.49 3.50 2.22 1.28E-01 -2.32E-03 3.05E-03 1.84E-02 2.01E-02 1.25E-05 -3.95E-05 1.16E-06 4.47E-04 128.49 3.50 2.26 1.30E-01 -1.68E-03 -3.76E-03 1.92E-02 2.06E-02 1.27E-02 -2.97E-06 -3.97E-05 4.25E-06 4.78E-04 128.49 5.50 3.10 1.31E-01 -2.87E-03 -3.10E-03 1.79E-02 2.05E-02 1.38E-02 -2.97E-06 -3.97E-05 -1.20E-05 4.66E-04 128.49 7.50 3.99 1.35E-01 -1.65E-03 -4.00E-03 1.78E-02 1.90E-02 1.45E-02 4.85E-05 -2.91E-05 1.17E-06 4.50E-04 128.49 7.50 3.99 1.35E-01 -1.65E-03 -4.00E-03 1.88E-02 1.90E-02 1.45E-02 4.85E-05 -3.87E-05 5.74E-06 4.50E-04 128.49 7.50 3.99 1.35E-01 -1.65E-03 -4.00E-03 1.85E-02 1.90E-02 1.45E-02 4.85E-05 -3.87E-05 5	000000000000000000000000000000000000000	1860560		E380 4945 465 KAY F	IDACOUST-ALLES	The delication of the	0.0000 No. 4040 H.E.	THE STATE OF STREET	100/05/2009 62/0	11/07/05/04/05 53/11	1700000 A.	[CLASS SERVICE AND ADDRESS AND	SASAS WALLESTON
101.91 6.50 3.10 1.26E-01 -1.85E-03 -2.82E-03 2.40E-02 2.52E-02 1.78E-02 6.25E-07 -4.43E-05 1.99E-05 7.62E-04 101.91 7.50 3.54 1.28E-01 -2.28E-03 -3.60E-03 2.35E-02 2.61E-02 1.81E-02 -2.79E-05 -7.15E-05 3.91E-07 7.80E-04 101.91 8.50 3.99 1.30E-01 -2.42E-03 -3.66E-03 2.53E-02 2.52E-02 1.86E-02 -7.33E-06 -6.51E-05 1.08E-05 8.10E-04 101.91 9.50 4.43 1.31E-01 -7.70E-04 -3.22E-03 2.44E-02 2.58E-02 1.87E-02 -2.55E-05 -5.90E-05 -5.54E-06 8.05E-04 101.91 11.50 5.32 1.33E-01 -1.22E-03 -3.43E-03 2.35E-02 2.55E-02 1.89E-02 2.50E-05 -7.38E-05 1.17E-06 8.41E-04 101.91 11.50 5.32 1.33E-01 -2.55E-04 -3.09E-03 2.50E-02 2.64E-02 1.89E-02 2.50E-05 -7.38E-05 1.11E-06 8.41E-04 128.49 0.50 0.89 1.22E-01 -2.11E-03 -2.42E-03 1.61E-02 1.81E-02 8.69E-03 -7.36E-06 -3.29E-05 5.97E-06 8.32E-04 128.49 1.50 1.33 1.24E-01 -2.72E-03 -1.15E-03 1.83E-02 1.97E-02 1.07E-02 -6.69E-06 -3.57E-05 -1.29E-06 4.18E-04 128.49 2.50 1.77 1.28E-01 -1.95E-03 -3.31E-03 1.74E-02 1.99E-02 1.15E-02 -2.50E-05 -2.94E-05 4.95E-06 4.15E-04 128.49 3.50 2.22 1.28E-01 -1.68E-03 -3.76E-03 1.84E-02 2.01E-02 1.23E-02 -3.25E-05 -3.97E-05 4.25E-06 4.78E-04 128.49 5.50 3.10 1.31E-01 -1.68E-03 -3.10E-03 1.79E-02 2.06E-02 1.28E-02 -2.97E-06 -3.97E-05 -1.20E-05 4.66E-04 128.49 6.50 3.54 1.36E-01 4.03E-03 -4.00E-03 1.78E-02 2.04E-02 1.45E-02 -4.56E-05 -3.28E-05 5.44E-06 4.86E-04 128.49 6.50 3.54 1.36E-01 4.03E-03 -4.60E-03 1.78E-02 1.94E-02 1.45E-02 4.85E-06 6.38E-05 1.17E-06 4.50E-04 128.49 6.50 3.54 1.36E-01 4.03E-03 -4.60E-03 1.88E-02 1.94E-02 1.45E-02 4.85E-06 6.38E-05 1.17E-06 4.50E-04 128.49 6.50 3.54 1.36E-01 4.03E-03 -4.60E-03 1.88E-02 2.06E-02 1.45E-02 4.85E-06 6.		THE STREET		HOME THE TRANSPORT			\$1000000000000000000000000000000000000	[15] F. W.	T0050000000000000000000000000000000000	Little or or or capture in	DOWNERS COMPANY		
101.91 7.50 3.54 1.28E-01 -2.28E-03 -3.60E-03 2.35E-02 2.61E-02 1.81E-02 -2.79E-05 -7.15E-05 3.91E-07 7.80E-04 101.91 8.50 3.99 1.30E-01 -2.42E-03 -3.06E-03 2.53E-02 2.52E-02 1.86E-02 -7.33E-06 -6.51E-05 1.08E-05 8.10E-04 101.91 9.50 4.43 1.31E-01 7.70E-04 -3.22E-03 2.44E-02 2.58E-02 1.87E-02 -2.55E-05 -5.90E-05 -5.54E-06 8.05E-04 101.91 10.50 5.32 1.33E-01 2.35E-04 -3.09E-03 2.50E-02 2.64E-02 1.89E-02 2.50E-05 -7.38E-05 1.11E-06 8.41E-04 128.49 0.50 0.89 1.22E-01 -2.11E-03 -2.42E-03 1.61E-02 1.81E-02 8.69E-03 -7.36E-06 -3.29E-05 5.97E-06 3.32E-04 128.49 1.50 1.33 1.24E-01 -2.72E-03 -1.15E-03 1.83E-02 1.97E-02 1.07E-02 -6.69E-06 -3.57E-05 -1.29E-06 4.18E-04 128.49 2.50 1.77 1.28E-01 -1.95E-03 -3.31E-03 1.74E-02 1.99E-02 1.15E-02 -2.50E-05 -2.94E-05 -4.95E-06 4.18E-04 128.49 3.50 2.22 1.28E-01 -2.32E-03 -3.05E-03 1.84E-02 2.01E-02 1.23E-02 -3.25E-05 -3.97E-05 1.16E-06 4.47E-04 128.49 5.50 3.10 1.31E-01 -1.68E-03 -3.76E-03 1.92E-02 2.06E-02 1.27E-02 -2.97E-06 -3.97E-05 4.20E-06 4.78E-04 128.49 6.50 3.54 1.36E-01 4.03E-03 -4.60TE-03 1.78E-02 2.05E-02 1.38E-02 -4.75E-05 -2.91E-05 5.44E-06 4.86E-04 128.49 6.50 3.54 1.36E-01 4.03E-03 -4.60TE-03 1.78E-02 2.05E-02 1.48E-02 -4.56E-05 -3.28E-05 5.44E-06 4.86E-04 128.49 6.50 3.54 1.36E-01 4.03E-03 -4.60TE-03 1.78E-02 2.04E-02 1.45E-02 -4.65E-05 -3.38E-05 5.44E-06 4.86E-04 128.49 6.50 3.54 1.36E-01 4.03E-03 -4.60TE-03 1.78E-02 1.94E-02 1.45E-02 4.85E-06 6.38E-05 1.17E-06 4.50E-04 128.49 6.50 3.54 1.36E-01 4.03E-03 -4.60TE-03 1.78E-02 1.94E-02 1.45E-02 4.85E-06 6.38E-05 1.17E-06 4.50E-04 128.49 6.50 3.54 3.3E-01 6.5E-03 6.6TE-03 1.78E-02 1.94E-02 1.45E-02 4.85E-06 6.3		6.50				-2.82E-03	5-76 TO 100 TO 170 J-120	150 miles (170 miles)	100000000000000000000000000000000000000		PORCE, THE COLUMN TO SERVICE	1.99E-05	7.62E-04
101.91 9.50	101.91	7.50	3.54	1.28E-01	-2.28E-03	-3.60E-03	2.35E-02	2.61E-02	100000000000000000000000000000000000000	-2.79E-05	-7.15E-05	3.91E-07	7.80E-04
101.91 9.50	101.91	8.50	3.99	1.30E-01	-2.42E-03	-3.06E-03	2.53E-02	2.52E-02	1.86E-02	-7.33E-06	-6.51E-05	1.08E-05	8.10E-04
101.91 10.50		9.50	4.43	1/9/12/17/04/04/04/04/04				Composition of the Composition o				-5.54E-06	
128.49 0.50 0.89 1.22E-01 -2.11E-03 2.42E-03 1.61E-02 1.81E-02 8.69E-03 -7.36E-06 -3.29E-05 5.97E-06 3.32E-04 128.49 1.50 1.33 1.24E-01 -2.72E-03 -1.15E-03 1.83E-02 1.97E-02 1.07E-02 -6.69E-06 -3.57E-05 -1.29E-06 4.18E-04 128.49 2.50 1.77 1.28E-01 -1.95E-03 -3.31E-03 1.74E-02 1.99E-02 1.15E-02 -2.50E-05 -2.94E-05 -4.95E-06 4.15E-04 128.49 3.50 2.22 1.28E-01 -2.32E-03 -3.05E-03 1.84E-02 2.01E-02 1.23E-05 -3.97E-05 -4.95E-06 4.75E-04 128.49 4.50 2.66 1.30E-01 -1.68E-03 3.76E-03 1.92E-02 2.06E-02 1.27E-02 -2.97E-06 -3.97E-05 4.25E-06 4.78E-04 128.49 6.50 3.54 1.36E-01 4.03E-03 -4.07E-03 1.79E-02 2.05E-02 1.38E-02 -4.75E-05 -2.91E-05 -1.20E-05	101.91	10.50	4.87	1.31E-01	-1.22E-03	-3.43E-03	2.35E-02	2.55E-02	1.84E-02			1.47E-05	7.71E-04
128.49 1.50 1.33 1.24E-01 -2.72E-03 -1.15E-03 1.83E-02 1.97E-02 1.07E-02 -6.69E-06 -3.57E-05 -1.29E-06 4.18E-04 128.49 2.50 1.77 1.28E-01 -1.95E-03 -3.31E-03 1.74E-02 1.99E-02 1.15E-02 -2.50E-05 -2.94E-05 -4.95E-06 4.15E-04 128.49 3.50 2.22 1.28E-01 -2.32E-03 -3.05E-03 1.84E-02 2.01E-02 1.23E-03 -3.95E-05 1.16E-04 4.47E-04 128.49 4.50 2.66 1.30E-01 -1.68E-03 3.76E-03 1.92E-02 2.06E-02 1.28E-02 -2.97E-06 -3.97E-05 4.25E-06 4.78E-04 128.49 6.50 3.54 1.36E-01 -4.03E-03 -1.00E-03 1.79E-02 2.05E-02 1.38E-02 -4.75E-05 -2.91E-05 -1.20E-05 -1.20E-05 4.66E-04 128.49 7.50 3.99 1.35E-01 -4.03E-03 -4.00E-03 1.78E-02 1.94E-02 1.45E-02 -4.65E-05 -3.28E-05 <td>101.91</td> <td>11.50</td> <td>5.32</td> <td>1.33E-01</td> <td>2.35E-04</td> <td>-3.09E-03</td> <td>2.50E-02</td> <td>2.64E-02</td> <td>1.89E-02</td> <td>2.50E-05</td> <td>-7.38E-05</td> <td>1.11E-06</td> <td>8.41E-04</td>	101.91	11.50	5.32	1.33E-01	2.35E-04	-3.09E-03	2.50E-02	2.64E-02	1.89E-02	2.50E-05	-7.38E-05	1.11E-06	8.41E-04
128.49 2.50 1.77 1.28E-01 -1.95E-03 -3.31E-03 1.74E-02 1.99E-02 1.15E-02 -2.50E-05 -2.94E-05 -4.95E-06 4.15E-04 128.49 3.50 2.22 1.28E-01 -2.32E-03 -3.05E-03 1.84E-02 2.01E-02 1.23E-02 -3.25E-05 -3.95E-05 1.16E-06 4.47E-04 128.49 4.50 2.66 1.30E-01 -1.68E-03 -3.76E-03 1.92E-02 2.06E-02 1.27E-02 -2.97E-06 -3.97E-05 4.25E-06 4.78E-04 128.49 6.50 3.54 1.36E-01 -4.03E-03 -4.00E-03 1.78E-02 2.05E-02 1.38E-02 -4.75E-05 -2.91E-05 -1.20E-05 -6.6E-04 128.49 7.50 3.99 1.35E-01 -4.05E-03 -4.07E-03 1.78E-02 1.94E-02 1.45E-02 -4.65E-05 -3.28E-05 5.44E-06 4.52E-04 128.49 8.50 4.43 1.37E-01 -1.87E-03 5.49E-03 1.85E-02 1.94E-02 1.45E-02 4.85E-06 -6.38E-05	128.49	0.50	0.89	1.22E-01	-2.11E-03	-2.42E-03	1.61E-02		8.69E-03	-7.36E-06	-3.29E-05	5.97E-06	3.32E-04
128.49 3.50 2.22 1.28E-01 -2.32E-03 -3.05E-03 1.84E-02 2.01E-02 1.23E-02 -3.25E-05 -3.95E-05 1.16E-06 4.47E-04 128.49 4.50 2.66 1.30E-01 -1.68E-03 -3.76E-03 1.92E-02 2.06E-02 1.27E-02 -2.97E-06 -3.97E-05 4.25E-06 4.78E-04 128.49 5.50 3.10 1.31E-01 -2.87E-03 -3.10E-03 1.79E-02 2.05E-02 1.38E-02 -4.75E-05 -2.91E-05 -1.20E-05 4.66E-04 128.49 6.50 3.54 1.36E-01 -4.03E-03 4.00E-03 1.88E-02 2.04E-02 1.43E-02 -2.46E-05 -3.28E-05 5.44E-06 4.86E-04 128.49 7.50 3.99 1.35E-01 -1.65E-03 4.67E-03 1.78E-02 1.94E-02 1.45E-02 4.85E-06 -6.38E-05 1.17E-06 4.52E-04 128.49 8.50 4.43 1.37E-01 -1.87E-03 5.49E-03 1.85E-02 1.90E-02 1.41E-02 -2.67E-05 -3.87E-05	100000000000000000000000000000000000000	1.50		1.24E-01			1.83E-02		1.07E-02	-6.69E-06			
128.49 4.50 2.66 1.30E-01 -1.68E-03 3.76E-03 1.92E-02 2.06E-02 1.27E-02 -2.97E-06 -3.97E-05 4.25E-06 4.78E-04 128.49 5.50 3.10 1.31E-01 -2.87E-03 3.10E-03 1.79E-02 2.05E-02 1.38E-02 -4.75E-05 -2.91E-05 -1.20E-05 4.66E-04 128.49 6.50 3.54 1.36E-01 -4.03E-03 -4.00E-03 1.88E-02 2.04E-02 1.43E-02 -2.46E-05 -3.28E-05 5.44E-06 4.86E-04 128.49 7.50 3.99 1.35E-01 -1.65E-03 -4.67E-03 1.78E-02 1.94E-02 1.45E-02 4.85E-06 -6.38E-05 1.17E-06 4.52E-04 128.49 8.50 4.43 1.37E-01 -1.87E-03 5.49E-03 1.85E-02 1.90E-02 1.41E-02 -2.67E-05 -3.87E-05 -9.57E-06 4.50E-04						5 7 5 5 7 7 7	The state of the s	100 S. S. S. L. C. P.	100000000000000000000000000000000000000			1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 -	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
128.49 5.50 3.10 1.31E-01 -2.87E-03 -3.10E-03 1.79E-02 2.05E-02 1.38E-02 -4.75E-05 -2.91E-05 -1.20E-05 4.66E-04 128.49 6.50 3.54 1.36E-01 -4.03E-03 -4.00E-03 1.88E-02 2.04E-02 1.43E-02 -2.46E-05 -3.28E-05 -5.44E-06 4.86E-04 128.49 7.50 3.99 1.35E-01 -1.65E-03 -4.67E-03 1.78E-02 1.94E-02 1.45E-02 4.85E-06 -6.38E-05 1.17E-06 4.52E-04 128.49 8.50 4.43 1.37E-01 -1.87E-03 5.49E-03 1.85E-02 1.90E-02 1.41E-02 -2.67E-05 -3.87E-05 -9.57E-06 4.50E-04	128.49	3.50		1.28E-01	-2.32E-03	-3.05E-03	1.84E-02	2.01E-02		-3.25E-05	-3.95E-05	1.16E-06	1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1
128.49 6.50 3.54 1.36E-01 -4.03E-03 -4.00E-03 1.88E-02 2.04E-02 1.43E-02 -2.46E-05 -3.28E-05 -5.44E-06 4.86E-04 128.49 7.50 3.99 1.35E-01 -1.65E-03 -4.67E-03 1.78E-02 1.94E-02 1.45E-02 4.85E-06 -6.38E-05 1.17E-06 4.52E-04 128.49 8.50 4.43 1.37E-01 -1.87E-03 5.49E-03 1.85E-02 1.90E-02 1.41E-02 -2.67E-05 -3.87E-05 -9.57E-06 4.50E-04	1970/2009/3009	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1								and the second second			
128.49 7.50 3.99 1.35E-01 -1.65E-03 -4.67E-03 1.78E-02 1.94E-02 1.45E-02 4.85E-06 -6.38E-05 1.17E-06 4.52E-04 128.49 8.50 4.43 1.37E-01 -1.87E-03 -5.49E-03 1.85E-02 1.90E-02 1.41E-02 -2.67E-05 -3.87E-05 -9.57E-06 4.50E-04		1000000											
128.49 8.50 4.43 1.37E-01 -1.87E-03 -5.49E-03 1.85E-02 1.90E-02 1.41E-02 -2.67E-05 -3.87E-05 -9.57E-06 4.50E-04		111111111111111111111111111111111111111			Complete and property		10 10 10 10 NO NO 10 NO	\$100 CONTRACTOR (\$100 CONTRACTOR)	1977 1998 1999 1999		A PART ASSESSMENT OF THE STATE OF		
		20.7			The Control of the Control	F100000000				The second secon		Property and the second	
1 129 40 1 0 50 1 4 97 1 1 255 01 1 5 065 06 1 4 055 02 1 1 065 02 1 1 025 02 1 1 415 02 1 2 275 06 1 4 505 05 0 1 4 275 04		15.4.2.0		CONTROL DESIGNATION				111222222	The Edition 200		1 2 7 2 7 1 1 2 2 2 2		
1.20-45 3.50 4.07 1.350-00 4.050-00 4.050-05 1.350-02 1.410-02 -2.7/0-05 4.590-05 4.580-06 4.7/0-04	128.49	9.50	4.87	1.35E-01	5.96E-06	-4.05E-03	1.96E-02	1.93E-02	1.41E-02	-2.77E-05	-4.59E-05	-8.56E-06	4.77E-04

Fr₁[-]= 5.0 (Froude de Ingreso) S [-]= 0.61 (Sumergencia) d₁ [m]= 0.037 (Apertura)

W [m]= 0.60 (Ancho del canal) h₁ [m]= 0.023 (Sección contraída)

U₁ [m/s]= 2.34 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U
4.43	0.50	0.75	8.90E-01	-2.24E-02	1.65E-02	2.40E-02	3.23E-02	6.21E-02	-1.08E-04	3.30E-03	-1.76E-05	1.70E-0
4.43	0.50	0.89	7.63E-01	-4.60E-02	-3.58E-02	1.05E-02	6.40E-02	9.27E-02	-2.59E-03	8.27E-03	1.67E-04	6.40E-0
4.43	0.50	1.82	-9.17E-03	2.72E-03	-4.22E-02	6.08E-02	6.42E-02	3.40E-02	4.08E-06	4.23E-04	2.81E-05	4.48E-0
4.43	0.50	2.66	-2.47E-02	8.48E-03	-5.14E-02	6.39E-02	5.95E-02	3.40E-02	-5.35E-05	2.83E-04	8.08E-05	4.39E-0
4.43	0.50	3.54	-3.64E-02	1.26E-02	-4.87E-02	6.44E-02	5.70E-02	3.57E-02	1.00E-04	3.24E-04	8.64E-05	4.33E-0
4.43	0.50	4.43	-5.25E-02	1.59E-02	-4.69E-02	6.88E-02	5.94E-02	3.53E-02	-9.42E-05	2.83E-04	1.11E-04	4.75E-0
4.43	0.50	5.32	-6.55E-02	9.45E-03	-4.27E-02	6.77E-02	5.78E-02	3.29E-02	-1.35E-04	1.55E-04	4.49E-05	4.50E-0
4.43	0.50	6.20	-7.42E-02	4.93E-03	-3.39E-02	7.07E-02	5.61E-02	3.21E-02	2.35E-05	2.06E-04	-3.74E-05	4.59E-0
4.43	0.50	7.53	-8.71E-02	7.29E-03	-1.06E-02	7.04E-02	4.81E-02	4.28E-02	2.58E-04	-2.23E-04	-2.12E-05	4.55E-0
8.86	0.50	0.66	7.63E-01	-3.49E-03	-1.93E-03	1.15E-01	8.28E-02	9.77E-02	-2.43E-03	8.16E-03	-9.10E-04	1.49E-0
8.86	0.50	1.02	6.07E-01	-1.11E-02	-3.64E-03	1.60E-01	1.57E-01	1.16E-01	-2.57E-03	1.14E-02	-4.97E-04	3.13E-0
8.86	0.50	1.82	1.10E-01	3.35E-03	-3.25E-02	1.13E-01	8.54E-02	7.02E-02	-4.05E-04	4.11E-03	-3.95E-04	1.16E-0
8.86	0.50	2.70	-4.24E-02	5.13E-03	-4.07E-02	7.75E-02	6.62E-02	4.31E-02	1.73E-04	9.67E-04	-8.99E-05	4.84E-0
8.86	0.50	3.50	-5.53E-02	1.32E-03	-3.48E-02	7.97E-02	6.02E-02	4.05E-02	-6.09E-06	9.91E-04	-2.63E-05	4.79E-0
8.86	0.50	4.39	-9.12E-02	5.32E-03	-3.36E-02	8.00E-02	6.19E-02	3.96E-02	-1.43E-04	7.96E-04	-4.40E-05	5.29E-0
8.86	0.50	5.36	-1.11E-01	3.15E-03	-2.90E-02	8.53E-02	5.76E-02	4.09E-02	-5.28E-05	5.94E-04	2.16E-05	5.69E-0
8.86	0.50	6.20	-1.21E-01	1.32E-03	-2.24E-02	6.87E-02	5.09E-02	3.33E-02	1.55E-04	3.34E-04	4.13E-05	3.97E-0
8.86	0.50	7.53	-1.59E-01	6.68E-03	-6.35E-03	6.61E-02	4.57E-02	5.79E-02	-1.24E-04	-3.78E-05	1.72E-04	4.86E-0
13.29	0.50	0.66	7.87E-01	-1.35E-02	5.32E-03	1.38E-01	9.25E-02	8.87E-02	-1.32E-03	6.81E-03	-4.87E-04	1.78E-
13.29	0.50	0.89	6.81E-01	-1.60E-02	100000000000000000000000000000000000000	1.64E-01	1.08E-01	1.08E-01	-1.30E-03	9.71E-03	-4.85E-04	2.52E-
13.29	0.50	1.77	2.88E-01	-3.72E-03	-1.26E-02	1.58E-01	1.12E-01	1.00E-01	-1.29E-03	9.45E-03	-3.77E-04	2.38E-
13.29	0.50	2.53	5.37E-02	-4.75E-03	-2.54E-02	1.13E-01	8.48E-02	6.77E-02	1.39E-04	3.46E-03	-3.87E-05	1.00E-
13.29	0.50	3.54	-5.27E-02	-3.03E-03	-3.04E-02	9.09E-02	7.14E-02	5.20E-02	-5.39E-05	1.81E-03	-1.13E-04	6.55E-0
13.29	0.50	4.43	-9.51E-02	-2.59E-03		9.45E-02	6.46E-02	4.97E-02	2.59E-04	1.69E-03	1.20E-05	7.04E-
13.29	0.50	5.32	-1.24E-01	-8.53E-04		9.43E-02 9.29E-02	6.55E-02	4.80E-02	-1.94E-05	1.36E-03	6.95E-05	7.04E-
13.29	0.50	6.20	-1.37E-01	1.20E-03	-1.73E-02	1.07E-01	7.69E-02	4.95E-02	-1.72E-03	1.42E-03	-3.53E-04	9.61E-
13.29	0.50	7.53	-1.84E-01	8.73E-03	-1.73E-02	6.73E-02	4.56E-02	8.85E-02	-1.72E-03	8.00E-04	4.89E-04	7.37E-
	0.50										_	
17.72	0.50	0.66	7.87E-01	-1.61E-02	1.86E-02	1.38E-01	7.19E-02	8.02E-02	-5.97E-04 -1.40E-03	5.16E-03 7.70E-03	-3.04E-04	1.53E-
17.72	The Table of the Control of the Cont		7.03E-01	-1.46E-02	1.33E-02	1,55E-01	1.10E-01	9.77E-02	LIPOTORY SERVICE	Harris Marie Colored	-2.87E-04	2.28E-
17.72	0.50	1.77	4.17E-01	-8.18E-03	4.92E-03	1.64E-01	1.22E-01	1.11E-01	-1.70E-03	9.92E-03	-6.72E-04	2.71E-
17.72	0.50	2.70	1.34E-01	-1.14E-02	Particular Logic Co. 71 Gas.	1.27E-01	1.01E-01	8.08E-02	-6.01E-05	5.24E-03	-1.90E-04	1.56E-
17.72	0.50	3.59	6.10E-03	-4.12E-03	-1.64E-02	1.13E-01	8.94E-02	7.30E-02	3.31E-04	3.68E-03	-2.85E-04	7.93E-
17.72	0.50	4.43	-7.77E-02	-6.42E-03	-2.23E-02	1.08E-01	8.24E-02	6.50E-02	7.13E-05	2.78E-03	-9.62E-05	9.86E-
17.72	0.50	5.32	-1.36E-01	-4.81E-03	10.550000000000000000000000000000000000	9.38E-02	6.44E-02	5.60E-02	1.56E-05	2.07E-03	-6.89E-05	7.71E-
17.72	0.50	6.20	-1.59E-01	5.85E-03	-7.80E-03	9.64E-02	6.52E-02	5.37E-02	1.32E-04	1.74E-03	-9.60E-06	8.10E-
17.72	0.50	7.53	-2.32E-01	6.85E-03	-5.48E-02	7.66E-02	4.97E-02	1.43E-01	-5.82E-05	2.03E-03	1.09E-03	1.43E-
22.15	0.50	0.66	7.21E-01	-1.48E-02	1.81E-02	1.42E-01	1.01E-01	8.15E-02	-1.42E-03	4.34E-03	-2.95E-04	1.86E-
22.15	0.50	0.89	6.85E-01	-1.54E-02	1.27E-02	1.59E-01	9.77E-02	9.45E-02	-1.08E-03	6.27E-03	-4.74E-04	2.19E-
22.15	0.50	1.77	4.48E-01	-1.71E-02	1.06E-02	1.59E-01	1.21E-01	1.06E-01	-1.57E-03	8.14E-03	-6.55E-04	2.55E-
22.15	0.50	2.66	2.62E-01	-9.16E-03	1.22E-02	1.57E-01	1.21E-01	1.00E-01	-1.02E-03	8.16E-03	-5.10E-04	2.46E-
22.15	0.50	3.54	1.03E-01	-6.87E-03	6.07E-03	1.44E-01	1.11E-01	8.99E-02	-1.13E-04	6.62E-03	-3.49E-04	1.87E-
22.15	0.50	4.39	-6.59E-02	-5.12E-03	-4.09E-03	1.34E-01	9.96E-02	8.30E-02	1.14E-04	4.97E-03	-2.45E-04	1.47E-
22.15	0.50	5.32	-1.37E-01	-4.56E-04		1.04E-01	7.48E-02	7.05E-02	9.57E-05	2.65E-03	1.05E-04	1.02E-
22.15	0.50	7.53	-2.62E-01	7.04E-03	-6.57E-02	7.73E-02	5.64E-02	1.50E-01	8.30E-05	2.92E-03	1.20E-03	1.58E-
26.58	0.50	0.66	6.43E-01	-1.42E-02	9.09E-03	1.42E-01	7.83E-02	7.81E-02	-1.19E-03	3.49E-03	-3.90E-05	1.62E-
26.58	0.50	0.89	6.08E-01	-1.44E-02	7.38E-03	1.67E-01	9.32E-02	9.17E-02	-1.67E-03	5.74E-03	-2.92E-04	2.25E-
26.58	0.50	1.82	3.92E-01	-1.43E-02	1.83E-02	1.69E-01	1.20E-01	1.08E-01	-1.55E-03	8.54E-03	-4.65E-04	2.74E-
26.58	0.50	2.70	2.45E-01	-1.28E-03	2.01E-02	1.65E-01	1.25E-01	1.01E-01	-1,25E-03	8.25E-03	-5.52E-04	2.64E-
26.58	0.50	3.59	9.96E-02	-1.30E-04	1.23E-02	1.58E-01	1.18E-01	9.79E-02	-3.24E-04	8.41E-03	3.36E-05	2.19E-
26.58	0.50	4.43	-3.29E-02	-2.57E-03	4.67E-03	1.51E-01	1.08E-01	9.24E-02	-1.30E-04	6.99E-03	-3.18E-05	1.62E-
26.58	0.50	5.32	-1.30E-01	3.35E-04	-5.19E-03	1.31E-01	9.53E-02	8.88E-02	-8.87E-06	4.20E-03	1.36E-04	1.62E-
26.58	0.50	7.53	-2.52E-01	1.09E-02	-3.76E-02	7.80E-02	5.67E-02	1.22E-01	-7.21E-05	2.62E-03	9.74E-04	1.21E-

 $Fr_1[-]=$ 5.0 (Froude de Ingreso) S[-]= 0.61 (Sumergencia) $d_1[m]=$ 0.037 (Apertura) W[m]= 0.60 (Ancho del canal) $h_1[m]=$ 0.023 (Sección contraída)

U₁ [m/s]= 2.34 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
31.01	0.50	0.66	5.72E-01	-1.31E-02	1.40E-02	1.51E-01	8.29E-02	7.53E-02	-9.21E-04	2.56E-03	-3.10E-04	1.77E-02
31.01	0.50	0.84	5.68E-01	-1.69E-02	1.15E-02	1.50E-01	8.80E-02	8.19E-02	-5.88E-04	4.13E-03	5.11E-06	1.85E-02
31.01	0.50	1.77	3.89E-01	-1.25E-02	2.28E-02	1.69E-01	1.19E-01	1.03E-01	-6.82E-04	7.02E-03	-3.96E-04	2.67E-02
31.01	0.50	2.66	2.67E-01	-4.88E-03	2.80E-02	1.71E-01	1.26E-01	1.05E-01	-8.39E-04	8.61E-03	-4.39E-04	2.80E-02
31.01	0.50	3.59	1.18E-01	-4.05E-03	2.13E-02	1.60E-01	1.20E-01	1.02E-01	-1.37E-03	8.69E-03	-4.72E-04	2.34E-02
31.01	0.50	4.43	-2.76E-03	-4.85E-04	1.21E-02	1.59E-01	1.16E-01	1.03E-01	-1.08E-03	8.90E-03	-6.13E-04	1.37E-02
31.01	0.50	5.32	-9.51E-02	-6.66E-03	-2.78E-03	1.38E-01	9.74E-02	9.17E-02	-1.60E-04	5.84E-03	-3.15E-04	1.65E-02
31.01	0.50	6.20	-1.63E-01	2.96E-03	-1.84E-03	1.00E-01	7.68E-02	7.52E-02	1.35E-04	3.60E-03	4.00E-04	1.07E-02
31.01	0.50	7.53	-2.26E-01	1.07E-02	-1.30E-02	7.45E-02	6.23E-02	8.52E-02	7.84E-05	1.71E-03	4.13E-04	8.35E-03
35.45	0.50	0.66	4.92E-01	-1.33E-02	1.44E-02	1.45E-01	8.93E-02	6.93E-02	-4.48E-04	1.98E-03	-2.39E-04	1.69E-02
35.45	0.50	0.93	5.03E-01	-1.45E-02	1.79E-02	1.50E-01	9.26E-02	7.73E-02	-4.66E-04	2.80E-03	-1.60E-04	1.86E-02
35.45	0.50	1.77	3.89E-01	-1.15E-02	2.64E-02	1.62E-01	1.07E-01	9.16E-02	-1.31E-03	6.00E-03	-6.23E-04	2.31E-02
35.45	0.50	2.53	2.75E-01	-1.22E-02	3.09E-02	1.68E-01	1.20E-01	9.92E-02	-6.74E-04	7.75E-03	-4.54E-05	2.62E-02
35.45	0.50	3.54	1.41E-01	-1.90E-03	2.95E-02	1.61E-01	1.19E-01	9.89E-02	-5.46E-04	8.25E-03	1.16E-04	2.37E-02
35.45	0.50	4.43	3.31E-02	4.91E-03	2.15E-02	1.56E-01	1.14E-01	9.85E-02	4.23E-04	7.95E-03	1.25E-04	1.76E-02
35.45	0.50	5.32	-6.41E-02	-8.17E-03	1.19E-02	1.22E-01	9.22E-02	8.52E-02	-6.94E-04	5.01E-03	-3.89E-04	1.27E-02
35.45	0.50	6.20	-1.43E-01	1.16E-04	-4.49E-03	1.00E-01	8.36E-02	7.72E-02	-2.55E-04	3.63E-03	-3.93E-04	1.10E-02
35.45	0.50	7.09	-1.53E-01	-5.86E-03	1.70E-03	9.62E-02	7.43E-02	7.35E-02	-4.23E-04	3.24E-03	-1.78E-04	9.75E-03
35.45	0.50	8.42	-1.99E-01	6.14E-03	-3.58E-02	6.23E-02	6.02E-02	1.03E-01	-2.06E-04	2.43E-03	5.58E-04	9.21E-03
39.88	0.50	0.66	4.17E-01	-7.63E-03	1.50E-02	1.54E-01	9.16E-02	6.34E-02	-6.90E-04	1.55E-03	3.52E-05	1.81E-02
39.88	0.50	0.80	4.20E-01	-1.14E-02	1.84E-02	1.48E-01	8.69E-02	6.91E-02	-1.93E-05	1.79E-03	-7.63E-05	1.71E-02
39.88	0.50	1.77	3.50E-01	-1.22E-02	2.84E-02	1.58E-01	1.01E-01	8.35E-02	8.63E-05	4.91E-03	-8.97E-05	2.11E-02
39.88	0.50	2.66	2.46E-01	-5.02E-03	3.60E-02	1.58E-01	1.13E-01	9.24E-02	-9.32E-04	6.40E-03	-2.57E-04	2.31E-02
39.88	0.50	3.50	1.53E-01	-1,26E-03	3.58E-02	1.51E-01	1.14E-01	9.31E-02	-4.12E-04	6.77E-03	5.54E-05	2.15E-02
39.88	0.50	4.43	8.20E-02	-1.48E-04	3.33E-02	1.51E-01	1.13E-01	9.47E-02	-5.94E-04	7.23E-03	-2.85E-04	1.92E-02
39.88	0.50	5.32	-3.56E-02	-3.83E-03	9.94E-03	1.16E-01	8.97E-02	8.11E-02	1.58E-04	4.46E-03	8.89E-05	1.07E-02
39.88	0.50	6.20	-9.90E-02	-4.65E-04	9.73E-03	1.10E-01	8.85E-02	8.61E-02	-2.86E-04	4.55E-03	-3.55E-04	1.21E-02
39.88	0.50	7.09	-1.33E-01	4.64E-03	3.80E-05	8.42E-02	7.11E-02	6.70E-02	2.64E-04	2.46E-03	1.11E-04	7.80E-03
39.88	0.50	8.42	-1.56E-01	6.70E-03	-6.85E-03	6.76E-02	6.63E-02	7.80E-02	-1.59E-04	1.62E-03	5.32E-05	7.27E-03
44.31	0.50	0.66	3.10E-01	-9.55E-03	1.21E-02	1.60E-01	9.20E-02	5.85E-02	-3.37E-04	9.41E-04	-4.59E-05	1.88E-02
44.31	0.50	0.80	3.23E-01	-9.20E-03	1.79E-02	1.61E-01	8.86E-02	6.69E-02	-4.58E-04	1.75E-03	-1.12E-04	1.91E-02
44.31	0.50	1.77	2.85E-01	-1.11E-02	3.17E-02	1.52E-01	9.86E-02	8.23E-02	-6.94E-04	4.01E-03	-1.97E-04	1.98E-02
44.31	0.50	2.70	2.24E-01	-5.90E-03	3.21E-02	1.44E-01	1.01E-01	8.59E-02	-6.65E-04	5.42E-03	-3.58E-04	1.98E-02
44.31	0.50	3.54	1.43E-01	-4.15E-03	3.93E-02	1.46E-01	1.06E-01	8.89E-02	3.01E-04	6.25E-03	-3.73E-05	1.90E-02
44.31	0.50	4,43	6.72E-02	-3.84E-03	3.26E-02	1.41E-01	1.02E-01	9.07E-02	-6.48E-04	6.66E-03	-1.49E-04	1.60E-02
44.31	0.50	5.32	-9.38E-03	-4.10E-04	2.12E-02	1.22E-01	9.22E-02	8.55E-02	-6.65E-04	5.39E-03	-1.23E-04	9.69E-03
44.31	0.50	6.20	-5.79E-02	-3.83E-03	1.64E-02	1.05E-01	9.31E-02	8.09E-02	-2.74E-04	3.67E-03	-1.38E-04	1.06E-02
44.31	0.50	7.09	-9.53E-02	2.60E-03	6.14E-03	1.00E-01	8.40E-02	7.54E-02	-7.41E-05	3.13E-03	1.10E-04	1.00E-02
44.31	0.50	8.42	-1.13E-01	5.79E-03	-2.91E-04	7.45E-02	6.53E-02	7.62E-02	1.98E-04	1.99E-03	1.01E-04	7.06E-03
44.31	0.50	9.30	-1.31E-01	4.02E-03	-4.02E-02	5.88E-02	5.99E-02	8.52E-02	-1.40E-04	2.34E-03	-6.81E-05	6.64E-03
48.74	0.50	0.66	2.22E-01	-5.98E-03	1.15E-02	1.53E-01	8.50E-02	5.31E-02	-2.86E-04	7.92E-04	9.92E-05	1.71E-02
48.74	0.50	0.89	2.19E-01	-9.73E-03	1.61E-02	1.30E-01	7.85E-02	5.50E-02	3.41E-05	6.62E-04	3.63E-05	1.33E-02
48.74	0.50	1.82	2.22E-01	-7.63E-03	2.83E-02	1.49E-01	8.60E-02	6.99E-02	-1.66E-04	2.29E-03	-5.80E-06	1.77E-02
48.74	0.50	2.66	1.76E-01	-4.98E-03	3.52E-02	1.43E-01	9.12E-02	7.67E-02	-3.47E-04	3.88E-03	2.30E-05	1.69E-02
48.74	0.50	3.54	1.25E-01	-6.28E-03	3.49E-02	1.34E-01	9.46E-02	7.96E-02	-4.62E-04	4.69E-03	-1.49E-04	1.52E-02
48.74	0.50	4.43	8.28E-02	-1.16E-03	3.89E-02	1.24E-01	9.39E-02	7.94E-02	-2.73E-04	4.48E-03	-3.97E-04	1.30E-02
48.74	0.50	5.32	2.41E-02	-2.73E-04	3.05E-02	1.04E-01	8.24E-02	7.32E-02	-3.39E-05	3.45E-03	2.16E-05	8.12E-03
48.74	0.50	6.20	-1.70E-02	-3.54E-03	2.08E-02	1.01E-01	8.63E-02	7.75E-02	1.58E-04	3.31E-03	-3.90E-04	7.99E-03
48.74	0.50	7.09	-5.54E-02	3.82E-03	1.31E-02	8.66E-02	7.99E-02	7.03E-02	9.60E-05	2.24E-03	-2.43E-04	7.54E-03
48.74 48.74	0.50 0.50	7.98 9.30	-5.96E-02 -7.84E-02	-1.96E-03 2.64E-03	8.67E-03 -3.24E-03	8.97E-02	8.62E-02 5.34E-02	7.12E-02 6.19E-02	2.58E-04 2.23E-05	2.40E-03 1.03E-03	2.16E-05 2.75E-04	8.32E-03 4.27E-03
40.74	0.50	9.50	-7.04E-02	2.04E-U3	-5.24E-U3	5.82E-02	3.34E-02	0.196-02	Z.Z3E-U5	1.U3E-U3	2./JE-U4	4.2/6-03

 $\begin{array}{lll} & & & & & \\ & & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\$

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
53.17	0.50	0.66	1.39E-01	5.56E-05	4.42E-03	1.43E-01	8.18E-02	4.86E-02	-9.03E-04	3.36E-04	3.14E-05	1.38E-02
53.17	0.50	0.89	1.34E-01	-6.26E-03	7.36E-03	9.88E-02	7.05E-02	4.72E-02	2.37E-04	-1.24E-04	-5.63E-05	7.84E-03
53.17	0.50	1.77	1.56E-01	-3.23E-03	1.82E-02	1.45E-01	8.03E-02	6.01E-02	-1.66E-04	1.89E-03	-4.21E-05	1.48E-02
53.17	0.50	2.70	1.47E-01	-3.54E-03	2.94E-02	1.37E-01	8.40E-02	6.61E-02	1.64E-04	2.93E-03	4.23E-05	1.42E-02
53.17	0.50	3.54	1.29E-01	-5.20E-03	3.35E-02	1.28E-01	8.66E-02	7.22E-02	-1.30E-04	3.26E-03	-5.44E-05	1.33E-02
53.17	0.50	4.43	9.05E-02	-1.00E-02	3.52E-02	1.18E-01	8.75E-02	7.34E-02	4.97E-04	3.43E-03	2.51E-04	1.17E-02
53.17	0.50	5.32	5.24E-02	-3.41E-03	2.83E-02	9.58E-02	7.62E-02	7.01E-02	3.53E-04	2.98E-03	-2.86E-05	7.87E-03
53.17	0.50	6.20	1.90E-02	-7.07E-04	2.15E-02	8.37E-02	7.43E-02	6.61E-02	-2.14E-04	2.11E-03	-2.27E-04	5.78E-03
53.17	0.50	7.09	-1.25E-02	7.09E-03	1.52E-02	7.87E-02	7.09E-02	6.48E-02	1.89E-04	1.83E-03	-2.35E-05	5.01E-03
53.17	0.50	7.98	-2.05E-02	6.66E-03	1.36E-02	8.03E-02	7.84E-02	6.83E-02	2.51E-04	1.77E-03	-1.26E-04	5.97E-03
53.17	0.50	9.53	-2.61E-02	8.30E-03	2.63E-03	6.16E-02	6.01E-02	6.02E-02	-9.38E-05	7.00E-04	1.87E-04	3.94E-03
57.60	0.50	0.71	8.72E-02	1.31E-03	8.79E-04	1.13E-01	7.93E-02	4.12E-02	-5.40E-04	1.04E-04	3.03E-05	1.04E-02
57.60	0.50	0.93	9.55E-02	-3.99E-03	1.01E-03	1.03E-01	6.75E-02	3.98E-02	-1.31E-04	3.54E-04	1.02E-04	8.35E-03
57.60	0.50	1.77	8.80E-02	2.37E-03	1.10E-02	1.10E-01	6.97E-02	4.89E-02	-3.81E-05	8.99E-04	7.14E-05	9.63E-03
57.60	0.50	2.66	1.28E-01	-4.77E-03	9.60E-03	1.24E-01	7.81E-02	6.18E-02	-1.20E-04	1.97E-03	6.11E-05	1.27E-02
57.60	0.50	3.54	1.13E-01	-2.59E-03	2.07E-02	1.16E-01	8.07E-02	6.63E-02	4.14E-04	2.85E-03	-9.13E-06	1.22E-02
57.60	0.50	4.43	1.05E-01	-3.81E-03	3.14E-02	1.04E-01	7.97E-02	6.69E-02	6.84E-05	2.55E-03	9.52E-05	1.08E-02
57.60	0.50	5.32	7.47E-02	5.45E-04	2.59E-02	8.72E-02	7.03E-02	6.32E-02	2.42E-04	1.93E-03	-3.41E-05	8.27E-03
57.60	0.50	6.16	5.73E-02	3.26E-03	3.29E-02	8.04E-02	7.36E-02	6.38E-02	1.88E-04	1.70E-03	-1.13E-04	7.98E-03
57.60	0.50	7.04	3.25E-02	1.32E-03	1.83E-02	8.40E-02	7.61E-02	6.64E-02	1.16E-04	2.05E-03	2.05E-04	8.63E-03
57.60	0.50	7.98	1.69E-02	1.03E-03	4.81E-03	7.44E-02	6.86E-02	5.92E-02	1.26E-04	1.28E-03	-7.90E-05	6.88E-03
57.60	0.50	9.53	5.38E-03	-1.07E-05	5.11E-03	6.53E-02	6.12E-02	5.78E-02	-1.99E-04	5.93E-04	4.18E-05	5.68E-03
66.46	0.50	0.66	4.67E-02	7.79E-04	-3.00E-04	6.37E-02	5.44E-02	2.58E-02	9.06E-05	1.52E-05	3.51E-06	2.98E-03
100000000000000000000000000000000000000	15 P. S. P.							F1.78.78.78.78.78.88				
66.46	0.50	0.89	6.69E-02	7.50E-04	-8.31E-04	8.19E-02	6.25E-02	3.56E-02	8.14E-05	-1.24E-04	1.36E-04	4.87E-03
66.46	0.50	1.82	6.31E-02	3.85E-05	4.02E-04	8.01E-02	6.35E-02	4.33E-02	-5.61E-05	-2.40E-04	1.35E-04	5.01E-03
66.46	0.50	2.61	7.15E-02	2.06E-03	2.71E-03	8.19E-02	6.18E-02	5.74E-02	1.61E-04	-5.76E-05	-1.16E-04	5.73E-03
66.46	0.50	3.54	7.14E-02	-3.12E-04	4.09E-03	7.87E-02	6.62E-02	5.00E-02	7.09E-05	5.72E-04	-9.34E-05	5.43E-03 5.39E-03
66.46	0.50	4.39	8.48E-02	9.26E-04	2.73E-03	7.69E-02	6.51E-02	5.00E-02	3.98E-06	5.52E-04	-3.69E-05	
66.46	0.50	5.27	6.51E-02	1.64E-03	3.57E-03	6.60E-02	5.27E-02	4.71E-02	1.00E-05	5.41E-04	-2.00E-05	3.82E-03
66.46	0.50	6.20	7.63E-02	1.04E-03	9.48E-03	7.61E-02	6.48E-02	5.44E-02	-1.18E-04	8.86E-04	-8.41E-06	5.43E-03
66.46	0.50	7.04	6.36E-02	1.44E-03	2.94E-03	6.77E-02	6.16E-02	5.30E-02	3.56E-04	7.07E-04	5.84E-05	4.56E-03
66.46	0.50	7.98	6.85E-02	1.57E-03	-3.33E-03	6.61E-02	6.28E-02	5.48E-02	9.30E-05	5.77E-04	-5.43E-05	4.66E-03
84.18	0.50	0.66	5.36E-02	-3.09E-04	-1.67E-03	3.49E-02	3.60E-02	1.67E-02	-8.61E-05	-3.20E-05	-1.10E-05	1.11E-03
84.18	0.50	0.89	5.61E-02	3.78E-04	-2.18E-03	4.29E-02	5.60E-02	2.29E-02	-6.07E-04	2.15E-05	-1.91E-04	2.20E-03
84.18	0.50	1.77	6.39E-02	-2.65E-03	-2.77E-03	4.30E-02	4.11E-02	2.76E-02	-8.96E-05	-1.29E-04	-1.09E-05	1.75E-03
84.18	0.50	2.66	6.79E-02	-2.43E-03	-1.11E-03	3.80E-02	3.84E-02	2.61E-02	-7.51E-05	-1.15E-04	-1.09E-05	1.48E-03
84.18	0.50	3.50	7.24E-02	-1.61E-03	-4.20E-04	4.30E-02	4.15E-02	3.12E-02	-1.14E-04	-1.11E-04	3.36E-05	1.89E-03
84.18	0.50	4.43	7.51E-02	-6.33E-04	-2.54E-03	4.05E-02	4.08E-02	3.11E-02	-5.21E-05	-5.37E-05	-5.13E-05	1.78E-03
84.18	0.50	5.32	8.24E-02	-2.34E-03	4.85E-04	4.44E-02	4.55E-02	3.47E-02	-1.23E-04	-2.09E-04	-5.62E-06	2.23E-03
84.18	0.50	6.20	9.16E-02	1.53E-04	-8.52E-04	4.42E-02	4.37E-02	3.48E-02	8.43E-05	-1.87E-04	-1.07E-05	2.19E-03
84.18	0.50	7.09	9.40E-02	1.67E-04	-9.52E-04	4.43E-02	4.52E-02	3.51E-02	4.93E-05	-2.96E-05	7.51E-06	2.27E-03
84.18	0.50	7.98	1.01E-01	-2.74E-03	-2.99E-03	4.43E-02	4.53E-02	3.36E-02	2.75E-06	-9.59E-05	5.80E-06	2.26E-03
101.91	0.50	0.66	6.90E-02	4.87E-05	-3.94E-04	2.65E-02	3.07E-02	1.15E-02	-4.73E-05	-3.45E-05	2.55E-05	7.34E-04
101.91	0.50	0.89	6.87E-02	-3.56E-03	-4.50E-04	2.83E-02	3.14E-02	1.31E-02	-8.07E-05	-4.77E-05	-1.72E-05	8.06E-04
101.91	0.50	1.73	7.14E-02	-1.87E-03	4.77E-04	3.09E-02	2.84E-02	1.60E-02	-7.80E-05	-8.25E-05	-1.24E-05	8.37E-04
101.91	0.50	2.66	8.11E-02	-3.25E-03	-1.76E-03	3.19E-02	3.30E-02	2.20E-02	1.56E-05	-8.20E-05	1.66E-05	1.10E-03
101.91	0.50	3.54	8.11E-02	-2.12E-03	-2.97E-04	3.05E-02	3.15E-02	2.29E-02	-3.95E-05	-1.46E-04	-2.77E-05	1.03E-03
101.91	0.50	4.43	8.67E-02	-1.54E-03	-1.16E-03	3.33E-02	3.48E-02	2.65E-02	-1.01E-04	-1.46E-04	-2.05E-05	1.29E-03
101.91	0.50	5.32	8.97E-02	-5.18E-04	-1.13E-03	3.35E-02	3.51E-02	2.62E-02	-5.03E-05	-1.39E-04	1.24E-05	1.31E-03
101.91	0.50	6.20	9.48E-02	-2.27E-03	-2.12E-03	3.20E-02	3.52E-02	2.58E-02	-7.57E-05	-8.83E-05	-2.57E-05	1.27E-03
101.91	0.50	7.09	9.95E-02	-2.02E-03	-2.23E-03	3.16E-02	3.70E-02	2.61E-02	-4.27E-05	-7.70E-05	-1.46E-05	1.34E-03
101.91	0.50	7.98	1.05E-01	-3.41E-03	-1.93E-03	3.22E-02	3.54E-02	2.42E-02	-7.31E-05	-6.52E-05	1.42E-05	1.27E-03

Fr₁[-]= 5.0 (Froude de Ingreso)

S [-]= 0.61 (Sumergencia)

d₁ [m]= 0.037 (Apertura)

W [m]= 0.60 (Ancho del canal)

 h_1 [m]= 0.023 (Sección contraída) U_1 [m/s]= 2.34 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
119.63	0.50	0.66	7.28E-02	2.34E-04	-5.09E-04	2.63E-02	2.74E-02	1.16E-02	-2.41E-05	-3.04E-05	2.64E-05	6.56E-04
119.63	0.50	0.89	7.61E-02	-8.05E-04	-1.15E-03	2.39E-02	2.58E-02	1.04E-02	-6.82E-05	-2.36E-05	4.17E-06	5.64E-04
119.63	0.50	1.77	8.54E-02	-1.89E-03	-2.02E-03	2.30E-02	2.63E-02	1.53E-02	-4.68E-05	-4.04E-05	1.33E-05	6.19E-04
119.63	0.50	2.66	7.92E-02	-1.39E-03	1.21E-03	2.41E-02	2.73E-02	1.86E-02	-7.62E-06	-9.69E-05	7.33E-06	7.04E-04
119.63	0.50	3.54	8.90E-02	-2.71E-03	2.85E-04	2.46E-02	2.58E-02	1.89E-02	-5.01E-05	-2.98E-05	2.04E-05	6.98E-04
119.63	0.50	4.43	8.98E-02	-7.86E-04	-1.13E-03	2.25E-02	2.61E-02	1.86E-02	-1.78E-05	-4.48E-05	9.09E-06	6.59E-04
119.63	0.50	5.32	9.09E-02	-6.86E-04	-8.36E-04	2.47E-02	2.68E-02	1.95E-02	-6.58E-05	-1.05E-04	-1.11E-05	7.37E-04
119.63	0.50	6.20	9.08E-02	-6.32E-04	6.88E-04	2.52E-02	2.66E-02	2.07E-02	-2.10E-05	-1.32E-04	1.35E-06	7.65E-04
119.63	0.50	7.09	9.74E-02	4.74E-05	-4.10E-04	2.79E-02	2.98E-02	2.17E-02	-9.94E-05	-1.22E-04	1.20E-05	9.33E-04
119.63	0.50	7.98	1.05E-01	-2.06E-03	-1.82E-03	2.97E-02	3.03E-02	2.07E-02	-1.38E-05	-1.13E-04	5.76E-06	9.83E-04
128.49	0.50	0.66	7.75E-02	1.52E-04	-1.29E-03	2.33E-02	2.46E-02	1.05E-02	-4.07E-05	-4.78E-05	2.16E-05	5.28E-04
128.49	0.50	0.89	8.04E-02	2.56E-04	-5.65E-04	2.55E-02	2.52E-02	1.17E-02	-6.45E-05	-5.81E-05	2.93E-05	6.01E-04
128.49	0.50	1.77	8.58E-02	-2.32E-03	-5.92E-04	2.31E-02	2.65E-02	1.43E-02	-2.49E-05	-5.69E-05	2.33E-06	6.15E-04
128.49	0.50	2.66	8.65E-02	-1.29E-03	9.48E-04	2.52E-02	2.69E-02	1.65E-02	-7.27E-05	-4.45E-05	-9.23E-06	6.97E-04
128.49	0.50	3.54	8.67E-02	-1.16E-03	3.74E-04	2.26E-02	2.76E-02	1.79E-02	-4.21E-05	-6.67E-05	2.92E-05	6.81E-04
128.49	0.50	4.43	8.85E-02	-2.30E-03	8.01E-04	2.42E-02	2.54E-02	1.87E-02	-8.24E-05	-6.38E-05	2.04E-05	6.79E-04
128.49	0.50	5.27	9.36E-02	-1.53E-03	-1.04E-03	2.44E-02	2.63E-02	1.87E-02	-5.18E-05	-6.40E-05	-1.40E-05	7.08E-04
128.49	0.50	6.20	9.37E-02	1.33E-03	2.68E-04	2.40E-02	2.45E-02	1.80E-02	-3.89E-05	-9.37E-05	-1.55E-05	6.50E-04
128.49	0.50	7.09	9.83E-02	-1.34E-03	-1.20E-03	2.33E-02	2.60E-02	1.88E-02	-7.71E-05	-8.09E-05	-2.09E-05	6.87E-04
128.49	0.50	7.98	1.03E-01	-6.92E-04	-1.95E-03	2.53E-02	2.62E-02	1.86E-02	-2.61E-05	-7.10E-05	-3.84E-06	7.37E-04

 $Fr_1[-]=$ 5.0 (Froude de Ingreso) S[-]= 1.0 (Sumergencia) $d_1[m]=$ 0.037 (Apertura) W[m]= 0.60 (Ancho del canal) $h_1[m]=$ 0.023 (Sección contraída)

U₁ [m/s]= 2.36 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u^*v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U
4.43	0.50	0.66	9.65E-01	-2.14E-02	6.42E-03	3.27E-02	3.63E-02	3.56E-02	-9.47E-05	5.85E-04	-3.40E-05	1.83E-0
4.43	0.50	1.33	1.53E-01	-6.76E-03	-2.92E-02	8.98E-02	7.38E-02	6.08E-02	-3.02E-04	3.89E-03	-9.64E-05	8.61E-0
4.43	0.50	2.75	-4.12E-02	2.80E-03	-4.97E-02	5.43E-02	6.10E-02	3.01E-02	4.28E-05	2.62E-04	-3.93E-05	3.79E-0
4.43	0.50	3.99	-4.35E-02	3.98E-03	-5.30E-02	5.20E-02	6.51E-02	3.27E-02	-3.47E-05	1.29E-04	-1.56E-04	4.01E-0
4.43	0.50	5.32	-5.09E-02	-2.26E-03	-4.99E-02	5.96E-02	6.60E-02	3.28E-02	1.45E-04	1.19E-04	2.85E-05	4.49E-0
4.43	0.50	6.65	-5.13E-02	1.28E-02	-4.01E-02	5.84E-02	6.41E-02	3.28E-02	7.90E-05	7.36E-05	9.08E-05	4.29E-0
4.43	0.50	7.93	-6.58E-02	1.83E-02	-3.29E-02	5.64E-02	6.32E-02	3.07E-02	-7.98E-05	9.01E-05	3.92E-05	4.05E-0
4.43	0.50	9.26	-7.28E-02	1.17E-02	-2.53E-02	5.95E-02	5.91E-02	2.91E-02	-1.43E-04	6.65E-05	2.63E-05	3.94E-0
4.43	0.50	11.08	-7.19E-02	1.63E-02	-1.40E-02	5.86E-02	6.21E-02	3.40E-02	8.01E-05	-1.61E-04	7.41E-05	4.23E-0
8.86	0.50	0.66	8.63E-01	-1.94E-02	3.90E-03	7.17E-02	4.13E-02	7.11E-02	-6.31E-04	4.07E-03	-1.74E-04	5.95E-0
8.86	0.50	1.33	2.76E-01	-5.41E-03	-2.02E-02	1.38E-01	9.72E-02	9.61E-02	-1.29E-03	1.04E-02	-3.59E-04	1.89E-0
8.86	0.50	2.66	-7.17E-02	9.01E-03	-4.44E-02	6.92E-02	6.48E-02	3.69E-02	-5.54E-04	7.72E-04	-1.45E-04	5.18E-0
8.86	0.50	3.99	-8.94E-02	5.72E-03	-4.23E-02	6.73E-02	6.09E-02	3.47E-02	2.74E-05	6.16E-04	1.36E-05	4.72E-0
8.86	0.50	5.32	-9.19E-02	3.75E-03	-3.83E-02	6.94E-02	5.84E-02	3.50E-02	8.15E-05	5.24E-04	-5.96E-05	4.72E-0
8.86	0.50	6.65	-9.88E-02	4.58E-03	-3.22E-02	7.63E-02	5.61E-02	3.50E-02	-1.13E-04	5.59E-04	8.71E-06	5.09E-0
8.86	0.50	7.98	-1.14E-01	4.11E-03	-2.68E-02	6.98E-02	5.74E-02	3.38E-02	-8.04E-05	4.11E-04	-5.77E-05	4.66E-0
8.86	0.50	9.30	-1.14E-01	3.90E-03	TM/50903F4056-2-3265	1 (4 (4 (4 (4 (4 (4 (4 (4 (4 (4 (4 (4 (4	T 275 225 255 075 SAUL	3.16E-02	1.70E-04	1.19E-04	1.28E-04	4.70E-0
	15 445		The second second second	THE STATE OF THE STATE OF	-1.71E-02	7.26E-02	5.61E-02	Control Spinish	ELECTRIC SERVICE SERVICE		INVACED BY	C-2007-49-7-2007
8.86	0.50	11.08	-1.39E-01	3.41E-03	-9.71E-03	5.88E-02	4.72E-02	3.91E-02	1.11E-04	7.99E-05	1.31E-04	3.60E-0
13.29	0.50	0.66	7.80E-01	-7.57E-03	-1.64E-04	1.28E-01	7.41E-02	8.53E-02	-1.81E-03	7.28E-03	-4.44E-04	1,46E-0
13.29	0.50	1.42	3.89E-01	-2.89E-03	-7.41E-03	1.65E-01	1.16E-01	1.08E-01	-1.75E-03	1.23E-02	-5.15E-04	
13.29	0.50	2.66	-1.48E-02	3.69E-03	-3.92E-02	9.33E-02	8.26E-02	6.20E-02	3.46E-04	2.12E-03	4.28E-05	9.68E-0
13.29	0.50	3.99	-8.47E-02	-2.58E-03	-3.89E-02	7.67E-02	6.75E-02	4.37E-02	-1.45E-04	1.14E-03	5.79E-05	6.18E-0
13.29	0.50	5.32	-1.14E-01	3.41E-03	-4.05E-02	7.26E-02	6.58E-02	4.04E-02	8.95E-05	9.13E-04	-5.93E-05	5.62E-0
13.29	0.50	6.65	-1.03E-01	-1.30E-03	-3.18E-02	7.77E-02	6.20E-02	3.87E-02	-4.48E-05	7.66E-04	1.55E-05	5.69E-0
13.29	0.50	7.98	-1.29E-01	1.22E-03	-2.54E-02	7.99E-02	5.91E-02	3.66E-02	-8.07E-05	5.37E-04	2.18E-05	5.60E-0
13.29	0.50	9.30	-1.34E-01	-1.29E-03	-1.85E-02	7.01E-02	5.86E-02	3.20E-02	9.01E-05	5.09E-05	1.05E-05	4.69E-0
13.29	0.50	11.08	-1.50E-01	-2.23E-04	-1.31E-02	6.25E-02	4.88E-02	4.77E-02	4.92E-05	1.77E-04	-6.41E-07	4.28E-0
17.72	0.50	0.66	7.52E-01	-9.75E-03	1.63E-02	1.47E-01	7.15E-02	8.33E-02	-1.37E-03	5.95E-03	-2.98E-04	1.68E-0
17.72	0.50	1.33	5.23E-01	-8.09E-03	1.23E-02	1.68E-01	1.19E-01	1.09E-01	-9.89E-04	1.17E-02	-4.39E-04	2.72E-0
17.72	0.50	2.66	9.72E-02	-2.45E-03	-2.31E-02	1.25E-01	9.80E-02	7.81E-02	-2.13E-04	4.57E-03	-1.68E-04	1.56E-0
17.72	0.50	3.99	-6.40E-02	-3.40E-03	-3.45E-02	8.19E-02	7.86E-02	5.44E-02	5.49E-05	1.38E-03	-1.65E-05	7.93E-0
17.72	0.50	5.32	-9.21E-02	7.81E-03	-3.40E-02	7.37E-02	6.11E-02	4.20E-02	4.86E-04	1.03E-03	8.79E-05	5.46E-0
17.72	0.50	6.65	-1.13E-01	-2.54E-03	-3.30E-02	7.91E-02	6.48E-02	4.29E-02	2.92E-04	7.97E-04	1.93E-05	6.15E-0
17.72	0.50	7.98	-1.41E-01	-1.62E-03	-2.86E-02	8.13E-02	6.28E-02	4.24E-02	1.98E-04	6.37E-04	1.48E-04	6.17E-0
17.72	0.50	9.30	-1.50E-01	-3.54E-03	-1.92E-02	7.43E-02	6.02E-02	3.95E-02	7.15E-05	5.09E-04	1.05E-04	5.36E-0
17.72	0.50	11.08	-1.56E-01	1.83E-03	-1.11E-02	6.06E-02	4.78E-02	5.16E-02	7.88E-05	1.04E-04	-1.25E-04	4.31E-0
22.15	0.50	0.66	7.07E-01	-1.51E-02	1.52E-02	1.39E-01	9.11E-02	7.94E-02	-7.88E-04	4.39E-03	3.50E-05	1.69E-0
22.15	0.50	1.33	5.28E-01	-7.11E-03	1.43E-02	1.67E-01	1.12E-01	1.04E-01	-1.04E-03	9.99E-03	-5.57E-04	2.57E-0
22.15	0.50	2.66	2.12E-01	-8.59E-03	-3.38E-03	1.43E-01	1.08E-01	9.32E-02	-4.66E-04	7.84E-03	2.68E-05	2.04E-0
22.15	0.50	3.99	-1.60E-02	-6.73E-03	-2.51E-02	1.43E-01 1.08E-01	8.91E-02	6.76E-02	-3.63E-04	3.07E-03	8.33E-06	1.20E-0
22.15	0.50	5.32	-7.02E-02	-0.73E-03	-3.31E-02	9.30E-02	7.55E-02	5.44E-02	1.87E-04	1.95E-03	1.85E-04	8.65E-0
22.15	0.50	6.65	-1.09E-01	-4.66E-03	-3.31E-02	8.37E-02	7.04E-02	4.85E-02	5.50E-04	1.22E-03	6.08E-05	7.16E-0
22.15	0.50	7.98	-1.09E-01	-4.66E-03	-3.10E-02 -2.54E-02	8.37E-02 8.30E-02	6.20E-02	4.85E-02 4.56E-02	-2.36E-05	1.22E-03 1.11E-03	2.93E-05	6.40E-
22.15	0.50	9.30	-1.43E-01 -1.67E-01	-3.75E-03	-2.54E-02 -1.74E-02	9.30E-02	8.58E-02	6.05E-02	-2.50E-05	-4.02E-04	1.06E-03	9.83E-
	100000			400000000000000000000000000000000000000		1 2 2 2 2 2 2 2 2 2	11174 755 791	1,1.11.1	THE RESERVE OF THE PARTY OF THE		The Control of the Co	1000
22.15	0.50	11.08	-1.84E-01	1.90E-03	-7.87E-03	5.88E-02	4.92E-02	6.29E-02	-3.25E-05	-5.32E-05	-1.49E-04	4.92E-0
26.58	0.50	0.66	6.24E-01	-8.72E-03	2.33E-03	1.52E-01	8.75E-02	8.38E-02	-1.37E-03	5.10E-03	-1.09E-04	1.89E-0
26.58	0.50	1.33	4.69E-01	-1.11E-02	4.89E-03	1.60E-01	1.07E-01	1.00E-01	-1.17E-03	8.86E-03	-2.52E-04	5.475.760.4549.00
26.58	0.50	2.66	2.28E-01	-1.25E-02	-4.90E-03	1.42E-01	1.12E-01	9.15E-02	6.13E-04	7.70E-03	1.01E-07	2.05E-0
26.58	0.50	3.94	4.14E-02	-8.20E-03	-2.07E-02	1.25E-01	1.01E-01	7.77E-02	-1.66E-04	4.52E-03	-1.88E-04	1.59E-
26.58	0.50	5.32	-5.59E-02	-1.74E-03	-2.84E-02	1.03E-01	8.22E-02	6.59E-02	-3.30E-05	2.87E-03	-2.78E-05	1.08E-
26.58	0.50	6.65	-1.17E-01	-3.88E-03	-2.84E-02	9.74E-02	7.09E-02	5.75E-02	-9.19E-05	1.95E-03	9.29E-05	8.91E-
26.58	0.50	7.98	-1.63E-01	-5.89E-04	-2.45E-02	8.68E-02	6.50E-02	5.34E-02	1.05E-04	1.56E-03	5.42E-05	7.31E-
26.58	0.50	9.30	-1.75E-01	-3.71E-03	-1.36E-02	7.23E-02	5.42E-02	4.40E-02	-1.03E-04	7.54E-04	1.07E-04	5.05E-0
20.56												

 $\begin{array}{lll} & \text{Fr}_1[\text{-}]= & 5.0 & \text{(Froude de Ingreso)} \\ & \text{S [-}]= & 1.0 & \text{(Sumergencia)} \\ & \text{d}_1[\text{m}]= & 0.037 & \text{(Apertura)} \\ & \text{W [m]}= & 0.60 & \text{(Ancho del canal)} \\ & \text{h}_1[\text{m}]= & 0.023 & \text{(Sección contraída)} \\ & \text{U}_1[\text{m/s}]= & 2.36 & \text{(Velocidacidad de ingreso al resalto)} \end{array}$

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
31.01	0.50	0.71	5.74E-01	-1.35E-02	2.64E-03	1.45E-01	9.12E-02	7.58E-02	-1.04E-03	3.76E-03	-2.37E-04	1.75E-02
31.01	0.50	1.33	4.70E-01	-1.42E-02	7.05E-03	1.60E-01	1.03E-01	9.10E-02	-4.46E-04	7.19E-03	-2.12E-04	2.22E-02
31.01	0.50	2.66	2.76E-01	-8.78E-03	2.75E-03	1.47E-01	1.06E-01	9.13E-02	-7.36E-04	7.70E-03	-4.36E-04	2.06E-02
31.01	0.50	4.03	9.06E-02	-1.46E-02	-4.92E-03	1.41E-01	1.09E-01	8.64E-02	4.04E-04	6.02E-03	-2.55E-05	1.96E-02
31.01	0.50	5.27	-3.68E-02	-6.93E-03	-2.28E-02	1.25E-01	9.22E-02	7.65E-02	1.96E-04	4.28E-03	-5.46E-05	1.50E-02
31.01	0.50	6.69	-1.01E-01	-5.23E-03	-1.67E-02	1.03E-01	8.32E-02	6.83E-02	-8.37E-05	2.63E-03	-5.71E-05	1.11E-02
31.01	0.50	7.98	-1.70E-01	1.34E-03	-1.91E-02	8.92E-02	6.99E-02	6.02E-02	-3.73E-05	1.92E-03	1.51E-04	8.23E-03
31.01	0.50	9.30	-1.91E-01	-3.94E-03	-1.02E-02	7.49E-02	5.52E-02	4.80E-02	-1.94E-04	-1.10E-03	-2.22E-05	5.48E-03
31.01	0.50	11.08	-2.39E-01	9.75E-03	-2.76E-02	6.38E-02	5.54E-02	9.75E-02	-9.00E-05	1.19E-03	-4.41E-05	8.32E-03
35.45	0.50	0.66	5.37E-01	-1.09E-02	2.68E-03	1.35E-01	8.74E-02	6.93E-02	-7.09E-04	2.49E-03	-1.48E-04	1.53E-02
35.45 35.45	0.50	1.33 2.66	4.59E-01 2.85E-01	-1.53E-02 -5.95E-03	8.38E-03 1.16E-02	1.51E-01 1.56E-01	9.89E-02 1.12E-01	8.43E-02 9.07E-02	-7.80E-04 4.83E-04	5.41E-03 6.96E-03	-2.07E-04 -2.11E-04	1.98E-02 2.25E-02
35.45	0.50	3.99	1.12E-01	-7.75E-03	1.10E-02 1.12E-03	1.49E-01	1.12E-01 1.10E-01	9.07E-02 9.35E-02	-4.40E-04	6.95E-03	-2.11E-04 -8.82E-05	2.25E-02 2.15E-02
35.45	0.50	5.32	9.57E-03	-1.11E-04	-3.54E-03	1.34E-01	1.02E-01	8.77E-02	3.64E-05	5.74E-03	2.89E-04	1.80E-02
35.45	0.50	6.60	-1.12E-01	-7.43E-03	-1.41E-02	1.14E-01	8.62E-02	7.40E-02	2.01E-04	3.12E-03	-2.79E-04	1.29E-02
35.45	0.50	7.98	-1.68E-01	-1.19E-03	-1.16E-02	1.04E-01	8.06E-02	6.81E-02	2.59E-04	2.94E-03	-2.07E-04	1.10E-02
35.45	0.50	9.30	-2.03E-01	-1.98E-04	-5.94E-03	7.69E-02	6.00E-02	5.27E-02	-2.01E-05	-1.37E-03	1.04E-04	6.14E-03
35.45	0.50	11.08	-2.50E-01	5.79E-03	-3.31E-02	5.69E-02	5.24E-02	1.07E-01	-1.79E-04	1.76E-03	6.93E-04	8.74E-03
39.88	0.50	0.66	5.00E-01	-1.41E-02	7.50E-03	1.38E-01	8.60E-02	6.21E-02	-5.36E-04	1.80E-03	-9.81E-05	1.52E-02
39.88	0.50	1.24	4.46E-01	-1.43E-02	1.27E-02	1.47E-01	9.42E-02	7.62E-02	-7.37E-04	3.91E-03	-2.04E-04	1.82E-02
39.88	0.50	2.75	2.92E-01	-9.42E-03	1.46E-02	1.60E-01	1.10E-01	9.21E-02	1.39E-04	7.11E-03	9.00E-05	2.31E-02
39.88	0.50	3.99	1.71E-01	-1.80E-03	1.40E-02	1.53E-01	1.20E-01	9.44E-02	-5.17E-04	7.40E-03	9.76E-05	2.33E-02
39.88	0.50	5.32	2.13E-02	-4.83E-03	1.04E-02	1.46E-01	1.04E-01	9.07E-02	-7.09E-04	6.36E-03	-2.80E-04	2.02E-02
39.88	0.50	6.69	-8.38E-02	-3.64E-03	1.12E-04	1.25E-01	9.53E-02	8.35E-02	-1.47E-04	4.59E-03	3.99E-06	1.59E-02
39.88	0.50	7.98	-1.51E-01	-1.81E-03	-1.73E-03	1.10E-01	8.68E-02	7.64E-02	4.19E-04	3.82E-03	2.06E-04	1.28E-02
39.88	0.50	9.30	-2.09E-01	1.14E-04	-7.18E-03	7.69E-02	6.39E-02	5.71E-02	1.62E-04	1.66E-03	9.27E-05	6.63E-03
39.88	0.50	11.08	-2.41E-01	1.14E-03	-2.04E-02	5.72E-02	5.96E-02	7.37E-02	-1.01E-04	4.27E-04	3.07E-05	6.13E-03
48.74	0.50	0.66	3.70E-01	-7.17E-03	9.67E-04	1.48E-01	8.45E-02	5.87E-02	-3.20E-04	1.07E-03	-1.30E-04	1.63E-02
48.74	0.50	1.33	3.44E-01	-1.15E-02	9.90E-03	1.51E-01	8.92E-02	7.21E-02	-3.22E-04	2.72E-03	3.90E-05	1.79E-02
48.74	0.50	2.66	2.41E-01	-1.18E-02	2.26E-02	1.50E-01	1.00E-01	8.42E-02	6.41E-04	4.95E-03	-9.94E-05	1.99E-02
48.74	0.50	3.94	1.36E-01	-5.92E-03	2.20E-02	1.49E-01	1.10E-01	9.01E-02	-5.80E-04	6.23E-03	-4.29E-04	2.12E-02
48.74	0.50	5.32	5.11E-02	-8.50E-03	2.05E-02	1.39E-01	1.04E-01	9.18E-02	3.34E-04	5.98E-03	7.26E-05	1.93E-02
48.74	0.50	6.65	-2.67E-02	1.55E-03	1.86E-02	1.27E-01	9.81E-02	8.59E-02	-1.56E-04	5.59E-03	-2.69E-05	1.66E-02
48.74	0.50	7.93	-1.10E-01	-5.28E-03	4.18E-03	1.08E-01	8.93E-02	7.89E-02	-2.13E-04	3.89E-03	9.90E-05	1.29E-02
48.74 48.74	0.50 0.50	9.26 11.08	-1.55E-01	4.61E-03	2.81E-03	9.32E-02	8.06E-02	7.25E-02	8.24E-05	2.89E-03 1.38E-03	2.35E-04 -1.96E-04	1.02E-02 6.91E-03
57.60	0.50	0.66	-1.92E-01 2.07E-01	8.29E-03	-1.12E-02 1.35E-02	6.67E-02 1.72E-01	6.52E-02 8.46E-02	7.15E-02 5.04E-02	-4.51E-05 -9.79E-04	5.46E-04	4.22E-05	1.96E-02
57.60	0.50	1.37	2.07E-01 2.17E-01	-7.63E-03 -5.54E-03	1.83E-02	1.67E-01	8.46E-02 8.21E-02	6.26E-02	-2.86E-04	2.26E-03	3.35E-06	1.98E-02
57.60	0.50	2.66	1.96E-01	-9.27E-03	3.67E-02	1.38E-01	8.39E-02	7.56E-02	-2.06E-04	2.88E-03	-3.26E-04	1.59E-02
57.60	0.50	3.99	1.32E-01	-3.81E-03	4.42E-02	1.33E-01	9.43E-02	8.13E-02	-2.15E-04	3.67E-03	-3.36E-04	1.66E-02
57.60	0.50	5.32	8.44E-02	3.67E-03	5.04E-02	1.10E-01	7.96E-02	7.55E-02	-6.44E-04	2.62E-03	-2.83E-04	1.20E-02
57.60	0.50	6.65	1.41E-02	-4.58E-03	3.82E-02	1.16E-01	9.37E-02	8.82E-02	4.68E-04	4.82E-03	1.57E-04	1.51E-02
57.60	0.50	8.02	-3.83E-02	-3.55E-04	3.16E-02	1.00E-01	8.84E-02	8.24E-02	1.89E-04	3.46E-03	-6.42E-05	1.23E-02
57.60	0.50	9.30	-8.57E-02	2.51E-03	1.80E-02	9.37E-02	8.30E-02	7.43E-02	3.67E-04	2.98E-03	2.78E-04	1.06E-02
57.60	0.50	10.59	-9.88E-02	3.58E-03	2.10E-02	7.40E-02	7.43E-02	6.46E-02	4.67E-04	1.56E-03	-1.44E-04	7.58E-03
57.60	0.50	11.08	-1.16E-01	5.19E-03	2.21E-03	7.12E-02	6.68E-02	7.45E-02	-2.71E-04	1.32E-03	-5.46E-04	7.54E-03
57.60	0.50	12.41	-1.26E-01	2.70E-03	-3.82E-02	6.64E-02	7.18E-02	8.73E-02	-2.24E-05	2.75E-03	-2.87E-04	8.59E-03
66.46	0.50	0.66	6.27E-02	1.22E-03	2.90E-03	1.35E-01	8.64E-02	4.03E-02	-7.82E-04	5.17E-04	1.86E-04	1.37E-02
66.46	0.50	1.15	6.76E-02	-5.39E-03	9.55E-03	1.34E-01	7.68E-02	4.70E-02	2.94E-04	8.65E-04	4.32E-05	1.30E-02
66.46	0.50	2.66	1.02E-01	5.91E-03	2.72E-02	1.34E-01	8.20E-02	6.34E-02	-2.41E-04	2.43E-03	3.37E-05	1.44E-02
66.46	0.50	3.99	8.99E-02	-4.17E-03	3.14E-02	1.22E-01	7.74E-02	7.20E-02	-6.62E-04	3.82E-03	-2.92E-04	1.31E-02
66.46	0.50	5.32	6.12E-02	4.39E-04	3.37E-02	1.11E-01	8.16E-02	7.21E-02	1.22E-05	2.97E-03	3.18E-05	1.21E-02
66.46	0.50	6.65	4.02E-02	-3.65E-03	3.90E-02	1.09E-01	8.30E-02	7.57E-02	2.97E-05	3.28E-03	1.73E-04	1.23E-02
66.46	0.50	8.02	1.69E-02	-3.53E-03	3.36E-02	9.73E-02	7.92E-02	7.33E-02	4.78E-05	2.31E-03	4.39E-05	1.06E-02
66.46	0.50	9.30	-8.45E-03	-8.47E-06	2.71E-02	9.12E-02	7.62E-02	7.12E-02	6.70E-04	2.75E-03	3.24E-04	9.59E-03
66.46	0.50	10.63	-2.04E-02	2.59E-03	1.51E-02	8.20E-02	7.22E-02	6.40E-02	3.24E-04	1.14E-03	-1.64E-04	8.02E-03
66.46 66.46	0.50	11.08 12.41	-1.85E-02 -3.68E-02	2.84E-03 7.48E-04	1.62E-02 3.06E-03	7.53E-02 7.53E-02	5.92E-02 6.28E-02	7.04E-02 5.90E-02	1.28E-04 1.55E-04	1.08E-03 9.78E-04	-1.53E-04 1.48E-04	7.07E-03 7.07E-03
00.40	0.30	12.41	J.00E-02	7.40E-04	J.00E-03	7.33E-UZ	0.200-02	J.50E-02	1.335-04	3.760-04	1.405-04	7.07E-03

Fr₁[-]= 5.0 (Froude de Ingreso) S [-]= 1.0 (Sumergencia) d₁ [m]= 0.037 (Apertura)

W [m] = 0.60 (Ancho del canal) $h_1 [m] = 0.023$ (Sección contraída)

U₁ [m/s]= 2.36 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
75.32	0.50	0.66	2.95E-03	3.49E-04	8.73E-04	6.19E-02	5.45E-02	2.67E-02	2.58E-05	-1.10E-04	7.02E-05	3.76E-03
75.32	0.50	1.33	7.66E-03	-6.44E-04	1.41E-03	6.72E-02	6.02E-02	3.77E-02	3.40E-04	-1.10E-04	8.25E-05	4.78E-03
75.32	0.50	2.70	3.56E-02	6.39E-03	2.34E-03	9.46E-02	7.09E-02	5.08E-02	1.90E-04	2.62E-04	-1.05E-04	8.27E-03
75.32	0.50	3.99	4.61E-02	4.26E-03	1.13E-02	9.11E-02	6.89E-02	5.79E-02	8.29E-05	1.12E-03	3.19E-05	8.19E-03
75.32	0.50	5.32	4.85E-02	-1.36E-03	1.17E-02	9.21E-02	7.91E-02	6.13E-02	-2.52E-04	1.60E-03	-1.47E-04	9.25E-03
75.32	0.50	6.65	5.31E-02	-1.60E-03	1.82E-02	8.67E-02	7.33E-02	6.08E-02	1.13E-04	1.44E-03	2.67E-04	8.29E-03
75.32	0.50	7.98	5.77E-02	3.60E-03	1.31E-02	7.83E-02	7.09E-02	6.34E-02	-8.53E-05	1.06E-03	-1.91E-04	7.59E-03
75.32	0.50	9.30	4.52E-02	-5.70E-04	8.46E-03	7.73E-02	6.69E-02	6.12E-02	2.80E-04	1.26E-03	1.30E-04	7.10E-03
75.32	0.50	10.63	4.88E-02	1.26E-03	1.23E-02	8.19E-02	6.74E-02	6.25E-02	-1.10E-04	6.85E-04	-1.67E-04	7.58E-03
75.32	0.50	11.08	3.81E-02	1.38E-03	2.22E-03	7.40E-02	5.58E-02	6.35E-02	-2.90E-06	8.28E-04	-2.62E-04	6.30E-03
75.32	0.50	12.41	2.35E-02	-2.92E-03	-5.95E-04	6.39E-02	5.73E-02	5.16E-02	-1.60E-04	3.56E-04	5.30E-05	5.01E-03
84.18	0.50	0.66	6.54E-03	-1.46E-03	9.39E-04	4.82E-02	4.63E-02	2.07E-02	-7.42E-05	-8.37E-06	2.25E-05	2.45E-03
84.18	0.50	1.28	1.60E-02	-1.75E-03	-9.12E-04	4.84E-02	4.78E-02	2.78E-02	2.27E-06	-1.86E-04	-2.02E-05	2.70E-03
84.18	0.50	2.66	2.04E-02	-4.97E-04	-1.11E-03	5.16E-02	4.83E-02	3.60E-02	6.59E-05	-2.26E-04	3.53E-05	3.15E-03
84.18	0.50	3.99	3.80E-02	4.50E-03	-9.90E-04	6.44E-02	5.61E-02	4.50E-02	3.32E-04	-2.01E-04	6.12E-05	4.65E-03
84.18	0.50	5.36	4.17E-02	3.90E-03	2.34E-03	5.54E-02	5.49E-02	4.05E-02	3.54E-05	6.73E-06	-2.43E-05	3.86E-03
84.18	0.50	6.65	4.55E-02	-6.97E-04	-3.10E-03	5.98E-02	5.77E-02	4.65E-02	-8.29E-05	2.57E-04	8.91E-05	4.54E-03
84.18	0.50	8.02	6.29E-02	1.57E-03	2.79E-03	6.70E-02	5.91E-02	5.13E-02	-3.29E-05	2.26E-04	1.81E-05	5.31E-03
84.18	0.50	9.30	6.84E-02	2.32E-03	-1.15E-03	6.32E-02	5.91E-02	5.41E-02	-1.76E-04	4.88E-04	-1.78E-04	5.21E-03
84.18	0.50	10.63	6.99E-02	7.39E-03	-9.81E-04	6.61E-02	6.11E-02	4.65E-02	1.06E-05	3.37E-04	2.25E-05	5.13E-03
84.18	0.50	11.08	7.25E-02	8.39E-04	1.14E-03	5.84E-02	5.26E-02	5.47E-02	-6.10E-05	1.38E-04	9.86E-06	4.58E-03
84.18	0.50	12.41	6.50E-02	-2.06E-04	1.71E-03	5.77E-02	5.75E-02	4.39E-02	8.95E-06	5.54E-05	4.73E-05	4.28E-03
93.04	0.50	0.66	2.08E-02	-2.75E-03	-1.41E-03	3.78E-02	4.10E-02	1.93E-02	8.90E-05	-3.91E-05	-1.46E-05	1.74E-03
93.04	0.50	1.33	2.44E-02	-1.31E-03	3.64E-04	3.48E-02	3.36E-02	2.19E-02	-1.23E-04	-1.12E-04	-1.61E-05	1.41E-03
93.04	0.50	2.66	3.45E-02	-1.32E-03	-4.38E-03	3.83E-02	3.68E-02	2.88E-02	-6.48E-07	-9.70E-05	2.76E-05	1.82E-03
93.04	0.50	3.10	3.62E-02	-3.91E-03	-6.62E-04	4.51E-02	4.01E-02	3.09E-02	-2.21E-04	-1.75E-04	-1.99E-05	2.30E-03
93.04	0.50	3.94	4.51E-02	2.12E-03	-6.01E-03	4.37E-02	4.19E-02	3.31E-02	-1.36E-04	-1.84E-05	-3.06E-05	2.38E-03
93.04	0.50	5.32	4.50E-02	7.73E-04	-2.73E-04	4.66E-02	4.64E-02	3.67E-02	-1.65E-04	-3.08E-04	-1.78E-07	2.83E-03
93.04	0.50	6.65	5.30E-02	-3.07E-03	-2.68E-03	5.11E-02	5.25E-02	4.16E-02	3.91E-06	-2.00E-04	-1.79E-04	3.55E-03
93.04	0.50	7.98	6.88E-02	-2.36E-04	-1.13E-03	4.68E-02	4.80E-02	3.99E-02	-4.52E-05	-1.40E-04	7.17E-06	3.04E-03
93.04	0.50	9.26	7.27E-02	-5.95E-04	-3.25E-03	5.13E-02	5.22E-02	4.18E-02	-2.34E-04	4.02E-05	6.20E-05	3.55E-03
110.77	0.50	0.66	4.24E-02	-2.50E-03	-3.98E-05	3.14E-02	3.50E-02	1.31E-02	-1.42E-04	-1.32E-05	2.13E-05	1.19E-03
110.77	0.50	1.37	4.26E-02	-1.66E-03	-1.00E-03	2.89E-02	3.23E-02	1.69E-02	-1.21E-04	-7.93E-05	2.93E-05	1.08E-03
110.77	0.50	2.66	4.29E-02	-9.26E-04	2.72E-03	3.12E-02	3.22E-02	2.22E-02	-2.39E-05	-1.10E-04	-2.50E-05	1.25E-03
110.77	0.50	3.99	5.08E-02	-1.02E-04	2.46E-03	3.39E-02	3.36E-02	2.72E-02	-8.98E-05	-2.18E-04	1.54E-05	1.51E-03
110.77	0.50	5.32	5.90E-02	-4.50E-04	1.23E-03	3.82E-02	3.80E-02	3.08E-02	-1.11E-04	-1.86E-04	-1.32E-04	1.92E-03
110.77	0.50	6.65	6.94E-02	-2.81E-03	-9.47E-04	3.84E-02	4.33E-02	3.30E-02	-7.68E-05	-1.13E-04	2.44E-05	2.22E-03
110.77	0.50	7.98	7.43E-02	-1.97E-03	-2.24E-04	4.10E-02	4.28E-02	3.52E-02	-6.19E-05	-3.74E-04	2.47E-05	2.38E-03
110.77	0.50	9.30	8.57E-02	-1.01E-04	-8.87E-04	4.29E-02	4.53E-02	3.53E-02	-2.11E-04	-3.16E-04	-2.39E-05	2.57E-03
110.77	0.50	10.63	9.46E-02	-4.86E-04	-1.56E-03	4.30E-02	4.59E-02	3.04E-02	-1.84E-04	-1.75E-04	-1.00E-04	2.44E-03
155.07	0.50	0.66	5.43E-02	4.10E-03	-4.95E-04	2.49E-02	2.84E-02	1.04E-02	4.73E-05	-1.32E-05	2.07E-05	7.68E-04
155.07	0.50	1.33	6.68E-02	-5.26E-03	-6.05E-04	2.21E-02	2.56E-02	1.29E-02	-4.45E-05	-4.54E-05	-4.28E-06	6.55E-04
155.07	0.50	2.66	6.68E-02	-1.32E-03	2.20E-03	2.03E-02	2.42E-02	1.59E-02	-5.59E-05	-5.04E-05	-4.26E-06	6.26E-04
155.07	0.50	3.99	6.61E-02	-2.32E-03	1.80E-03	2.45E-02	2.36E-02	1.83E-02	-4.66E-05	-7.49E-05	2.28E-06	7.46E-04
155.07	0.50	5.27	6.77E-02	2.39E-04	1.99E-03	2.40E-02	2.41E-02	1.99E-02	6.00E-06	-9.50E-05	-3.37E-05	7.75E-04
155.07	0.50	6.65	7.35E-02	-1.43E-03	1.13E-03	2.53E-02	2.65E-02	2.08E-02	-4.85E-05	-9.87E-05	-1.13E-05	8.87E-04
155.07	0.50	7.98	7.36E-02	-1.59E-03	1.17E-03	2.41E-02	2.72E-02	2.00E-02	2.75E-05	-9.41E-05	3.72E-07	8.61E-04
155.07	0.50	9.30	7.29E-02	2.94E-04	1.05E-03	2.27E-02	2.50E-02	1.94E-02	-3.00E-05	-1.03E-04	-8.83E-06	7.59E-04
155.07	0.50	10.19	8.16E-02	1.08E-03	-1.32E-03	2.40E-02	2.47E-02	1.73E-02	1.67E-05	-7.48E-05	8.10E-06	7.43E-04
199.38	0.50	0.62	6.30E-02	1.20E-03	-4.91E-04	1.54E-02	2.15E-02	6.91E-03	6.99E-06	-1.80E-05	1.14E-05	3.74E-04
199.38	0.50	1.28	6.71E-02	-1.68E-03	-4.20E-04	1.79E-02	2.04E-02	9.50E-03	-1.45E-05	-3.77E-05	-1.24E-05	4.13E-04
199.38	0.50	2.66	7.07E-02	-2.78E-03	1.87E-03	1.65E-02	1.85E-02	1.18E-02	-3.55E-05	-2.50E-05	-4.79E-06	3.77E-04
199.38	0.50	3.99	7.14E-02	-6.07E-04	2.82E-03	1.50E-02	1.68E-02	1.25E-02	-1.91E-06	-1.44E-05	1.02E-05	3.32E-04
199.38	0.50	5.32	7.39E-02	-7.59E-04	1.22E-03	1.62E-02	1.78E-02	1.35E-02	-1.18E-05	-2.85E-05	-1.06E-05	3.81E-04
199.38	0.50	6.65	7.36E-02	-1.91E-04	2.85E-04	1.65E-02	1.66E-02	1.40E-02	7.64E-06	-3.15E-05	-4.38E-06	3.71E-04
199.38	0.50	7.98	7.51E-02	-9.26E-04	2.87E-04	1.63E-02	1.66E-02	1.38E-02	-1.40E-06	-3.84E-05	-6.21E-06	3.65E-04
199.38	0.50	9.30	7.37E-02	3.09E-05	2.25E-04	1.79E-02	1.88E-02	1.46E-02	1.88E-06	-3.70E-05	1.52E-05	4.45E-04
199.38	0.50	10.59	7.90E-02	1.16E-03	-1.27E-03	1.77E-02	1.66E-02	1.28E-02	1.69E-05	-3.38E-05	1.23E-05	3.76E-04
Ø												

 $\begin{array}{lll} & & & & & \\ Fr_1[\cdot] = & & 5.0 & (Froude de Ingreso) \\ S[\cdot] = & & 1.0 & (Sumergencia) \\ d_1[m] = & 0.037 & (Apertura) \\ W[m] = & 0.60 & (Ancho del canal) \\ h_1[m] = & 0.023 & (Sección contraída) \\ U_1[m/s] = & 2.36 & (Velocidacidad de ingreso al resalto) \end{array}$

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
4.43	0.42	0.66	8.94E-01	-1.23E-02	2.25E-02	7.67E-03	2.59E-02	6.34E-02	-9.62E-04	2.80E-03	-2.21E-04	2.37E-03
4.43	0.42	1.33	2.73E-01	2.95E-02	-1.75E-02	9.16E-02	6.02E-02	7.64E-02	-1.97E-03	8.92E-03	-7.14E-04	8.92E-03
4.43	0.42	2.66	-3.08E-02	4.02E-02	-4.59E-02	5.43E-02	6.68E-02	2.75E-02	1.71E-04	3.17E-04	3.48E-05	4.09E-03
4.43	0.42	3.99	-5.28E-02	3.20E-02	-5.00E-02	5.88E-02	6.30E-02	3.36E-02	2.55E-04	1.50E-04	3.30E-05	4.27E-03
4.43	0.42	5.32	-5.14E-02	2.60E-02	-4.68E-02	5.65E-02	6.41E-02	3.33E-02	6.48E-05	2.23E-04	9.51E-05	4.20E-03
4.43	0.42	6.65	-6.25E-02	3.98E-02	-4.29E-02	6.02E-02	6.21E-02	3.30E-02	-1.38E-04	2.30E-04	1.91E-04	4.29E-03
4.43	0.42	7.98	-7.02E-02	2.92E-02	-3.49E-02	5.91E-02	6.29E-02	3.05E-02	5.20E-06	2.63E-04	8.80E-05	4.19E-03
4.43	0.42	9.30	-7.68E-02	3.82E-02	-2.45E-02	5.63E-02	6.15E-02	2.84E-02	3.94E-04	1.28E-04	1.99E-05	3.88E-03
8.86	0.42	0.66	8.60E-01	-2.71E-02	9.82E-03	7.46E-02	3.38E-02	7.24E-02	-9.94E-04	4.12E-03	-2.24E-04	5.98E-03
8.86	0.42	1.33	3.47E-01	1.61E-02	-1.42E-02	1.39E-01	1.12E-01	1.06E-01	-2.95E-03	1.20E-02	-1.05E-03	2.16E-02
8.86	0.42	2.66	-4.78E-02	2.08E-02	-4.79E-02	7.68E-02	6.34E-02	3.92E-02	3.50E-04	7.21E-04	2.06E-04	5.73E-03
8.86	0.42	3.99	-8.63E-02	6.04E-03	-4.44E-02	6.79E-02	6.08E-02	3.54E-02	9.75E-05	6.81E-04	1.59E-04	4.78E-03
8.86	0.42	5.32	-9.54E-02	8.78E-03	-3.85E-02	6.59E-02	5.94E-02	3.73E-02	1.78E-04	7.40E-04	1.87E-04	4.64E-03
8.86	0.42	6.65	-1.15E-01	3.40E-03	-3.26E-02	7.04E-02	5.81E-02	3.57E-02	2.09E-04	4.61E-04	9.44E-05	4.80E-03
8.86	0.42	7.98	-1.21E-01	1.07E-02	-2.74E-02	7.35E-02	5.43E-02	3.32E-02	3.76E-05	3.73E-04	8.26E-05	4.73E-03
8.86	0.42	9.30	-1.13E-01	6.31E-03	-1.94E-02	6.50E-02	5.16E-02	2.86E-02	1.16E-05	1.94E-04	3.96E-05	3.85E-03
13.29	0.42	0.66	7.83E-01	-2.17E-02	3.18E-03	1.38E-01	7.10E-02	8.70E-02	-1.83E-03	7.25E-03	-2.74E-04	1.58E-02
13.29	0.42	1.33	4.61E-01	-6.90E-03	-7.17E-03	1.66E-01	1.21E-01	1.13E-01	-2.34E-03	1.29E-02	-7.17E-04	2.75E-02
13.29	0.42	2.66	7.97E-03	-1.60E-03	-4.41E-02	1.03E-01	8.32E-02	6.55E-02	5.20E-04	2.72E-03	2.96E-04	1.09E-02
13.29	0.42	3.99	-9.11E-02	-3.72E-03	-4.39E-02	7.53E-02	6.62E-02	4.26E-02	1.67E-04	1.07E-03	2.42E-04	5.93E-03
13.29	0.42	5.32	-1.05E-01	-9.80E-03	-4.10E-02	7.43E-02	6.30E-02	4.00E-02	-1.63E-05	7.25E-04	2.37E-04	5.54E-03
13.29	0.42	6.65	-1.29E-01	-8.07E-03	-3.58E-02	7.57E-02	6.14E-02	3.93E-02	7.66E-05	8.62E-04	2.57E-04	5.52E-03
13.29	0.42	7.98	-1.32E-01	-6.47E-03	-2.85E-02	7.33E-02	6.05E-02	3.87E-02	-2.53E-04	6.52E-04	1.41E-04	5.27E-03
13.29	0.42	9.30	-1.54E-01	-1.09E-02	-1.86E-02	8.24E-02	6.66E-02	3.99E-02	2.56E-04	7.84E-04	4.05E-04	6.40E-03
17.72	0.42	0.66	7.58E-01	-8.12E-03	1.99E-02	1.43E-01	8.04E-02	8.19E-02	-1.73E-03	5.02E-03	-2.04E-04	1.68E-02
17.72	0.42	1.33	5.14E-01	-2.03E-03	1.33E-02	1.70E-01	1.19E-01	1.07E-01	-1.28E-03	1.16E-02	-5.49E-04	2.73E-02
17.72	0.42	2.66	8.14E-02	-4.75E-03	-2.11E-02	1.19E-01	1.02E-01	8.02E-02	4.05E-04	4.64E-03	3.38E-04	1.55E-02
17.72	0.42	3.99	-5.21E-02	-8.51E-03	-3.61E-02	7.97E-02	7.95E-02	5.33E-02	-9.13E-06	1.54E-03	4.26E-04	7.75E-03
17.72	0.42	5.32	-9.86E-02	-1.92E-02	-4.08E-02	8.13E-02	6.90E-02	4.82E-02	-6.55E-04	1.33E-03	1.22E-04	6.84E-03
17.72	0.42	6.65	-1.02E-01	-1.55E-02	-3.18E-02	7.87E-02	6.63E-02	4.30E-02	1.64E-04	9.32E-04	1.76E-04	6.22E-03
17.72	0.42	7.98	-1.15E-01	-1.29E-02	-3.65E-02	8.12E-02	6.41E-02	4.19E-02	8.53E-05	6.89E-04	1.57E-04	6.23E-03
17.72	0.42	9.30	-1.48E-01	-8.15E-03	-2.19E-02	7.43E-02	6.14E-02	3.82E-02	1.96E-04	3.52E-04	8.92E-05	5.38E-03
22.15	0.42	0.66	6.50E-01	-4.83E-03	1.52E-02	1.52E-01	9.28E-02	8.74E-02	-1.38E-03	7.01E-03	-2.52E-04	1.97E-02
22.15	0.42	1.33	5.35E-01	-1.96E-03	1.75E-02	1.62E-01	1.07E-01	1.03E-01	-1.61E-03	9.35E-03	-2.84E-04	2.41E-02
22.15 22.15	0.42	2.66 3.99	1.15E-01 -1.08E-02	-2.47E-02 -1.03E-02	2.65E-03 -3.45E-02	1.52E-01 9.48E-02	9.99E-02 8.04E-02	9.23E-02 6.04E-02	3.75E-04 -1.83E-04	1.02E-03 2.28E-03	-1.76E-05 9.08E-05	2.09E-02 9.55E-03
22.15	0.42	5.32	-7.31E-02	-1.58E-02	-3.49E-02	9.50E-02	8.26E-02	5.99E-02	-8.74E-05	2.28E-03	2.37E-04	9.72E-03
22.15	0.42	6.65	-1.09E-01	-1.01E-02	-3.32E-02	8.36E-02	6.91E-02	4.85E-02	6.11E-05	1.33E-03	1.18E-04	7.06E-03
22.15	0.42	7.98	-1.81E-01	-8.36E-03	-1.89E-02	9.08E-02	6.53E-02	4.80E-02	-3.85E-04	4.74E-04	1.02E-04	7.40E-03
22.15	0.42	9.30	-1.59E-01	-9.18E-03	-1.99E-02	8.11E-02	6.26E-02	4.26E-02	-3.92E-04	6.16E-04	1.83E-04	6.15E-03
26.58	0.42	0.66	5.71E-01	-4.93E-03	1.01E-02	1.61E-01	1.01E-01	9.43E-02	-1.86E-03	4.49E-03	-2.73E-04	2.25E-02
26.58	0.42	1.33	4.72E-01	-1.34E-02	5.59E-03	1.62E-01	1.16E-01	1.00E-01	-8.01E-04	8.84E-03	-5.28E-05	2.47E-02
26.58	0.42	2.66	2.47E-01	-1.36E-02	9.64E-04	1.46E-01	1.09E-01	9.63E-02	-8.70E-04	6.87E-03	5.97E-05	2.12E-02
26.58	0.42	3.99	5.50E-02	-2.80E-03	-2.01E-02	1.18E-01	9.50E-02	7.63E-02	-8.07E-04	4.13E-03	-4.48E-05	1.44E-02
26.58	0.42	5.32	-6.61E-02	-6.64E-03	-3.64E-02	1.04E-01	8.35E-02	6.76E-02	9.88E-05	2.86E-03	5.33E-05	1.11E-02
26.58	0.42	6.65	-1.31E-01	-3.09E-03	-3.16E-02	9.71E-02	7.31E-02	6.07E-02	1.86E-04	2.14E-03	-2.01E-06	9.22E-03
26.58	0.42	7.98	-1.58E-01	-2.93E-03	-2.45E-02	9.03E-02	6.77E-02	5.38E-02	-6.34E-04	1.78E-03	1.55E-04	7.82E-03
26.58	0.42	9.30	-1.74E-01	-4.23E-03	-1.57E-02	7.48E-02	5.47E-02	4.29E-02	-4.21E-04	9.45E-04	-9.06E-05	5.22E-03
26.58	0.42	10.63	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
26.58	0.42	11.96	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		22.5										

Fr₁[-]= 5.0 (Froude de Ingreso) S [-]= 1.0 (Sumergencia)

 $\begin{array}{lll} d_1\,[m] = & 0.037 & (Apertura) \\ W\,[m] = & 0.60 & (Ancho del canal) \\ h_1\,[m] = & 0.023 & (Sección contraída) \end{array}$

U₁ [m/s]= 2.36 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
31.01	0.42	0.66	5.69E-01	-7.61E-03	7.28E-03	1.47E-01	9.02E-02	7.50E-02	-9.91E-04	4.01E-03	1.67E-05	1.77E-02
31.01	0.42	1.33	4.78E-01	-1.20E-02	9.19E-03	1.59E-01	1.02E-01	9.29E-02	-6.40E-04	7.23E-03	2.72E-04	2.21E-02
31.01	0.42	2.66	2.83E-01	9.67E-03	5.89E-03	1.53E-01	1.12E-01	9.59E-02	-5.29E-04	7.93E-03	8.71E-05	2.26E-02
31.01	0.42	3.99	8.70E-02	-1.75E-02	-8.57E-03	1.46E-01	1.07E-01	8.78E-02	-3.26E-05	6.52E-03	7.08E-05	2.02E-02
31.01	0.42	5.32	-1.95E-02	-2.80E-03	-1.75E-02	1.25E-01	9.46E-02	7.80E-02	3.91E-04	4.19E-03	-5.22E-05	1.53E-02
31.01	0.42	6.65	-1.09E-01	-2.64E-03	-2.45E-02	1.13E-01	8.04E-02	6.72E-02	1.40E-04	2.99E-03	-8.68E-05	1.18E-02
31.01	0.42	7.98	-1.54E-01	-2.20E-03	-1.66E-02	9.70E-02	7.24E-02	6.39E-02	2.72E-04	2.51E-03	-9.12E-05	9.37E-03
31.01	0.42	9.30	-1.90E-01	-7.54E-03	-1.55E-02	8.13E-02	5.83E-02	5.06E-02	-3.84E-04	1.41E-03	4.84E-05	6.28E-03
35.45	0.42	0.66	5.30E-01	-1.14E-02	7.99E-03	1.39E-01	8.71E-02	6.88E-02	-7.20E-04	2.76E-03	4.97E-05	1.59E-02
35.45	0.42	1.33	4.55E-01	-7.46E-03	1.04E-02	1.56E-01	9.83E-02	8.31E-02	-9.52E-04	5.15E-03	1.16E-04	2.04E-02
35.45	0.42	2.66	3.02E-01	-5.55E-03	5.88E-03	1.54E-01	1.14E-01	9.53E-02	-7.32E-04	7.83E-03	1.72E-04	2.30E-02
35.45	0.42	3.99	1.39E-01	-1.26E-02	6.43E-03	1.51E-01	1.16E-01	9.38E-02	-7.75E-04	7.01E-03	1.19E-04	2.25E-02
35.45	0.42	5.32	6.06E-03	-1.18E-03	-7.25E-04	1.41E-01	1.05E-01	8.79E-02	-7.68E-04	5.76E-03	-5.08E-04	1.94E-02
35.45	0.42	6.65	-8.52E-02	6.25E-03	-4.12E-03	1.19E-01	9.12E-02	7.98E-02	-2.54E-04	4.42E-03	1.97E-04	1.44E-02
35.45	0.42	7.98	-1.26E-01	1.61E-03	-2.67E-02	1.19E-01	7.59E-02	6.44E-02	-4.47E-04	4.16E-03	-3.85E-05	1.20E-02
35.45	0.42	9.30	-2.14E-01	-9.34E-03	-1.18E-02	6.72E-02	5.78E-02	4.95E-02	-2.72E-04	8.84E-04	6.78E-05	5.16E-03
35.45	0.42	10.63	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
35.45	0.42	11.96	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
39.88	0.42	0.66	5.00E-01	-6.41E-03	6.04E-03	1.37E-01	9.19E-02	4.77E-02	-9.94E-04	1.03E-03	2.02E-05	1.47E-02
39.88	0.42	1.33	4.41E-01	-1.01E-02	1.25E-02	1.48E-01	9.25E-02	7.79E-02	-6.17E-04	4.23E-03	4.14E-05	1.83E-02
39.88	0.42	2.66	3.03E-01	-8.56E-03	1.65E-02	1.62E-01	1.11E-01	9.17E-02	-1.42E-03	7.22E-03	-3.09E-05	2.35E-02
39.88	0.42	3.99	1.49E-01	-7.51E-03	1.54E-02	1.57E-01	1.17E-01	9.53E-02	-8.54E-04	7.41E-03	5.93E-05	2.37E-02
39.88	0.42	5.32	1.95E-02	-8.16E-03	-3.60E-04	1.44E-01	1.07E-01	9.42E-02	-3.62E-04	6.68E-03	1.53E-05	2.05E-02
39.88	0.42	6.65	-7.51E-02	2.48E-03	5.30E-03	1.28E-01	9.82E-02	8.62E-02	1.91E-04	4.94E-03	2.69E-04	1.67E-02
39.88	0.42	7.98	-1.50E-01	5.77E-03	-5.00E-03	1.05E-01	7.92E-02	7.39E-02	-2.06E-04	3.15E-03	1.44E-04	1.14E-02
39.88	0.42	9.30	-2.07E-01	8.29E-04	-1.39E-02	7.49E-02	6.35E-02	5.75E-02	-3.79E-04	1.64E-03	9.98E-06	6.47E-03
39.88	0.42	10.63	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
39.88	0.42	11.96	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
48.74	0.42	0.66	3.59E-01	-2.77E-03	-2.39E-03	1.50E-01	9.69E-02	5.93E-02	-1.56E-03	8.84E-04	3.80E-05	1.78E-02
48.74	0.42	1.33	3.30E-01	-6.56E-03	5.82E-03	1.50E-01	8.95E-02	7.42E-02	-7.95E-04	3.21E-03	1.97E-04	1.79E-02
48.74	0.42	2.66	2.37E-01	-5.84E-04	2.22E-02	1.46E-01	1.00E-01	8.20E-02	-8.43E-04	4.45E-03	1.97E-04	1.90E-02
48.74	0.42	3.99	1.52E-01	3.00E-03	2.87E-02	1.47E-01	1.10E-01	8.65E-02	-7.67E-04	5.74E-03	2.30E-04	2.06E-02
48.74 48.74	0.42	5.32 6.65	4.29E-02 -3.16E-02	3.36E-04 -1.09E-03	2.34E-02 1.06E-02	1.33E-01 1.23E-01	1.02E-01 9.65E-02	9.25E-02 8.33E-02	-1.99E-04 -2.88E-04	5.90E-03 4.59E-03	3.75E-04 9.33E-05	1.83E-02 1.57E-02
48.74	0.42	7.98	-3.16E-02	4.52E-03	1.14E-02	1.10E-01	9.05E-02 9.10E-02	8.06E-02	-1.20E-03	3.82E-03	6.30E-06	1.34E-02
48.74	0.42	9.30	-1.63E-01	1.71E-03	-3.61E-04	8.58E-02	7.69E-02	7.12E-02	-1.20E-03	2.47E-03	3.41E-04	9.18E-03
48.74	0.42	10.63	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1510-52*GR08010a2551	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
48.74	0.42	11.96	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
57.60	0.42	0.66	1.98E-01	3.89E-03	7.83E-03	1.45E-01	7.83E-02	4.77E-02	-1.44E-03	6.08E-04	-2.75E-05	1.47E-02
57.60	0.42	1.33	2.04E-01	-1.26E-03	2.19E-02	1.56E-01	8.27E-02	6.01E-02	-1.76E-03	1.36E-03	6.40E-05	1.73E-02
57.60	0.42	2.66	1.71E-01	5.67E-04	3.23E-02	1.35E-01	8.78E-02	7.43E-02	-1.27E-03	2.89E-03	-2.13E-04	1.57E-02
57.60	0.42	3.99	1.31E-01	-3.68E-03	4.41E-02	1.25E-01	8.60E-02	7.65E-02	-9.22E-04	3.81E-03	2.43E-04	1.45E-02
57.60	0.42	5.32	6.96E-02	-1.09E-03	3.94E-02	1.13E-01	8.60E-02	7.78E-02	-9.05E-04	3.12E-03	5.51E-04	1.31E-02
57.60	0.42	6.65	7.91E-03	-3.02E-03	3.07E-02	1.11E-01	8.60E-02	8.31E-02	-9.68E-04	4.28E-03	-1.29E-04	1.33E-02
57.60	0.42	7.98	-5.40E-02	3.31E-03	2.43E-02	9.50E-02	8.22E-02	7.77E-02	-1.23E-03	2.88E-03	1.04E-04	1.09E-02
57.60	0.42	9.30	-6.58E-02	2.60E-03	2.68E-02	9.38E-02	8.40E-02	7.82E-02	-9.54E-04	2.90E-03	-1.21E-04	1.10E-02
57.60	0.42	10.63	-1.01E-01	3.14E-03	1.24E-02	7.15E-02	6.99E-02	6.21E-02	-5.11E-04	1.38E-03	6.72E-05	6.93E-03
57.60	0.42	11.96	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
66.46	0.42	0.66	5.11E-02	7.80E-03	1.62E-03	1.20E-01	7.33E-02	4.16E-02	-1.18E-03	1.62E-04	-1.13E-04	1.07E-02
66.46	0.42	1.33	1.03E-01	-1.99E-03	5.09E-03	1.30E-01	7.61E-02	5.01E-02	-6.10E-04	1.15E-03	-1.91E-04	1.26E-02
66.46	0.42	2.66	1.78E-01	4.99E-03	2.61E-03	1.15E-01	8.28E-02	5.99E-02	-1.00E-03	1.97E-03	-1.54E-04	1.19E-02
66.46	0.42	3.99	8.71E-02	1.05E-03	3.45E-02	1.20E-01	8.01E-02	6.86E-02	-7.36E-04	2.76E-03	1.02E-07	1.28E-02
66.46	0.42	5.32	5.80E-02	3.49E-03	3.38E-02	1.06E-01	7.79E-02	7.58E-02	-6.48E-04	1.59E-03	-5.81E-05	1.15E-02
66.46	0.42	6.65	5.69E-02	3.06E-03	4.03E-02	9.04E-02	7.83E-02	6.94E-02	-9.02E-04	2.21E-03	-2.84E-05	9.57E-03
66.46	0.42	7.98	3.81E-02	1.69E-03	2.32E-02	8.72E-02	7.74E-02	7.44E-02	6.38E-05	2.14E-03	6.34E-05	9.57E-03
66.46	0.42	9.30	-1.02E-02	1.30E-03	1.56E-02	7.52E-02	7.19E-02	6.86E-02	-3.11E-04	1.82E-03	2.07E-04	7.77E-03
66.46	0.42	10.63	-2.42E-02	-4.70E-03	8.36E-03	6.95E-02	6.52E-02	6.05E-02	-5.31E-04	1.06E-03	-7.97E-06	6.38E-03

 $Fr_1[-]=$ 5.0 (Froude de Ingreso) S [-]= 1.0 (Sumergencia) $d_1[m]=$ 0.037 (Apertura)

W [m] = 0.60 (Ancho del canal) $h_1 [m] = 0.023$ (Sección contraída)

U₁[m/s]= 2.36 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	ν/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w^{'2}}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
75.32	0.42	0.66	2.28E-02	7.59E-04	3.49E-04	7.12E-02	5.88E-02	3.00E-02	-4.91E-05	-1.15E-04	-2.28E-05	4.71E-03
75.32	0.42	1.33	1.49E-02	-1.68E-03	-3.07E-03	6.41E-02	5.55E-02	3.49E-02	-5.42E-05	-1.34E-05	-3.13E-05	4.20E-03
75.32	0.42	2.66	7.22E-02	-7.72E-04	-7.30E-04	1.00E-01	7.51E-02	5.54E-02	1.00E-04	8.48E-04	7.31E-04	9.41E-03
75.32	0.42	3.99	5.31E-02	-1.67E-03	7.36E-03	8.85E-02	6.73E-02	5.43E-02	-5.86E-04	6.98E-04	-2.55E-04	7.65E-03
75.32	0.42	5.32	5.01E-02	-1.20E-03	3.04E-03	7.50E-02	6.35E-02	4.90E-02	-7.16E-04	1.01E-03	-1.59E-04	6.03E-03
75.32	0.42	6.65	6.56E-02	-8.01E-03	1.09E-02	8.28E-02	6.79E-02	6.07E-02	-6.28E-04	1.44E-03	-4.59E-05	7.58E-03
75.32	0.42	7.98	4.29E-02	-1.10E-03	9.58E-03	7.41E-02	6.59E-02	6.03E-02	-5.16E-04	1.33E-03	5.41E-05	6.74E-03
75.32	0.42	9.30	5.68E-02	1.58E-03	1.31E-02	7.74E-02	6.66E-02	5.93E-02	-2.26E-04	1.31E-03	-7.48E-05	6.97E-03
75.32	0.42	10.63	2.89E-02	-9.01E-04	4.42E-03	6.66E-02	6.32E-02	5.33E-02	-7.28E-04	8.36E-04	-2.99E-04	5.63E-03
75.32	0.42	11.96	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
84.18	0.42	0.66	1.56E-02	5.23E-03	-1.44E-03	4.35E-02	4.39E-02	2.09E-02	-5.90E-05	-8.71E-05	-4.45E-05	2.13E-03
84.18	0.42	1.33	2.09E-02	1.58E-03	2.81E-04	4.92E-02	4.66E-02	2.83E-02	-6.12E-05	-1.04E-04	6.39E-07	2.70E-03
84.18	0.42	2.66	6.48E-02	-3.21E-03	-5.61E-03	5.65E-02	4.80E-02	3.58E-02	-2.20E-04	-3.27E-04	-5.43E-05	3.39E-03
84.18	0.42	3.99	4.20E-02	2.34E-04	-3.68E-03	6.42E-02	6.25E-02	4.99E-02	-3.29E-04	-2.42E-04	-1.66E-04	5.26E-03
84.18	0.42	5.32	5.32E-02	2.47E-03	6.13E-04	5.69E-02	5.41E-02	4.07E-02	-2.10E-04	-3.58E-05	-2.82E-07	3.91E-03
84.18	0.42	6.65	6.59E-02	5.07E-04	3.22E-03	6.62E-02	5.93E-02	5.27E-02	-4.48E-04	4.11E-04	-2.95E-05	5.34E-03
84.18	0.42	7.98	6.20E-02	-4.48E-04	4.26E-03	5.86E-02	5.06E-02	4.44E-02	-3.62E-05	3.76E-04	-2.31E-05	3.98E-03
84.18	0.42	9.30	6.44E-02	-2.65E-03	-2.27E-04	5.96E-02	5.62E-02	4.55E-02	-3.32E-04	2.11E-04	1.35E-05	4.39E-03
84.18	0.42	10.63	7.84E-02	1.56E-03	2.76E-03	6.48E-02	5.57E-02	4.66E-02	-5.03E-04	2.83E-04	-1.48E-04	4.73E-03
84.18	0.42	11.96	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

 $Fr_1[-]=$ 5.0 (Froude de Ingreso) S [-]= 1.0 (Sumergencia) $d_1[m]=$ 0.037 (Apertura)

W [m]= 0.60 (Ancho del canal) h₁ [m]= 0.023 (Sección contraída)

U₁ [m/s]= 2.36 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U
4.43	0.25	0.66	8.99E-01	-1.11E-02	2.05E-02	4.27E-02	2.62E-02	6.18E-02	-7.80E-04	2.84E-03	-1.62E-04	2.48E-0
4.43	0.25	1.33	1.07E-01	7.53E-02	-3.83E-02	7.07E-02	6.73E-02	4.47E-02	-9.26E-05	1.43E-03	-6.32E-05	5.76E-0
4.43	0.25	2.66	-5.02E-03	5.73E-02	-4.60E-02	5.70E-02	6.58E-02	2.94E-02	1.05E-03	3.70E-05	2.74E-04	4.22E-0
4.43	0.25	3.99	-1.85E-02	7.69E-02	-4.28E-02	4.88E-02	5.77E-02	3.19E-02	6.67E-04	2.27E-04	3.48E-04	3.36E-0
4.43	0.25	5.32	-3.02E-02	7.47E-02	-4.03E-02	5.16E-02	5.81E-02	3.32E-02	6.35E-04	2.87E-04	2.49E-04	3.57E-0
4.43	0.25	6.65	-3.10E-02	8.41E-02	-3.52E-02	4.69E-02	4.62E-02	2.71E-02	5.84E-04	2.76E-04	3.04E-04	2.53E-0
4.43	0.25	7.98	-4.38E-02	6.67E-02	-2.77E-02	5.83E-02	5.99E-02	3.30E-02	1.06E-03	4.67E-04	2.43E-04	4.04E-0
4.43	0.25	9.30	-4.15E-02	6.16E-02	-1.83E-02	5.54E-02	5.83E-02	2.89E-02	1.13E-03	2.83E-04	1.84E-04	3.65E-0
8.86	0.25	0.66	8.55E-01	-1.81E-02	-4.89E-03	5.07E-02	3.80E-02	5.66E-02	-5.74E-04	2.68E-03	-2.77E-04	3.61E-
8.86	0.25	1.33	3.77E-01	4.08E-02	-7.90E-03	1.35E-01	9.22E-02	1.01E-01	-2.36E-03	1.13E-02	-8.47E-04	1.86E-0
8.86	0.25	2.66	-2.68E-02	2.47E-02	-3.87E-02	6.65E-02	6.48E-02	3,88E-02	6.11E-04	7.76E-04	4.58E-04	5.06E-
8.86	0.25	3.99	-4.21E-02	2.12E-02	-3.22E-02	6.16E-02	6.41E-02	3.67E-02	8.11E-04	6.81E-04	4.42E-04	4.63E-
8.86	0.25	5.32	-7.22E-02	1.52E-02	-2.05E-02	6.66E-02	6.47E-02	4.26E-02	6.88E-04	7.41E-04	6.48E-04	5.22E-
8.86	0.25	6.65	-6.84E-02	6.33E-03	-2.78E-02	6.53E-02	6.30E-02	4.08E-02	4.92E-04	7.95E-04	6.90E-04	4.95E-
8.86	0.25	7.98	-6.64E-02	5.39E-03	-2.07E-02	6.74E-02	6.01E-02	3.80E-02	4.34E-04	8.01E-04	5.70E-04	4.80E-
8.86	0.25	9.30	-7.18E-02	1.60E-03	-1.40E-02	6.79E-02	5.50E-02	3.16E-02	2.82E-04	6.01E-04	3.13E-04	4.32E-
13.29	0.25	0.66	7.80E-01	-9.44E-03	5.70E-03	1.09E-01	6.69E-02	7.52E-02	-1.87E-03	5.86E-03	-3.59E-04	1.10E-
13.29	0.25	1.33	4.22E-01	2.19E-02	3.86E-03	1.61E-01	1.10E-01	1.07E-01	-2.23E-03	1.20E-02	-2.99E-04	2.47E-
13.29	0.25	2.66	3.50E-02	1.11E-02	-3.17E-02	9.19E-02	7.72E-02	6.26E-02	7.60E-05	2.39E-03	9.49E-04	9.17E-
13.29	0.25	3.99	-3.96E-02	-2.73E-02	-3.65E-02	6.64E-02	6.88E-02	4.45E-02	-2.80E-04	8.40E-04	6.86E-04	5.56E-
13.29	0.25	5.32	-5.78E-02	-3.05E-02	-3.40E-02	6.61E-02	6.56E-02	4.67E-02	-7.35E-04	5.36E-04	4.38E-04	5.43E-
13.29	0.25	6.65	-6.80E-02	-3.40E-02	-3.23E-02	7.05E-02	6.33E-02	4.33E-02	-8.49E-04	5.57E-04	3.97E-04	5.42E-
13.29	0.25	7.98	-8.23E-02	-3.09E-02	-2.51E-02	7.86E-02	6.35E-02	4.29E-02	-9.37E-04	5.87E-04	2.65E-04	6.03E-
13.29	0.25	9.30	-9.57E-02	-2.10E-02	-1.40E-02	7.54E-02	5.84E-02	3.47E-02	-5.32E-04	3.51E-04	1.58E-04	5.16E-
17.72	0.25	0.66	7.08E-01	-3.36E-03	1.96E-02	1.24E-01	8.16E-02	8.03E-02	-2.28E-03	6.62E-03	-5.78E-04	1.42E-
17.72	0.25	1.33	4.88E-01	2.96E-03	1.52E-02	1.61E-01	1.09E-01	1.05E-01	-1.76E-03	1.11E-02	-8.32E-05	2.45E-
17.72	0.25	2.66	1.38E-01	-3.03E-03	-1.27E-02	1.30E-01	9.57E-02	8.44E-02	-9.63E-04	5.80E-03	9.78E-04	1.67E-
17.72	0.25	3.99	-2.03E-02	-3.50E-02	-3.99E-02	6.61E-02	6.00E-02	4.50E-02	-1.16E-03	7.98E-04	2.52E-04	5.00E-
17.72	0.25	5.32	-5.07E-02	-2.97E-02	-3.41E-02	7.21E-02	6.82E-02	4.31E-02	-1.79E-03	5.91E-04	2.32E-04	5.85E-
17.72	0.25	6.65	-8.65E-02	-2.87E-02	-3.56E-02	7.94E-02	6.84E-02	4.53E-02	-1.51E-03	7.45E-04	3.20E-04	6.51E-
17.72	0.25	7.98	-8.94E-02	-3.21E-02	-2.85E-02	7.81E-02	6.46E-02	4.29E-02	-1.65E-03	7.43E-04	2.97E-04	6.06E-
17.72	0.25	9.30	-1.13E-01	-2.63E-02	-2.04E-02	7.66E-02	6.10E-02	3.83E-02	-1.31E-03	4.63E-04	1.16E-04	5.53E-
22.15	0.25	0.66	7.60E-01	-2.25E-02	1.81E-02	1.10E-01	6.90E-02	5.40E-02	-1.63E-03	2.81E-03	-1.10E-04	9.84E-
22.15	0.25	10000	11.1	-7.89E-03		100000000000000000000000000000000000000	9.05E-02	8.56E-02	-2.86E-03	8.43E-03	100	1.79E-
22.15	0.25	1.33 2.66	6.11E-01	-1.32E-02	2.14E-02 8.73E-05	1.43E-01	THE PARTY OF THE P	9.32E-02	-1.67E-03	8.69E-03	-1.68E-04 2.31E-04	2.21E-
	11.803.9753	100000000000000000000000000000000000000	2.78E-01			1.52E-01	1.11E-01			1 K 2 K 3 K 3 K 3 K 3 K 3 K 3 K 3 K 3 K 3		120000000000000
22.15	0.25	3.99	6.78E-02	-2.83E-02	-2.25E-02	1.18E-01	9.13E-02	7.32E-02	-1.42E-03	3.88E-03	3.18E-04	1.38E-
22.15	0.25	5.32	-5.69E-02	-2.27E-02	-3.96E-02	9.12E-02	7.41E-02	5.20E-02	-1.01E-03	1.15E-03	-6.04E-05	8.26E-
22.15	0.25	6.65	-8.52E-02	-1.71E-02	-3.42E-02	8.79E-02	6.85E-02	5.13E-02	-1.36E-03	1.43E-03	1.09E-05	7.52E-
22.15	0.25	7.98	-1.13E-01	-1.71E-02	-2.53E-02	8.60E-02	6.40E-02	4.89E-02	-1.73E-03	1.06E-03	9.54E-05	6.93E-
22.15	0.25	9.30	-1.37E-01	-1.43E-02	-1.98E-02	9.05E-02	6.82E-02	4.50E-02	-1.35E-03	7.20E-04	1.79E-04	7.43E-
26.58	0.25	0.66	6.86E-01	-1.67E-02	5.73E-03	1.18E-01	7.42E-02	5.95E-02	-2.45E-03	3.31E-03	-1.30E-04	1.15E-
26.58	0.25	1.33	5.75E-01	-1.16E-02	1.15E-02	1.42E-01	8.86E-02	8.32E-02	-2.91E-03	7.58E-03	-6.64E-05	1.75E-
26.58	0.25	2.66	3.16E-01	-1.59E-02	5.75E-03	1.62E-01	1.11E-01	9.53E-02	-1.63E-03	9.24E-03	1.08E-04	2.38E-
26.58	0.25	3.99	1.10E-01	-1.08E-02	-9.86E-03	1.43E-01	1.02E-01	8.54E-02	-1.59E-03	6.12E-03	2.90E-04	1.90E-
26.58	0.25	5.32	-4.33E-02	-8.99E-03	-3.69E-02	1.07E-01	7.61E-02	5.97E-02	-1.26E-03	2.54E-03	1.85E-04	1.04E-
26.58	0.25	6.65	-1.08E-01	-9.52E-03	-3.64E-02	9.86E-02	7.55E-02	5.96E-02	-7.32E-04	1.59E-03	-7.03E-06	9.49E-
26.58	0.25	7.98	-1.44E-01	-6.86E-03	-2.82E-02	9.28E-02	6.53E-02	5.52E-02	-7.50E-04	1.72E-03	3.90E-04	7.96E-
26.58	0.25	9.30	-1.65E-01	-9.69E-03	-1.98E-02	7.61E-02	5.46E-02	4.19E-02	-3.60E-04	6.98E-04	1.60E-04	5.26E-
31.01	0.25	0.66	6.30E-01	1.34E-03	1.05E-02	1.32E-01	7.66E-02	7.66E-02	-2.42E-03	3.66E-03	9.36E-05	1.46E-
31.01	0.25	1.33	5.41E-01	-1.57E-03	1.40E-02	1.52E-01	9.35E-02	8.89E-02	-2.52E-03	6.53E-03	2.06E-04	1.99E-
31.01	0.25	2.66	3.53E-01	-1.38E-02	9.83E-03	1.68E-01	1.11E-01	9.45E-02	-2.49E-03	9.26E-03	1.22E-05	2.47E-
31.01	0.25	3.99	1.65E-01	-7.14E-03	8.01E-04	1.63E-01	1.09E-01	9.31E-02	-1.29E-03	7.95E-03	3.86E-04	2.35E-
31.01	0.25	5.32	4.54E-03	-8.45E-03	-1.98E-02	1.41E-01	9.31E-02	8.94E-02	-8.11E-04	6.23E-03	2.94E-04	1.83E-
31.01	0.25	6.65	-1.02E-01	-3.35E-03	-2.96E-02	1.04E-01	7.82E-02	6.47E-02	-2.71E-04	2.98E-03	4.02E-04	1.06E-
31.01	0.25	7.98	-1.71E-01	-5.10E-03	-2.77E-02	9.32E-02	7.23E-02	6.28E-02	-3.66E-04	2.12E-03	1.19E-04	8.93E-
31.01	0.25	9.30	-1.93E-01	-6.12E-03	-1.99E-02	8.04E-02	6.25E-02	5.06E-02	-2.84E-04	1.36E-03	1.33E-04	6.47E-

 $\begin{array}{lll} & & & & & \\ & & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\$

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w^{^{*}2}}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
35.45	0.25	0.66	6.43E-01	-8.76E-03	-3.47E-03	1.33E-01	5.48E-02	4.94E-02	-2.16E-03	-3.41E-05	2.84E-04	1.16E-02
35.45	0.25	1.33	5.35E-01	-1.34E-02	1.15E-02	1.46E-01	8.51E-02	7.33E-02	-2.41E-03	5.06E-03	9.36E-05	1.70E-02
35.45	0.25	2.66	3.70E-01	-7.24E-03	1.60E-02	1.67E-01	1.12E-01	9.17E-02	-3.28E-03	8.23E-03	1.69E-04	2.44E-02
35.45	0.25	3.99	1.91E-01	-6.86E-03	6.56E-03	1.64E-01	1.18E-01	9.68E-02	-1.25E-03	8.67E-03	2.09E-04	2.51E-02
35.45	0.25	5.32	4.64E-02	6.64E-03	2.79E-04	1.49E-01	1.03E-01	9.12E-02	-1.39E-03	6.89E-03	3.69E-04	2.06E-02
35.45	0.25	6.65	-7.45E-02	2.23E-03	-1.08E-02	1.32E-01	9.74E-02	8.30E-02	4.18E-05	4.90E-03	6.61E-04	1.68E-02
35.45	0.25	7.98	-1.52E-01	-1.13E-03	-1.47E-02	1.06E-01	8.09E-02	7.35E-02	7.81E-05	3.41E-03	5.27E-04	1.16E-02
35.45	0.25	9.30	-1.86E-01	-6.66E-03	-1.20E-02	8.94E-02	7.03E-02	6.07E-02	3.26E-05	2.02E-03	1.87E-04	8.31E-03
39.88	0.25	0.66	5.58E-01	-6.39E-03	8.77E-03	1.18E-01	7.70E-02	4.26E-02	-2.40E-03	5.65E-04	-3.19E-05	1.09E-02
39.88	0.25	1.33	4.98E-01	-1.45E-02	1.82E-02	1.49E-01	8.67E-02	7.38E-02	-2.54E-03	4.91E-03	1.17E-04	1.75E-02
39.88	0.25	2.66	3.54E-01	3.27E-03	2.45E-02	1.68E-01	1.13E-01	9.46E-02	-2.10E-03	7.84E-03	3.05E-04	2.49E-02
39.88	0.25	3.99	2.12E-01	-1.03E-02	1.79E-02	1.65E-01	1.17E-01	9.56E-02	-1.53E-03	8.36E-03	1.39E-04	2.50E-02
39.88	0.25	5.32	6.10E-02	-1.31E-03	1.13E-02	1.64E-01	1.15E-01	9.61E-02	-1.79E-03	9.02E-03	3.76E-05	2.48E-02
39.88	0.25	6.65	-4.86E-02	-3.66E-03	-7.50E-04	1.35E-01	1.03E-01	8.94E-02	-9.70E-04	6.26E-03	2.15E-04	1.84E-02
39.88	0.25	7.98	-1.30E-01	-1.76E-03	-5.45E-03	1.10E-01	9.41E-02	7.71E-02	-7.26E-04	3.80E-03	1.05E-04	1.35E-02
39.88	0.25	9.30	-1.74E-01	-5.78E-03	-7.51E-03	8.80E-02	7.41E-02	6.69E-02	-3.57E-04	2.26E-03	8.84E-05	8.85E-03
48.74	0.25	0.66	4.33E-01	-7.91E-03	3.10E-03	1.38E-01	8.59E-02	5.30E-02	-2.86E-03	5.50E-04	7.68E-05	1.46E-02
48.74	0.25	1.33	4.26E-01	-1.22E-02	1.53E-02	1.38E-01	8.42E-02	6.82E-02	-2.68E-03	2.71E-03	-5.93E-05	1.55E-02
48.74	0.25	2.66	3.37E-01	-1.05E-02	2.89E-02	1.55E-01	1.00E-01	8.40E-02	-1.81E-03	5.22E-03	5.09E-04	2.05E-02
48.74	0.25	3.99	2.30E-01	1.33E-03	4.14E-02	1.54E-01	1.12E-01	9.41E-02	-2.12E-03	6.92E-03	6.85E-04	2.25E-02
48.74	0.25	5.32	9.59E-02	-7.71E-03	2.13E-02	1.28E-01	1.06E-01	7.98E-02	-1.76E-03	4.76E-03	4.72E-07	1.70E-02
48.74	0.25	6.65	1.92E-02	-6.02E-03	2.62E-02	1.36E-01	1.08E-01	9.23E-02	-7.47E-04	6.71E-03	5.23E-04	1.93E-02
48.74	0.25	7.98	-5.84E-02	-3.62E-03	2.35E-02	1.18E-01	9.85E-02	8.75E-02	-8.85E-04	5.00E-03	-1.20E-04	1.56E-02
48.74	0.25	9.30	-1.07E-01	-4.00E-03	1.55E-02	1.10E-01	8.63E-02	8.07E-02	-3.63E-04	4.11E-03	2.03E-04	1.30E-02
57.60	0.25	0.66	2.68E-01	-7.46E-03	-8.92E-03	1.55E-01	6.71E-02	3.86E-02	-9.64E-04	-6.79E-05	1.93E-03	1.49E-02
57.60	0.25	1.33	3.21E-01	4.66E-03	2.35E-02	1.39E-01	8.61E-02	6.33E-02	-2.74E-03	1.24E-03	-3.15E-05	1.54E-02
57.60	0.25	2.66	2.82E-01	-3.08E-03	4.08E-02	1.44E-01	9.29E-02	7.48E-02	-2.20E-03	2.75E-03	9.67E-05	1.75E-02
57.60	0.25	3.99	2.22E-01	-1.00E-02	5.27E-02	1.40E-01	9.90E-02	8.06E-02	-2.35E-03	3.91E-03	2.66E-04	1.79E-02
57.60	0.25	5.32	1.68E-01	-8.47E-03	5.37E-02	1.29E-01	1.01E-01	8.76E-02	-1.65E-03	4.68E-03	4.78E-04	1.73E-02
57.60	0.25	6.65	9.04E-02	-1.05E-02	5.26E-02	1.27E-01	1.01E-01	8.66E-02	-1.92E-03	4.93E-03	-1.02E-04	1.69E-02
57.60	0.25	7.98	2.04E-02	-1.05E-02	4.34E-02	1.14E-01	1.00E-01	8.52E-02	-1.66E-03	4.48E-03	-5.15E-04	1.52E-02
57.60	0.25	9.30	-3.41E-02	-1.88E-03	3.04E-02	1.04E-01	8.70E-02	7.76E-02	-1.03E-03	3.40E-03	-3.07E-04	1.22E-02
57.60	0.25	10.63	-6.95E-02	2.08E-03	2.54E-02	7.71E-02	7.02E-02	6.14E-02	-4.89E-04	1.73E-03	-8.14E-05	7.33E-03
66.46	0.25	0.66	1.37E-01	5.06E-04	6.79E-03	1.26E-01	7.74E-02	4.18E-02	-1.53E-03	-2.95E-05	-2.06E-04	1.18E-02
66.46	0.25	1.33	1.73E-01	-2.26E-03	1.79E-02	1.49E-01	8.28E-02	5.33E-02	-2.39E-03	9.22E-04	-3.25E-04	1.60E-02
66.46	0.25	2.66	2.04E-01	-3.95E-03	3.34E-02	1.41E-01	8.71E-02	6.38E-02	-2.14E-03	1.70E-03	-2.16E-04	1.58E-02
66.46	0.25	3.99	2.12E-01	-1.05E-02	5.08E-02	1.30E-01	8.88E-02	7.07E-02	-1.92E-03	2.43E-03	-2.83E-05	1.49E-02
66.46	0.25	5.32	1.57E-01	-9.38E-03	4.80E-02	1.16E-01	9.03E-02	7.38E-02	-2.05E-03	2.70E-03	6.29E-05	1.36E-02
66.46	0.25	6.65	1.27E-01	-6.77E-03	4.86E-02	1.11E-01	8.94E-02	8.03E-02	-1.35E-03	3.04E-03	-1.56E-04	1.34E-02
66.46	0.25	7.98	1.03E-01	-2.50E-03	5.43E-02	1.09E-01	8.82E-02	7.51E-02	-7.40E-04	2.94E-03	-6.33E-05	1.26E-02
66.46	0.25	9.30	4.79E-02	1.31E-03	3.86E-02	9.62E-02	8.40E-02	7.62E-02	-1.03E-03	2.78E-03	-3.64E-04	1.11E-02
66.46	0.25	10.63	1.59E-02	1.26E-02	2.72E-02	9.21E-02	7.99E-02	7.11E-02	-8.42E-04	2.27E-03	3.07E-05	9.96E-03
75.32	0.25	0.66	6.65E-02	-5.68E-03	1.72E-03	1.03E-01	7.54E-02	3.47E-02	-4.89E-04	-5.92E-05	-1.13E-04	8.71E-03
75.32	0.25	1.33	9.09E-02	-4.34E-03	5.29E-03	1.06E-01	7.09E-02	4.48E-02	-1.33E-03	1.06E-04	-3.10E-04	9.15E-03
75.32	0.25	2.66	1.13E-01	-2.57E-03	1.08E-02	1.25E-01	7.09E-02	5.67E-02	-1.33E-03	7.83E-04	-4.55E-04	1.19E-02
75.32	0.25	3.99	1.37E-01	-5.83E-03	2.25E-02	1.11E-01	7.14E-02	5.68E-02	-1.66E-03	1.41E-03	-2.03E-04	1.04E-02
75.32	0.25	5.32	1.21E-01	-4.25E-03	2.26E-02	1.07E-01	7.59E-02	6.55E-02	-1.48E-03	2.16E-03	-9.97E-05	1.07E-02
75.32	0.25	6.65	1.21E-01	1.87E-03	2.76E-02	1.01E-01	7.48E-02	6.46E-02	-1.23E-03	2.09E-03	-2.35E-04	9.98E-03
75.32	0.25	7.98	1.12E-01	-3.46E-04	2.88E-02	9.10E-02	7.22E-02	6.53E-02	-1.06E-03	1.96E-03	5.15E-06	8.89E-03
75.32	0.25	9.30	9.49E-02	-6.19E-04	2.62E-02	8.28E-02	7.10E-02	6.58E-02	-3.66E-04	1.77E-03	-1.94E-04	8.11E-03
75.32	0.25	10.63	7.19E-02	6.60E-03	1.88E-02	8.46E-02	6.88E-02	5.94E-02	-3.77E-05	1.35E-03	-4.55E-05	7.71E-03

 $Fr_1[-]=$ 5.0 (Froude de Ingreso) S [-]= 1.0 (Sumergencia)

d₁ [m]= 0.037 (Apertura)

W [m]= 0.60 (Ancho del canal)

h₁ [m]= 0.023 (Sección contraída) U₁ [m/s]= 2.36 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
84.18	0.25	0.66	4.48E-02	-9.24E-04	8.53E-04	5.61E-02	5.07E-02	2.25E-02	-2.82E-04	-3.53E-05	-9.41E-05	3.11E-03
84.18	0.25	1.33	4.80E-02	-3.23E-03	2.20E-05	5.96E-02	4.56E-02	2.88E-02	-7.62E-05	-6.04E-05	-7.53E-05	3.23E-03
84.18	0.25	2.66	7.24E-02	-5.06E-03	2.50E-03	7.58E-02	5.01E-02	4.05E-02	-4.62E-04	-1.24E-04	-1.64E-05	4.95E-03
84.18	0.25	3.99	8.54E-02	-2.49E-03	-2.80E-03	7.77E-02	5.43E-02	4.28E-02	-8.38E-04	5.44E-04	-1.75E-04	5.41E-03
84.18	0.25	5.32	8.95E-02	6.38E-04	4.03E-03	8.03E-02	5.49E-02	4.52E-02	-3.79E-04	5.85E-04	-1.57E-04	5.76E-03
84.18	0.25	6.65	1.06E-01	-2.89E-03	9.88E-03	9.19E-02	5.86E-02	5.14E-02	-3.90E-04	8.49E-04	-2.10E-04	7.26E-03
84.18	0.25	7.98	9.80E-02	3.43E-03	1.46E-02	8.13E-02	5.82E-02	5.33E-02	-5.37E-04	1.00E-03	-1.40E-04	6.42E-03
84.18	0.25	9.30	1.01E-01	8.41E-04	1.14E-02	7.74E-02	5.72E-02	5.16E-02	-5.69E-04	8.29E-04	-1.25E-04	5.97E-03
84.18	0.25	10.63	1.00E-01	3.52E-03	7.14E-03	7.04E-02	5.87E-02	5.03E-02	-3.80E-04	6.93E-04	-1.22E-04	5.47E-03

Fr₁[-]= 5.0 (Froude de Ingreso)
S [-]= 1.0 (Sumergencia)
d₁ [m]= 0.037 (Apertura)
W [m]= 0.60 (Ancho del canal)
h₁ [m]= 0.023 (Sección contraída)
U₁ [m/s]= 2.36 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v^{'2}}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
4.43	0.11	0.66	8.97E-01	4.23E-02	3.53E-02	4.48E-02	2.53E-02	6.52E-02	-1.01E-03	2.94E-03	-2.47E-04	2.81E-03
4.43	0.11	1.33	1.27E-01	6.91E-02	-2.82E-02	5.94E-02	5.01E-02	4.86E-02	-1.17E-04	1.30E-03	4.67E-05	4.20E-03
4.43	0.11	2.66	1.46E-01	2.10E-02	-5.44E-02	6.03E-02	4.88E-02	2.36E-02	-2.12E-04	-1.70E-04	2.51E-04	3.29E-03
4.43	0.11	3.99	4.02E-02	6.62E-02	-2.38E-02	4.39E-02	4.36E-02	2.70E-02	5.57E-04	7.78E-05	1.01E-04	2.28E-03
4.43	0.11	5.32	1.28E-02	7.59E-02	-1.56E-02	6.10E-02	5.66E-02	3.25E-02	1.03E-03	2.80E-05	3.41E-04	3.99E-03
4.43	0.11	6.65	4.01E-02	6.83E-02	-2.06E-02	5.12E-02	4.74E-02	3.13E-02	8.66E-04	2.03E-04	1.62E-04	2,92E-03
4.43	0.11	7.98	4.00E-02	6.44E-02	-1.70E-02	4.75E-02	4.73E-02	2.96E-02	6.91E-04	1.37E-04	7.65E-05	2.69E-03
4.43	0.11	9.30	2.88E-02	6.24E-02	-1.50E-02	5.08E-02	4.35E-02	2.64E-02	8.04E-04	6.20E-05	-2.17E-05	2.58E-03
8.86	0.11	0.66	9.08E-01	-4.59E-04	3.53E-02	6.26E-02	2.92E-02	6.51E-02	-4.66E-04	2.13E-03	-1.39E-04	4.51E-03
8.86	0.11	1.33	4,47E-01	3.69E-02	1.35E-03	1.18E-01	7.63E-02	9.94E-02	-2.02E-03	1.01E-02	-2.79E-04	1.49E-02
8.86	0.11	2.66	8.08E-02	1.18E-02	-2.31E-02	5.81E-02	5.48E-02	3.74E-02	-2.83E-05	6.74E-04	7.30E-05	3.89E-03
8.86	0.11	3.99	7.46E-02	1.04E-02	-9.65E-03	5.75E-02	5.10E-02	3.43E-02	8.76E-05	5.34E-04	3.41E-04	3.54E-03
8.86	0.11	5.32	8.36E-02	2.90E-02	2.16E-03	6.64E-02	5.75E-02	4.14E-02	-7.99E-05	-5.54E-04	3.05E-04	4.71E-03
8.86	0.11	6.65	7.28E-02	1.34E-03	-7.42E-03	5.84E-02	4.57E-02	3.45E-02	-1.58E-04	5.87E-04	9.05E-05	3.34E-03
8.86	0.11	7.98	6.24E-02	-1.62E-03	-9.37E-03	6.21E-02	4.84E-02	3.39E-02	-8.22E-05	3.52E-04	2.09E-04	3.68E-03
8.86	0.11	9.30	4.80E-02	2.33E-04	-1.18E-02	6.93E-02	4.44E-02	3.04E-02	1.98E-04	3.08E-04	1.21E-04	3.85E-03
13.29	0.11	0.66	7.57E-01	-9.67E-04	2.71E-02	1.16E-01	7.30E-02	8.24E-02	8.47E-05	7.66E-03	1.59E-04	1.28E-02
13.29	0.11	1.33	4.98E-01	2.88E-02	9.81E-03	1.48E-01	9.82E-02	1.00E-01	-4.21E-04	1.04E-02	-3.04E-04	2.08E-02
13.29	0.11	2.66	1.26E-01	8.26E-03	-2.08E-02	7.84E-02	5.74E-02	5.07E-02	-4.29E-04	1.78E-03	2.90E-04	6.00E-03
13.29	0.11	3.99	5.35E-02	-1.62E-02	-2.45E-02	6.39E-02	4.45E-02	3.48E-02	-8.09E-04	6.15E-04	5.92E-05	3.64E-03
13.29	0.11	5.32	6.20E-02	-1.59E-02	-4.66E-03	6.75E-02	4.93E-02	3.99E-02	-1.02E-03	5.33E-04	2.10E-04	4.29E-03
13.29	0.11	6.65	3.93E-02	-2.56E-02	-2.06E-02	7.28E-02	4.53E-02	4.05E-02	-9.79E-04	6.69E-04	1.92E-04	4.49E-03
13.29 13.29	0.11	7.98 9.30	5.04E-02 3.05E-02	-2.80E-02 -2.69E-02	-1.80E-02 -1.46E-02	7.24E-02 7.96E-02	4.40E-02 4.23E-02	3.79E-02 3.40E-02	-8.03E-04 -7.26E-04	4.42E-04 4.12E-04	2.41E-04 1.81E-04	4.30E-03 4.64E-03
17.72	0.11	0.66	7.43E-01	-1.43E-02	1.88E-02	1.22E-01	6.66E-02	7.70E-02	6.08E-04	4.61E-03	-7.08E-04	1.27E-02
1.700 W5X 200		1.33	5.68E-01	THE PERSON NAMED IN COLUMN		2.15/10/20/20/20/20/20	1-252525 (6524)(646)(1)	9.58E-02	B00-00-00-00-00-00-0	9.37E-03	-7.08E-04	1.94E-02
17.72 17.72	0.11	2.66	1.86E-01	2.06E-02 5.82E-03	2.17E-02 -1.46E-02	1.45E-01 1.14E-01	9.30E-02 7.35E-02	6.74E-02	-4.42E-04 -1.79E-04	4.32E-03	4.59E-04	1.94E-02
17.72	0.11	3.99	6.78E-02	-2.33E-02	-2.67E-02	7.85E-02	5.61E-02	4.55E-02	-1.79E-04	8.64E-04	1.00E-04	5.70E-03
17.72	0.11	5.32	8.57E-03	-1.29E-02	-1.71E-02	9.73E-02	5.65E-02	4.32E-02	-2.26E-03	5.41E-04	4.88E-05	7.26E-03
17.72	0.11	6.65	1.29E-02	-2.93E-02	-3.25E-02	9.10E-02	5.33E-02	5.11E-02	-2.07E-03	1.43E-03	1.22E-04	6.87E-03
17.72	0.11	7.98	-1.11E-02	-2.06E-02	-2.36E-02	9.76E-02	5.21E-02	4.28E-02	-1.84E-03	8.48E-04	2.20E-05	7.03E-03
17.72	0.11	9.30	-3.25E-02	-2.35E-02	-2.02E-02	1.04E-01	4.92E-02	4.15E-02	-1.51E-03	6.01E-04	2.87E-04	7.52E-03
22.15	0.11	0.66	6.84E-01	-1.56E-02	1.08E-02	1.02E-01	6.26E-02	6.56E-02	1.03E-03	3.09E-03	-4.40E-04	9.27E-03
22.15	0.11	1.33	5.61E-01	1.20E-02	1.74E-02	1.45E-01	9.38E-02	9.23E-02	1.28E-03	7.41E-03	-4.02E-04	1.92E-02
22.15	0.11	2.66	3.11E-01	3.48E-02	-1.16E-02	1.36E-01	9.06E-02	8.28E-02	7.37E-04	6.79E-03	5.99E-04	1.68E-02
22.15	0.11	3.99	6.13E-02	8.39E-04	-3.29E-02	9.61E-02	7.03E-02	5.67E-02	-1.81E-03	1.96E-03	3.34E-04	8.69E-03
22.15	0.11	5.32	9.49E-03	-7.52E-03	-3.61E-02	9.54E-02	5.84E-02	4.97E-02	-1.41E-03	1.42E-03	2.12E-04	7.49E-03
22.15	0.11	6.65	-2.34E-02	-6.59E-03	-3.59E-02	9.20E-02	6.08E-02	5.29E-02	-1.51E-03	1.37E-03	1,35E-04	7.48E-03
22.15	0.11	7.98	-4.99E-02	-9.98E-03	-2.74E-02	9.64E-02	5.85E-02	5.06E-02	-1.45E-03	9.84E-04	3.93E-05	7.64E-03
22.15	0.11	9.30	-8.58E-02	-1.56E-02	-2.08E-02	9.22E-02	4.58E-02	4.17E-02	-8.71E-04	6.19E-04	9.03E-05	6.17E-03
26.58	0.11	0.66	6.57E-01	-1.47E-02	5.20E-03	1.25E-01	5.49E-02	7.61E-02	1.46E-03	3.63E-03	-6.01E-04	1.22E-02
26.58	0.11	1.33	5.60E-01	-2.42E-02	1.39E-02	1.40E-01	8.73E-02	8.41E-02	8.59E-04	5.83E-03	-6.63E-04	1.71E-02
26.58	0.11	2.66	3.10E-01	5.02E-03	-1.91E-03	1.49E-01	9.67E-02	8.98E-02	1.46E-04	7.92E-03	-9.98E-05	1.98E-02
26.58	0.11	3.99	1.04E-01	3.63E-03	-2.49E-02	1.20E-01	8.36E-02	7.63E-02	-6.04E-04	4.62E-03	5.53E-04	1.36E-02
26.58	0.11	5.32	1.09E-02	1.54E-02	-2.08E-02	1.08E-01	7.48E-02	6.28E-02	-1.70E-03	2.94E-03	1.35E-04	1.06E-02
26.58	0.11	6.65	-4.61E-02	-2.37E-03	-3.19E-02	9.55E-02	6.13E-02	5.46E-02	-7.21E-04	1.73E-03	3.27E-04	7.93E-03
26.58	0.11	7.98	-8.31E-02	-6.61E-03	-2.50E-02	1.04E-01	6.55E-02	5.91E-02	-1.16E-03	1.68E-03	1.25E-04	9.25E-03
31.01	0.11	0.66	6.26E-01	-1.07E-02	5.40E-03	1.15E-01	7.32E-02	6.40E-02	1.32E-03	2.55E-03	-3.26E-04	1.13E-02
31.01	0.11	1.33	5.33E-01	-2.41E-02	1.29E-02	1.43E-01	9.13E-02	8.21E-02	1.31E-03	5.40E-03	-8.04E-04	1.78E-02
31.01	0.11	2.66	3.62E-01	1.05E-04	1.00E-02	1.52E-01	1.01E-01	9.11E-02	1.10E-03	7.27E-03	-2.71E-05	2.08E-02
31.01	0.11	3.99	1.61E-01	2.09E-03	-7.35E-03	1.29E-01	9.57E-02	8.20E-02	-3.34E-04	5.89E-03	3.08E-04	1.63E-02
31.01	0.11	5.32	1.75E-02	8.94E-03	-2.30E-02	1.11E-01	8.77E-02	7.27E-02	-5.50E-04	3.32E-03	4.48E-04	1.27E-02
31.01	0.11	6.65	-6.11E-02	-4.20E-03	-2.71E-02	1.10E-01	7.62E-02	6.79E-02	-5.34E-05	2.56E-03	1.45E-04	1.13E-02
31.01	0.11	7.98	-1.11E-01	-7.83E-03	-2.34E-02	1.11E-01	6.81E-02	6.01E-02	-7.66E-04	2.23E-03	3.96E-05	1.03E-02
31.01	0.11	9.30	-1.44E-01	-1.68E-02	-1.39E-02	8.62E-02	5.36E-02	4.90E-02	-6.73E-04	1.23E-03	1.55E-05	6.35E-03

 $Fr_1[-]=$ 5.0 (Froude de Ingreso) S[-]= 1.0 (Sumergencia) $d_1[m]=$ 0.037 (Apertura)

 $\begin{array}{lll} W \text{ [m]=} & 0.60 & \text{(Ancho del canal)} \\ h_1 \text{ [m]=} & 0.023 & \text{(Sección contraída)} \end{array}$

U₁[m/s]= 2.36 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w'^2}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
35.45	0.11	0.66	6.01E-01	-5.88E-03	8.16E-03	1.11E-01	7.47E-02	6.23E-02	1.06E-03	2.20E-03	-2.23E-04	1.09E-02
35.45	0.11	1.33	5.23E-01	-2.33E-02	1.62E-02	1.36E-01	8.31E-02	7.87E-02	1.11E-03	4.36E-03	-3.24E-04	1.58E-02
35.45	0.11	2.66	3.61E-01	-4.34E-03	1.69E-02	1.55E-01	1.05E-01	9.07E-02	2.70E-04	7.41E-03	-3.62E-05	2.16E-02
35.45	0.11	3.99	2.10E-01	6.29E-03	1.06E-02	1.46E-01	1.06E-01	9.09E-02	3.52E-04	7.17E-03	5.38E-04	2.04E-02
35.45	0.11	5.32	5.77E-02	7.84E-03	-3.28E-03	1.31E-01	9.91E-02	8.83E-02	-1.10E-03	5.29E-03	2.00E-04	1.73E-02
35.45	0.11	6.65	-6.52E-02	-7.46E-03	-2.24E-02	1.18E-01	9.03E-02	7.70E-02	-9.10E-05	3.47E-03	2.99E-04	1.40E-02
35.45	0.11	7.98	-1.17E-01	-1.36E-02	-1.56E-02	1.14E-01	8.07E-02	7.25E-02	-3.16E-04	2.73E-03	3.54E-04	1.24E-02
35.45	0.11	9.30	-1.56E-01	-1.43E-02	-1.20E-02	7.91E-02	6.10E-02	5.44E-02	-5.00E-04	1.49E-03	-7.40E-05	6.47E-03
39.88	0.11	0.66	5.76E-01	-6.24E-03	1.01E-02	1.03E-01	6.56E-02	5.39E-02	7.31E-04	9.48E-04	-6.46E-05	8.87E-03
39.88	0.11	1.33	5.10E-01	-2.54E-02	1.84E-02	1.22E-01	7.98E-02	7.14E-02	4.65E-04	3.29E-03	-4.03E-04	1.32E-02
39.88	0.11	2.66	3.75E-01	-9.01E-03	2.34E-02	1.45E-01	1.01E-01	8.89E-02	-1.62E-05	6.23E-03	-2.63E-04	1.95E-02
39.88	0.11	3.99	2.22E-01	-5.98E-03	1.60E-02	1.38E-01	1.07E-01	9.23E-02	-2.60E-04	6.65E-03	2.93E-04	1.95E-02
39.88	0.11	5.32	7.93E-02	-1.10E-02	5.88E-03	1.42E-01	1.08E-01	9.18E-02	-7.01E-04	6.30E-03	-1.14E-04	2.01E-02
39.88	0.11	6.65	-2.83E-02	-3.90E-05	-7.07E-04	1.28E-01	9.91E-02	8.41E-02	2.24E-04	4.63E-03	5.27E-04	1.66E-02
39.88	0.11	7.98	-7.98E-02	-1.29E-02	-1.79E-02	1.14E-01	8.69E-02	7.50E-02	-1.71E-04	3.40E-03	-4.38E-04	1.31E-02
39.88	0.11	9.30	-1.53E-01	-1.91E-02	-5.65E-03	8.99E-02	6.73E-02	6.14E-02	-5.52E-04	1.85E-03	-3.08E-04	8.20E-03
48.74	0.11	0.66	4.64E-01	-4.15E-03	1.04E-02	1.12E-01	7.28E-02	5.17E-02	1.75E-04	5.09E-04	4.46E-05	1.02E-02
48.74	0.11	1.33	4.63E-01	-2.76E-02	2.21E-02	1.13E-01	7.20E-02	6.36E-02	-4.20E-05	1.92E-03	-1.33E-04	1.10E-02
48.74	0.11	2.66	3.68E-01	-1.99E-02	3.42E-02	1.37E-01	9.35E-02	8.07E-02	6.46E-05	4.44E-03	-2.13E-04	1.70E-02
48.74	0.11	3.99	2.33E-01	-1.90E-02	3.85E-02	1.49E-01	1.03E-01	8.65E-02	1.00E-03	5.65E-03	1.10E-04	2.00E-02
48.74	0.11	5.32	1.54E-01	-1.30E-02	3.88E-02	1.42E-01	1.08E-01	9.09E-02	-5.36E-04	6.21E-03	-9.56E-05	2.00E-02
48.74	0.11	6.65	2.55E-02	-6.80E-03	2.90E-02	1.33E-01	1.08E-01	9.37E-02	5.22E-04	6.33E-03	-2.05E-04	1.91E-02
48.74	0.11	7.98	-4.27E-02	-5.54E-03	6.57E-03	1.22E-01	9.56E-02	8.58E-02	5.68E-04	4.55E-03	-1.10E-04	1.57E-02
48.74	0.11	9.30	-1.38E-01	-1.52E-02	2.85E-03	9.69E-02	8.29E-02	7.55E-02	-4.25E-04	2.97E-03	-9.01E-04	1.10E-02
57.60	0.11	0.66	3.11E-01	-6.92E-03	1.69E-02	1.60E-01	7.54E-02	4.85E-02	1.19E-03	2.58E-04	2.30E-04	1.68E-02
57.60	0.11	1.33	3.07E-01	-4.74E-03	1.67E-02	1.55E-01	7.28E-02	4.61E-02	5.82E-04	3.80E-04	2.17E-04	1.58E-02
57.60	0.11	2.66	3.18E-01	-1.77E-02	4.57E-02	1.42E-01	7.90E-02	7.14E-02	-1.13E-04	2.48E-03	1.47E-04	1.57E-02
57.60	0.11	3.99	2.38E-01	-2.22E-02	5.06E-02	1.38E-01	8.90E-02	8.35E-02	5.11E-04	4.97E-03	4.41E-06	1.70E-02
57.60	0.11	5.32	1.63E-01	-1.36E-02	4.85E-02	1.35E-01	9.06E-02	8.53E-02	7.42E-04	5.47E-03	-2.96E-05	1.69E-02
57.60	0.11	6.65	8.28E-02	-1.11E-02	4.50E-02	1.30E-01	9.62E-02	8.87E-02	7.28E-04	5.95E-03	-1.53E-04	1.71E-02
57.60	0.11	7.98	1.23E-02	2.17E-03	3.27E-02	1.25E-01	8.93E-02	8.72E-02	4.86E-04	5.27E-03	-4.82E-04	1.56E-02
57.60	0.11	9.30	-4.93E-02	2.57E-03	2.12E-02	1.01E-01	8.07E-02	7.62E-02	1.34E-04	3.40E-03	-6.11E-04	1.13E-02
57.60	0.11	10.63	-6.28E-02	5.34E-03	1.72E-02	6.86E-02	6.29E-02	5.86E-02	-1.40E-04	1.57E-03	-5.53E-04	6.05E-03
66.46	0.11	0.66	1.93E-01	-4.85E-04	9.38E-03	1.40E-01	7.82E-02	4.65E-02	1.34E-04	5.10E-04	4.84E-04	1.40E-02
66.46	0.11	1.33	2.20E-01	-9.35E-03	2.22E-02	1.43E-01	7.29E-02	5.34E-02	-6.30E-04	6.53E-04	1.62E-04	1.43E-02
66.46	0.11	2.66	2.26E-01	-7.77E-03	3.67E-02	1.51E-01	7.41E-02	6.23E-02	-7.30E-04	1.91E-03	1.74E-04	1.61E-02
66.46	0.11	3.99	2.05E-01	-1.22E-02	4.39E-02	1.35E-01	7.47E-02	7.65E-02	5.88E-04	3.30E-03	3.06E-04	1.48E-02
66.46	0.11	5.32	1.74E-01	-8.04E-03	5.16E-02	1.35E-01	8.01E-02	7.49E-02	2.69E-04	3.80E-03	3.73E-05	1.51E-02
66.46	0.11	6.65	1.22E-01	-7.57E-03	5.45E-02	1.20E-01	8.38E-02	7.79E-02	7.42E-04	3.94E-03	-1.54E-04	1.37E-02
66.46	0.11	7.98	8.07E-02	-3.36E-03	2.97E-02	1.08E-01	7.88E-02	7.65E-02	7.26E-04	3.64E-03	-2.15E-04	1.19E-02
66.46	0.11	9.30	2.75E-02	7.03E-03	3.18E-02	9.70E-02	7.78E-02	7.27E-02	-1.64E-04	3.08E-03	-3.01E-04	1.04E-02
66.46	0.11	10.63	-9.17E-03	1.16E-02	2.56E-02	8.34E-02	6.83E-02	6.24E-02	-2.93E-04	1.84E-03	-4.47E-04	7.76E-03
75.32	0.11	0.66	8.49E-02	-2.18E-03	2.39E-03	9.86E-02	5.61E-02	2.99E-02	5.94E-05	-6.20E-06	1.16E-04	6.88E-03
75.32	0.11	1.33	1.08E-01	-1.03E-02	7.69E-03	1.25E-01	6.32E-02	4.53E-02	1.89E-04	5.09E-04	3.04E-04	1.08E-02
75.32	0.11	2.66	1.34E-01	-6.37E-03	1.34E-02	1.26E-01	6.44E-02	5.30E-02	-8.82E-04	1.37E-03	3.57E-05	1.14E-02
75.32	0.11	3.99	1.66E-01	-3.61E-03	2.79E-02	1.28E-01	6.46E-02	5.73E-02	-3.26E-04	2.22E-03	1.53E-04	1.14E-02 1.19E-02
75.32	0.11	5.32	1.47E-01	-3.86E-03	3.21E-02	1.08E-01	6.27E-02	6.32E-02	-4.52E-05	1.16E-03	-7.61E-05	9.77E-03
75.32	0.11	6.65	1.47E-01 1.26E-01	-3.60E-03	3.11E-02	1.13E-01	6.88E-02	6.82E-02	2.11E-04	3.27E-03	-1.74E-05	1.11E-02
75.32	0.11	7.98	1.08E-01	3.65E-03	3.22E-02	9.96E-02	6.91E-02	6.68E-02	-4.33E-05	2.70E-03	-6.41E-06	9.58E-03
75.32	0.11	9.30	8.18E-02	5.86E-04	2.93E-02	8.86E-02	6.53E-02	6.41E-02	-4.33E-05 -5.08E-05	2.70E-03 2.00E-03	-3.39E-04	8.11E-03
75.32	0.11	10.63	6.60E-02	7.54E-03	1.88E-02	7.77E-02	6.31E-02	6.03E-02	-2.33E-04	1.40E-03	-3.39E-04 -4.80E-04	6.83E-03
13.32	0.11	10.03	0.00E-02	7.346-03	1.00E-UZ	1.776-02	0.316-02	0.036-02	-2.336-04	1.400-03	-4.00E-U4	0.03E-03

Apéndice C. Conjunto de datos experimentales obtenidos con el Vectrino⁺

 $Fr_1[-]=$ 5.0 (Froude de Ingreso) S [-]= 1.0 (Sumergencia)

 $d_1[m] = 0.037$ (Apertura)

W [m]= 0.60 (Ancho del canal)

h₁ [m]= 0.023 (Sección contraída)

U₁ [m/s]= 2.36 (Velocidacidad de ingreso al resalto)

x/h_1	y/W	z/h_1	u/U_1	v/U_1	w/U_1	$\sqrt{\overline{u^{*2}}}/U_1$	$\sqrt{\overline{v'^2}}/U_1$	$\sqrt{\overline{w^{*2}}}/U_1$	$\overline{u'v'}/U_1^2$	$\overline{u'w'}/U_1^2$	$\overline{v'w'}/U_1^2$	TKE/U_1^2
84.18	0.11	0.66	6.04E-02	-6.14E-03	-1.52E-03	6.98E-02	4.32E-02	2.45E-02	2.37E-04	9.93E-05	1.16E-04	3.67E-03
84.18	0.11	1.33	4.65E-02	-3.56E-03	-2.42E-04	6.27E-02	4.00E-02	2.72E-02	-2.01E-04	8.85E-05	2.02E-04	3.13E-03
84.18	0.11	2.66	6.85E-02	-3.30E-03	1.99E-03	7.84E-02	4.28E-02	3.71E-02	-8.20E-05	2.97E-04	9.72E-05	4.68E-03
84.18	0.11	3.99	9.31E-02	-7.20E-03	2.68E-03	8.08E-02	4.35E-02	3.92E-02	-2.61E-04	7.15E-04	1.19E-05	4.98E-03
84.18	0.11	5.32	9.45E-02	-3.29E-03	6.54E-03	8.48E-02	4.65E-02	4.40E-02	-4.50E-04	8.99E-04	-1.97E-05	5.65E-03
84.18	0.11	6.65	1.09E-01	-2.83E-03	6.96E-03	8.75E-02	5.05E-02	4.89E-02	-3.92E-04	1.59E-03	6.74E-05	6.29E-03
84.18	0.11	7.98	1.05E-01	-6.41E-03	1.16E-02	8.61E-02	5.52E-02	5.65E-02	-1.70E-04	1.56E-03	-2.40E-04	6.82E-03
84.18	0.11	9.30	9.91E-02	-2.12E-03	1.15E-02	7.56E-02	5.39E-02	5.28E-02	1.02E-04	1.11E-03	-1.21E-04	5.71E-03
84.18	0.11	10.63	8.13E-02	3.22E-03	1.03E-02	7.44E-02	5.12E-02	5.17E-02	-3.98E-04	1.39E-03	-2.98E-04	5.42E-03

Apéndice D

Simulaciones RANS

D.1. Ecuaciones gobernantes

En este anexo se presentan una serie de simulaciones numéricas complementarias empleando el promediado de Reynolds para la resolución de las ecuaciones de Navier–Stokes. Esto es lo que se conoce como simulaciones RANS, por su siglas en inglés Reynolds Averaged Navier Stokes equations.

En términos vectoriales las ecuaciones RANS pueden expresarse del siguiente modo:

$$\nabla . \overline{u} = 0$$

$$\frac{\delta(\rho_0\underline{\overline{u}})}{\delta t} + \nabla \cdot (\rho_0\underline{\overline{u}} \otimes \underline{\overline{u}}) = -\nabla\underline{\overline{\rho}} + \rho_0\underline{g} + \nabla \cdot \left[\mu(\nabla\underline{\overline{u}} + \nabla\underline{\overline{u}}^T)\right] - \nabla \cdot (\rho_0\underline{\overline{u'} \otimes \underline{u'}})$$
(D.1)

donde ρ_0 es la densidad de referencia, \underline{u} es el vector de velocidad media, (\underline{p}) indica presión media, \underline{g} es la gravedad, μ se refiere a la viscosidad dinámica y \underline{u}' indica la fluctuación del vector velocidad. En los términos de las ecuaciones anteriores, \otimes es la notación del producto entre tensores, $(\bullet)^T$ denota la matriz transpuesta del tensor (\bullet) , las líneas inferiores y superiores denotan vectores y promedio temporal respectivamente.

Para tener en cuenta el término $\underline{u' \otimes \underline{u'}}$ se usó el modelo de viscosidad de Boussinesq, el cual relaciona las tensiones de Reynolds con el gradiente de velocidades medias y la energía cinética turbulenta:

$$\underline{\underline{u}' \otimes \underline{u}'} = 2 v_t \underline{\overline{S}}_{ij} - \frac{2}{3} kI$$
 (D.2)

donde v_t es la viscosidad turbulenta o viscosidad de remolino, $\underline{\bar{S}}_{ij}$ es el tensor de

deformación de velocidad media, definido como $\underline{S}_{ij} = \frac{1}{2}(\nabla \underline{u} + \nabla \underline{u}^T)$, k es la energía cinética turbulenta (TKE) e I denota la matriz identidad.

De manera similar a las simulaciones LES-NWM, para resolver numéricamente la ecuación D.1, se utilizó un esquema de segundo orden con monotonicidad preservada («monotonicity-preserving, second-order scheme») para el cálculo de los términos advectivos de la velocidad, mientras que para el cálculo de la presión se empleó un esquema implícito.

Finalmente, para determinar el valor de v_t se utilizaron tres cierres de turbulencia, que a continuación se detallan.

Modelo k-ε (Launder y Sharma, 1974)

El modelo k- ε es un modelo que permite una descripción general de la turbulencia a partir de dos ecuaciones de transporte. Además de suponer la hipótesis de viscosidad turbulenta, incorpora la ecuación de transporte para la variable k e introduce una segunda variable a ser trasportada que es la tasa de disipación de la energía cinética turbulenta, ε . De este modo, las ecuaciones que se resuelven en el modelo k- ε son las siguientes:

Ecuación de la viscosidad turbulenta

$$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \tag{D.3}$$

donde C_{μ} es una de las variables del modelo

• Ecuación de transporte para k

$$\frac{\overline{D}k}{\overline{D}t} = \nabla \cdot \left(\frac{v_t}{\sigma_k} \nabla k\right) + P_k - \varepsilon \tag{D.4}$$

donde \overline{D}_{k}^{k} es la derivada sustancial media de k definida como $\overline{D}_{k}^{k} = \frac{\partial k}{\partial t} + \overline{\underline{u}}.(\nabla k)$, P_{k} es la tasa de producción de k definida como $P_{k} = v_{t}.\left|\bar{S}_{ij}\right|^{2}$, donde $\left|\bar{S}_{ij}\right|$ es el módulo del tensor de deformación de velocidad media $\left|\bar{S}_{ij}\right| = \sqrt{2\,\overline{S}_{ij}\,\overline{S}_{ij}}\,$ y σ_{k} es una de las variables del modelo.

Ecuación de transporte para ε

$$\frac{\overline{D}\varepsilon}{\overline{D}t} = \nabla \cdot \left(\frac{v_t}{\sigma_{\varepsilon}} \nabla \varepsilon\right) + C_{\varepsilon 1} \frac{P_k \varepsilon}{k} - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k}$$
 (D.5)

donde σ_{ε} , $C_{\varepsilon 1}$ y $C_{\varepsilon 2}$ son variables del modelo.

Finalmente las constantes estándar del modelo son las siguientes (Launder y Sharma, 1974):

$$C_{\mu} = 0.09, \, \sigma_k = 1.0, \, \sigma_{\varepsilon} = 1.3, \, C_{\varepsilon 1} = 1.44, \, C_{\varepsilon 2} = 1.92$$

Para mayor información sobre este modelo de turbulencia ver Jones y Launder (1972) y Launder y Sharma (1974).

Modelo RNG k-ε (Yakhot y Orszag, 1986)

El modelo RNG k- ε fue desarrollado por Yakhot y Orszag (1986) aplicando la técnica del Grupo de Renormalización a las ecuaciones de Navier-Stokes, de ahí deriva su nombre RNG (en inglés Re-Normalization Group), para tener en cuenta los efectos de las escalas más pequeñas del escurrimiento. En el modelo estándar de k- ε , la viscosidad turbulenta se determina a partir de una única escala de longitud de turbulencia, por lo que la difusión turbulenta calculada es la que ocurre solo en la escala especificada, mientras que en realidad todas las escalas del escurrimientos contribuirán a la difusión turbulenta.

En el modelo RNG k- ε se utiliza la misma ecuación que en el modelo k- ε estándar para determinar la viscosidad turbulenta (ecuación D.3) y se emplea la misma ecuación de transporte para la energía cinética turbulenta (ecuación D.4). Sin embargo, en la ecuación de transporte para la tasa de disipación de la energía cinética turbulenta (ε) aparece un término adicional, un modelo ad hoc, que no deriva de la teoría RNG. Este término es el principal responsable de las diferencias entre el modelo estándar y el RNG (Pope, 2001). De esta manera la ecuación de transporte para ε queda definida del siguiente modo:

$$\frac{\overline{D}\varepsilon}{\overline{D}t} = \nabla \cdot \left(\frac{v_t}{\sigma_{\varepsilon}} \nabla \varepsilon\right) + C_{\varepsilon 1} \frac{P_k \varepsilon}{k} - C_{\varepsilon 2}^* \frac{\varepsilon^2}{k}$$
 (D.6)

donde
$$C_{\varepsilon 2}^* = C_{\varepsilon 2} + \frac{C_{\mu} \eta_{\varepsilon}^3 (1 - \eta_{\varepsilon} / \eta_0)}{1 + \beta \eta_{\varepsilon}^3} \text{ y } \eta_{\varepsilon} = \left| S_{ij} \right| \frac{k}{\varepsilon}$$

Las constantes del modelo, que derivan explícitamente del modelo *RNG*, son las siguientes:

$$C_{\mu} = 0.0845, \, \sigma_k = 0.72, \sigma_{\varepsilon} = 0.72, \, C_{\varepsilon 1} = 1.42, \, C_{\varepsilon 2} = 1.68, \, \eta_0 = 1.68, \, \beta = 1.68$$

Para mayor información sobre este modelo de turbulencia ver Yakhot y Orszag (1986); Yakhot y Smith (1992); Smith y Reynolds (1992); Smith y Woodruff (1998).

Modelo k-ω (Wilcox (2006))

Al igual que el modelo k- ε , el cierre de turbulencia k- ω es un modelo que trata de predecir la turbulencia a partir de la resolución de dos ecuaciones de transporte. La primera variable transportada es la energía cinética turbulenta (k) en forma similar al modelo k- ε . La segunda variable transportada en este caso es la disipación específica (ω), la cual determina la escala de la turbulencia.

Las ecuaciones que se resuelven en el modelo k- ω estándar son las siguientes:

Ecuación de la viscosidad turbulenta

$$v_t = \frac{k}{\omega} \tag{D.7}$$

■ Ecuación de transporte para *k*

$$\frac{\overline{D}k}{\overline{D}t} = \nabla \cdot [(\nu + \sigma^* \nu_t) \nabla k] + P_k - \beta^* k \, \omega \tag{D.8}$$

donde σ^* y β^* son variables del modelo.

Ecuación de transporte para ω

$$\frac{\overline{D}\boldsymbol{\sigma}}{\overline{D}t} = \nabla \cdot (\boldsymbol{v} + \boldsymbol{\sigma}_{\boldsymbol{\varpi}} \boldsymbol{v}_t) \nabla \boldsymbol{\sigma}) + \alpha_{\boldsymbol{\omega}} \frac{P_k \boldsymbol{\sigma}}{k} - \beta_{\boldsymbol{\varpi}} \boldsymbol{\sigma}^2$$
 (D.9)

donde $\sigma_{\overline{\omega}}$, α_{ω} y $\beta_{\overline{\omega}}$ son variables del modelo.

Los valores de las constantes de cierre propuestos por Wilcox son los siguientes:

$$\sigma^* = \frac{1}{2}, \, \beta^* = \frac{9}{100}, \sigma_\omega = \frac{1}{2}, \, \alpha_\omega = \frac{5}{9}, \, \beta_\omega = \frac{3}{40}$$

Para mayor información sobre este modelo de turbulencia ver Wilcox (1988, 2006, 2008); Menter (1994).

D.2. Localización de la superficie libre

Para determinar la localización de la superficie libre se empleó el método de Volumen de Fluido, VOF. En este caso, la ecuación de transporte para la función de fluido F, que fuese presentada en la sección 11.2, queda expresada del siguiente modo:

$$\frac{\delta F}{\delta t} + \nabla \underline{\bar{u}}F = 0 \tag{D.10}$$

D.3. Condiciones de borde

Al igual que en el caso de la simulación LES-NWM (sección 11.3) se emplearon las siguientes condiciones de borde:

- Aguas arriba: condición de presión. El valor de presión se establece de manera de conseguir las mismas condiciones reportadas en el ensayo de laboratorio.
- Aguas abajo: condición de presión. Se fijó un valor de 0.1 m de modo de que el vertedero final descargue de manera libre (la condición de borde para el resalto se obtiene a partir del vertedero final).

- Compuerta: condición de no deslizamiento, con función de pared lisa.
- Fondo y paredes laterales del canal: condición de no deslizamiento, con función de pared lisa.
- Vertedero final: condición de no deslizamiento, con función de pared lisa.

La condición de no deslizamiento con función de pared lisa (utilizada para la compuerta, fondo, paredes laterales y vertedero final) asume velocidad normal nula y ley de pared logarítmica para las velocidades tangenciales. En la primera celda cercana a la pared se utilizan las siguientes «funciones de pared» como condición de borde para la energía cinética turbulenta (k_t), disipación turbulenta (ϵ_t) y disipación específica turbulenta (ϵ_t) (ver Flow Science, 2008):

$$k_t = \frac{u*^2}{\sqrt{C_\mu}} \tag{D.11}$$

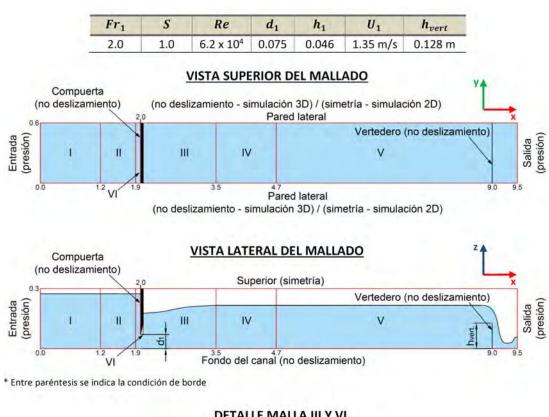
$$\varepsilon_t = \frac{u*^3}{\kappa_v d} \tag{D.12}$$

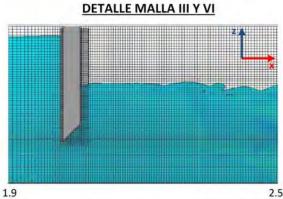
$$\boldsymbol{\varpi}_{t} = \frac{u*}{\sqrt{C_{\mu}} \kappa_{\nu} d} \tag{D.13}$$

donde u* es la velocidad de corte local calculada a través de la ley semilogarítmica de pared $u_t = u*\left[\frac{1}{\kappa_v}ln\left(\frac{\rho u*d}{\mu}\right) + 5.0\right]$, siendo u_t la componente paralela de la velocidad adyacente a la pared, d la distancia normal de la velocidad calculada desde la pared y κ_v la constante de Von Karman.

D.4. Implementación del modelo numérico

Para la confección del dominio de cálculo se utilizó un mallado multibloque con el mismo arreglo que se empleó en la simulación LES-NWM (sección 12.2): 5 mallas unidas y 1 malla anidada en el contorno de la compuerta. La malla principal, ubicada en la zona del resalto (malla III), está conformada por 268 x 152 x 90 celdas (los números indican la cantidad de celdas en las direcciones longitudinal, transversal y vertical, respectivamente), mientras que el número total de elementos de cálculo asciende a 5 299 490. El arreglo final fue definido a partir de un análisis de convergencia de malla (ver sección D.5). En la Figura D.1 se presentan las características del mallado utilizado en las simulaciones RANS.





Malla	#	de celda	as	Malla	# de celdas			
ivialia	×	У	Z	Ivialia	x 50	У	Z	
1	50	38	22	1	50	1	22	
II	58	75	45	11	58	1	45	
Ш	268	152	90	III	268	1	90	
IV	100	75	45	IV	100	1	45	
٧	200	38	22	V	200	1	22	
VI	27	300	110	VI	27	1	110	

Figura D.1: Características del mallado utilizado en las simulaciones RANS.

Se decidió llevar adelante una simulación bidimensional con el modelo de turbulencia RNG k- ϵ con el objeto de ver la representatividad que tiene este tipo de aproximación

en un flujo que por naturaleza es tridimensional. Para esta simulación se utilizó el mismo arreglo de mallas en las dirección *x-z* que la simulación tridimensional, mientras que en la dirección *y* se modeló un solo elemento con condiciones de borde de simetría en las paredes laterales.

D.5. Verificación de la solución (independencia de malla)

Los estudios sistemáticos de refinamiento de la cuadrícula son los más comunes, más directos y posiblemente los más confiables métodos para la cuantificación de la incertidumbre numérica (Roache, 1994).

A fin de evaluar el proceso de convergencia de malla, la misma solución debe calcularse con mallas estructuralmente similares que tengan una relación definida entre sus tamaños de elementos. En el caso de variables de campo, puede usarse el tamaño de celda local como tamaño representativo. Sin embargo, cuando se trata de evaluar variables globales (tales como caudal o coeficientes de arrastre) resulta apropiado utilizar un tamaño «global» de malla (h_M) . Para simulaciones tridimensionales,

$$h_M = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \left(\triangle V_i\right)\right]^{1/3} \tag{D.14}$$

Para simulaciones bidimensionales,

$$h_M = \left\lceil \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \left(\triangle A_i \right) \right\rceil^{1/2} \tag{D.15}$$

donde $\triangle V_i$ es el volumen de la i-ésima celda, $\triangle A_i$ es el área de la i-ésima celda y N es el número total de celdas utilizadas para el cálculo.

Teniendo en cuenta que la simulación tridimensional y bidimensional arrojan resultados similares (Figura D.7 y Figura D.8), el análisis de convergencia de malla se realizó para esta última, ya que presenta un requerimiento computacional acotado. Siguiendo las recomendaciones de la bibliografía (Celik *et al.*, 2008; ASME, 2009), las cuales establecen que el factor de refinamiento $r = h_{gruesa}/h_{fina}$ sea mayor a 1.3, se emplearon cuatro mallados diferentes: mallado #1 (13711 celdas), mallado #2 (23403 celdas), mallado #3 (39700 celdas) y mallado #4 (67420 celdas). La discretización del dominio se realizó siguiendo el patrón de bloques mostrados en la Figura D.1. En la Tabla D.1 se detalla la cantidad de elementos utilizados en cada simulación.

En la Figura D.2 y Figura D.3 se observa en forma cualitativa el proceso de con-

vergencia de malla llevado adelante para definir el tamaño de celdas de las simulaciones RANS. En la Figura D.2 se presentan los perfiles de la energía cinética turbulenta (TKE/U_1^2) en diferentes progresivas, mientras que en la Figura D.3 se muestra la distribución longitudinal de los valores máximos. El mayor error relativo entre el mallado #3 y el mallado #4 (e_a^{34}) para el TKE_{max}/U_1^2 es de 2.3 %.

Siendo el caudal una variable global de la simulación, resulta interesante ver su evolución en función del mallado utilizado. En la Figura D.4 se observa que la variación del caudal es asintótica hacia un valor cercano a $0.036 \, m^3/s$.

Mallado #1 (M1)			[N	Mallado #2 (M2) Mall			∕Iallado	ado #3 (M3)			Mallado # (M4)					
Malla #		# celda:	celdas		Malla	# celdas		Malla	# celdas		Γ	Malla	# celdas				
IVIdIId	х	У	Z	П	ivialia	Х	у	Z	IVIdild	Х	У	Z	-1	ividild	х	У	Z
	29	1	13		- 1	38	1	17		50	1	22	Γ	ı	65	1	29
II	35	1	27	Н	II	45	1	35	l II	58	1	45	-	П	75	1	59
III	155	1	54	Н	III	201	1	71	III	268	1	90	-	III	349	1	117
IV	57	1	27	Н	IV	75	1	35	IV	100	1	45	-	IV	130	1	59
V	120	1	12	Н	V	155	1	16	v	200	1	22	-	V	259	1	29
VI	16	1	65	П	VI	21	1	86	VI	27	1	110	-	VI	35	1	146
Total	celdas:	13	711	[Total	celdas:	23	403	Total	celdas:	39	700		Total	celdas:	67	240
	$h_{M1} = 1.44 \text{ cm}$ $h_{M2} = 1.11 \text{ cm}$ $h_{M3} = 0.85 \text{ cm}$						h _{M4} =	0.65	cm								
r _{1,2} =	1.31				r _{2,3} =	1.30			r _{3,4} =	1.30							

Tabla D.1: Características del mallado utilizado para evaluar el error de discretización en la simulación RNG k- ϵ bidimensional. Ensayo $Fr_1 = 2.0$, S = 1.0.

Celik *et al.* (2008) proporcionan pautas específicas para el cálculo y la publicación de estimaciones de errores de discretización en simulaciones CFD. En esta guía se propone la utilización del índice GCI (Grid Convergence Index, Roache, 1994), el cual está basado en el método de extrapolación de Richardson (Richardson, 1910; Richardson y Gaunt, 1927). Siguiendo estos lineamientos, la incertidumbre numérica del mallado #3 es de 1% para el caudal. En la Tabla D.2 se detallan todos los cálculos realizados para determinar el error de discretización mencionado. En base a los resultados expuestos precedentemente, se escogió el mallado #3 para la simulación bidimensional y su equivalente para las simulaciones tridimensionales RANS (Figura D.1).

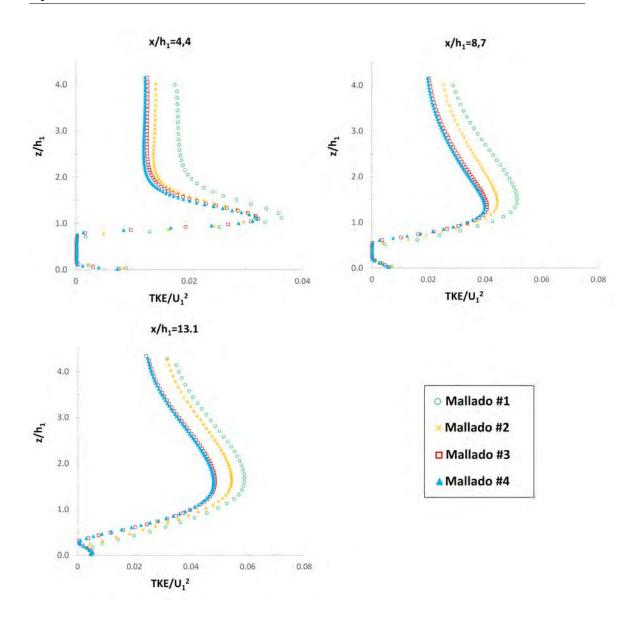


Figura D.2: Convergencia de malla de la simulación RNG k- ε bidimensional. Perfil de energía cinética turbulenta (TKE/U_1^2) . Ensayo $Fr_1=2.0,\,S=1.0$.

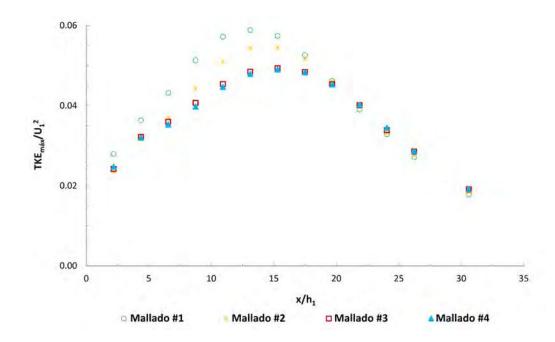


Figura D.3: Convergencia de malla de la simulación RNG k- ϵ bidimensional. Distribución de la energía cinética turbulenta máxima en la dirección x (TKE_{max}/U_1^2). Ensayo $Fr_1=2.0, S=1.0$.

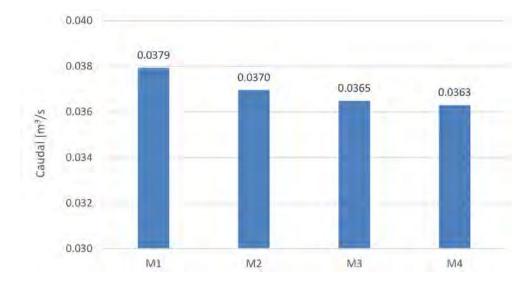


Figura D.4: Variación del caudal en función del mallado. Simulaciones *RNG* k- ϵ bidimensional. Ensayo $Fr_1=2.0, S=1.0.$

0.011

0.008

0.007

1.30

[m]

[m]

[m]

				AND RESERVED AND ADDRESS OF THE PARTY OF THE				
			φ ₂	ф3	фа			
			0.0370	0.0365	0.0363			
			Erro	r de discret	ización		- 2	- 25
E32	€43	q(p)	р	ф _{ехt} 23	$\phi_{\rm ext}^{32}$	e _a 32	e, 43	e _{ext} 32
-0.00047	-0.00019	0	3.5	0.0373	0.0362	1.3%	0.5%	0.9%
A _{total} =	2.86	[m ²]	Área total de	cálculo				
N ₂ =	23,403	[-]	Total de celo	las mallado #	12			
N ₃ =	39,700	[-]	Total de celo	las mallado #				
N _A =	67,240	[-]	Total de celo	las mallado #				

Caudal [m3/s]

Tamaño global de celda del mallado #2

Tamaño global de celda del mallado #3

Tamaño global de celda del mallado #4

Factor de refinamiento mallado #3/mallado #2

donde $e_{43} = \phi_4 - \phi_3$, $e_{32} = \phi_3 - \phi_2$ y ϕ_i denota la solución para el i-ésimo mallado.

Valores extrapolados (
$$\phi_{ext}$$
): $\phi_{ext}^{23} = (r_{32}^p \phi_3 - \phi_2) / (r_{32}^p - 1)$ $\phi_{ext}^{32} = (r_{32}^p \phi_2 - \phi_3) / (r_{32}^p - 1)$

Error relativo (e_a):
$$e_a^{32} = \left| \left(\phi_2 - \phi_3 \right) / \phi_2 \right|; \quad e_a^{43} = \left| \left(\phi_3 - \phi_4 \right) / \phi_3 \right|$$

Error relativo extrapolado
$$(e_{ext})$$
: $e_{ext}^{32} = \left| \left(\phi_{ext}^{23} - \phi_2 \right) / \phi_{ext}^{23} \right|$

Índice de convergencia de malla (GCI):
$$GCI_{fina}^{32} = (1.25e_a^{32}) / (r_{32}^p - 1)$$

Tabla D.2: Cálculo del error de discretización del caudal para la simulación *RNG* k- ϵ bidimensional. Ensayo $Fr_1 = 2.0$, S = 1.0.

D.6. Comparación de resultados

A continuación, se presenta una comparación de los resultados obtenidos con las simulaciones RANS utilizando los diferentes modelos de turbulencia descriptos en la sección D.1. Se incorporan los resultados de la simulaciones LES-NWM (ver parte III) con el propósito de tener una valoración de todas las aproximaciones numéricas que se han empleado en esta tesis.

En primer lugar, se evalúa la capacidad de predecir el comportamiento tridimensional del resalto sumergido desde un punto de vista macroscópico, es decir, la representación del «roller» horizontal y de los vórtices verticales cercanos a la compuerta. En la Figura D.5 se observa la velocidad en la dirección de la corriente (u/U_1) en el plano central del canal (y/W=0.5). El color verde está asociado a las velocidades positivas, mientras que el violeta a las velocidades negativas o de retroceso. También se encuentra representada con línea de puntos roja la isotaquia $u/U_1=0$, la cual, al llegar a la

GCI_{fina}

superficie libre, define la longitud del «roller». En todos los casos el torbellino de eje horizontal puede ser representado por las simulaciones, con diferencias que van desde -9% (LES-NWM) hasta 18% (k-ω) respecto a los datos experimentales. En cuanto a los vórtices verticales se observa que unicamente la simulación LES-NWM es capaz de detectar su presencia cerca de la compuerta de manera satisfactoria (Figura D.6).

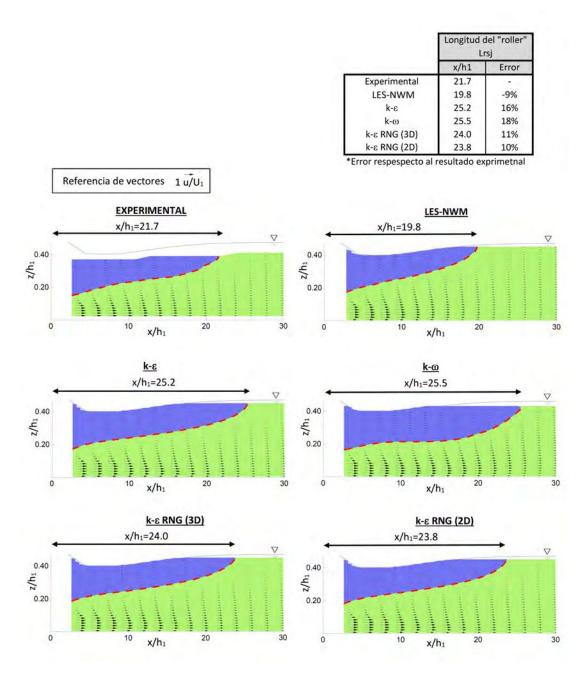


Figura D.5: Comparación de resultados experimentales y simulaciones numéricas para u/U_1 en el plano y/W = 0.5. Verde: velocidades positivas; violeta: velocidades negativas o de retroceso. Línea de puntos roja: isotaquia $u/U_1 = 0$. Ensayo $Fr_1 = 2.0$, S = 1.0.

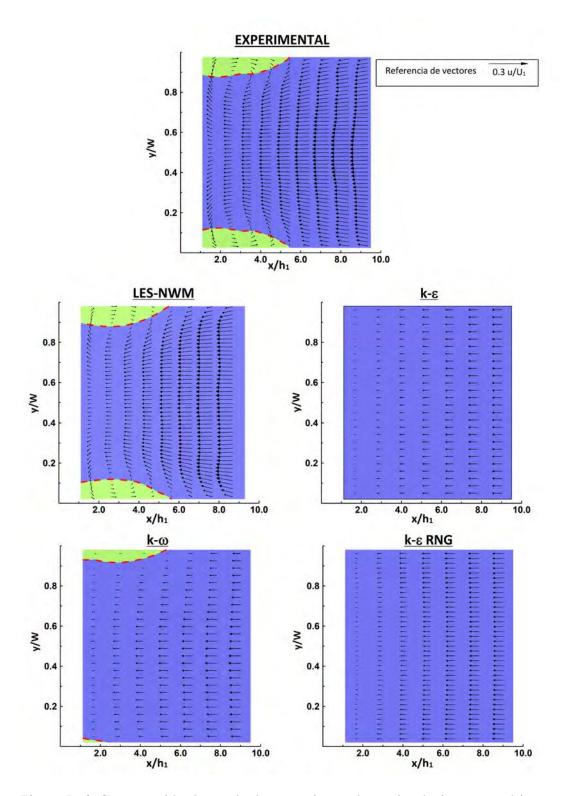


Figura D.6: Comparación de resultados experimentales y simulaciones numéricas para u/U_1 en el plano $z/h_1=3.5$. Verde: velocidades positivas; violeta: velocidades negativas o de retroceso. Línea de puntos roja: isotaquia $u/U_1=0$. Ensayo $Fr_1=2.0$, S=1.0.

En la Figura D.7.a se muestran los perfiles de velocidad en la dirección de la corriente en diferentes secciones (u/U_1) , mientras que la Figura D.7.b describe la evolución de la velocidad máxima a lo largo del centro del canal. Los perfiles de velocidad tienen un acuerdo en general satisfactorio en cuanto a su forma, sin embargo, las velocidades máximas (u_{max}/U_1) en cada sección presentan discrepancias con los valores obtenidos en las mediciones experimentales. La Figura D.7.b deja ver las diferencias mencionadas, fundamentalmente a partir de la segunda mitad del resalto $(x/L_{rsj}>0.5)$. En la Tabla D.3 se muestra el error en la estimación de las velocidades máximas para cada uno de los modelos de turbulencia empleados, destacándose que el error medio para las simulaciones RANS se encuentra entre 11 % y 18 % dependiendo del modelo de turbulencia empleado.

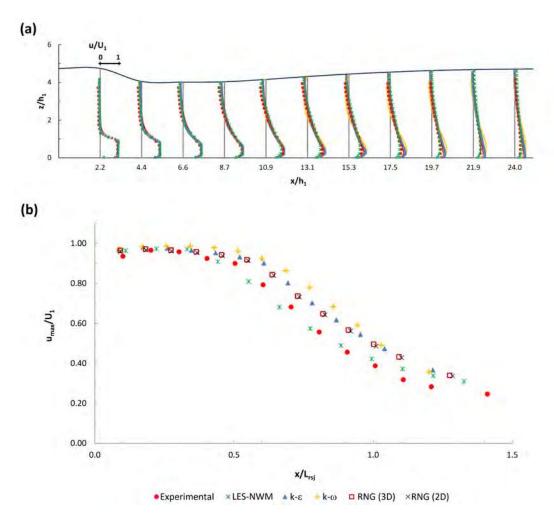


Figura D.7: Comparación de resultados experimentales y simulaciones numéricas: a) perfiles de velocidad en la dirección del escurrimiento (u/U_1) en el plano y/W = 0.5.; b) distribución de la velocidad máxima u_{max}/U_1 en el plano y/W = 0.5. Ensayo $Fr_1 = 2.0$, S = 1.0.

En cuanto a la energía cinética turbulenta, los perfiles de TKE/U_1^2 para las simu-

laciones RANS (Figura D.8) manifiestan un apartamiento mayor respecto al ensayo experimental de lo que ocurre con la velocidad media. Existe una subestimación de los valores de TKE_{max}/U_1^2 en la primera mitad del resalto $(x/L_{rsj} < 0.6)$ donde se concentra la producción de la energía cinética turbulenta. En la Tabla D.4 se presentan los errores obtenidos en la estimación de TKE_{max}/U_1^2 para cada simulación, siendo el error medio de cada una de ellas el siguiente: 19 % para el modelo k- ε , 35 % para el k- ω y 16 % para el modelo k- ε .

x/L _{rsj}	k-s	k-w	k-ε RNG (3D)	k-ε RNG (2D)	LES-NWM
0.2	1%	2%	1%	0%	1%
0.3	1%	3%	1%	0%	1%
0.4	3%	6%	3%	2%	1%
0.5	4%	7%	3%	3%	-5%
0.6	13%	16%	10%	10%	-5%
0.7	16%	24%	12%	12%	-6%
0.8	21%	33%	18%	19%	-2%
0,9	28%	38%	25%	25%	4%
1.0	29%	34%	26%	26%	7%
Media	13%	18%	11%	11%	4%

Tabla D.3: Error en la estimación u_{max}/U_1 para cada simulación numérica. Ensayo $Fr_1 = 2.0, S = 1.0$.

En las Figura D.7.b y Figura D.8.b también se encuentran volcados los resultados de la simulaciones bidimensional realizada con el modelo $RNG\ k$ - ε . Se observa que los valores obtenidos con una aproximación bidimensional son similares a los que se consiguen con una modelación tridimensional. Este hecho resulta consistente con lo presentado en la Figura D.6, donde se demuestra que los modelos de turbulencia RANS no permiten predecir el comportamiento tridimensional cercano a la compuerta.

Por último, se ha incorporado en el análisis los estadísticos turbulentos conseguidos a partir de la simulaciones LES-NWM, confirmándose que con esta simulación se consigue la mejor predicción del comportamiento turbulento del resalto sumergido. Con la simulación LES-NWM se consigue un error medio de 4% y de 10% para u_{max}/U_1 y TKE_{max}/U_1^2 respectivamente, mientras que para las simulaciones RANS la mejor estimación es de 11% y 16%.

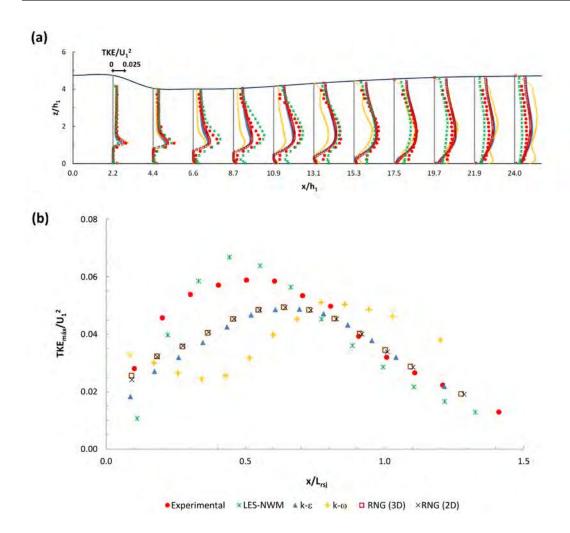


Figura D.8: Comparación de resultados experimentales y simulaciones numéricas: a) perfiles de energía cinética turbulenta (TKE/U_1^2) en el plano central; b) distribución de energía cinética turbulenta $TKE_{m\acute{a}x}/U_1^2$ en el plano central. Ensayo $Fr_1=2.0, S=1.0$.

x/L _{rsj}	k-ε	k-m	k-ε RNG (3D)	k-ε RNG (2D)	LES-NWM
0.2	-37%	-37%	-28%	-28%	-24%
0.3	-36%	-53%	-31%	-31%	-1%
0.4	-29%	-56%	-26%	-26%	12%
0.5	-22%	-47%	-20%	-20%	11%
0.6	-17%	-32%	-16%	-16%	3%
0.7	-9%	-13%	-9%	-9%	-2%
8.0	-8%	2%	-8%	-8%	-14%
0.9	4%	26%	3%	4%	-12%
1.0	7%	46%	7%	6%	-13%
Media	19%	35%	16%	16%	10%

Tabla D.4: Error en la estimación $TKE_{m\acute{a}x}/U_1^2$ para cada simulación numérica. Ensayo $Fr_1=2.0,\,S=1.0.$