

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

MODELACIÓN NUMÉRICA (CFD) DEL FLUJO COMBINADO SUPERIOR E INFERIOR EN UNA COMPUERTA PLANA CON EL PROGRAMA FLOW-3D.

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN
HIDRÁULICA, MENCIÓN EN DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS**

CARLOS ALEXANDRO BOHÓRQUEZ BARBA
Ing.cbohorquez@gmail.com

DIRECTOR: Dr. Ing. MARCO ANTONIO CASTRO DELGADO
macd0706@gmail.com

CODIRECTORA: Ing. MSc. XIMENA DEL ROCIO HIDALGO BUSTAMANTE
ximena.hidalgo@gmail.com

Quito, enero 2020

DECLARACIÓN

Yo, Carlos Alejandro Bohórquez Barba, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Carlos Alejandro Bohórquez Barba

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Señor Carlos Alexandro Bohórquez Barba, bajo mi supervisión.

Dr. Ing. Marco Castro Delgado
DIRECTOR DEL PROYECTO.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a todas y cada una de las personas que me han apoyado, para cumplir con esta meta.

Al doctor Marco Castro Delgado, a la ingeniera Ximena Hidalgo Bustamante, y al ingeniero Edwin Casa Tipán, por sus valiosos aportes para el desarrollo de este proyecto.

Al ingeniero Iván Calero Hidalgo, por haber fomentado mi interés por la ingeniería hidráulica.

Carlos Alexandro.

DEDICATORIA

A mi adorada familia, pues todo en esta vida se los debo a ustedes:
Olgui, Carlos y David.

Carlos Alexandro.

CONTENIDO

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA.....	IV
CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XVII
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	XX
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XXI
SIMBOLOGÍA.....	XXXII
RESUMEN	XXXIV
ABSTRACT	XXXV
PRESENTACIÓN	XXXVI
CAPITULO 1.	1
INTRODUCCIÓN.	1
1.1. ANTECEDENTES.	3
1.2. OBJETIVOS.	5
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.	5
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	5
1.3. ALCANCE.	6
1.4. JUSTIFICACIÓN.	7
2. CAPÍTULO 2	8
MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	8
2.1. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1.1. FLUJO BAJO COMPUERTAS.	8
2.1.2. FLUJO SOBRE VERTEDEROS.....	12
2.1.3. OBSTRUCCIONES EN COMPUERTAS Y VERTEDEROS.....	17

2.1.4.	COMPUERTA VERTEDERO.....	19
2.1.5.	ECUACIONES FUNDAMENTALES DE LA HIDRÁULICA.....	20
2.1.6.	ECUACIONES DE NAVIER STOKES – ECUACIÓN GENERAL DEL MOVIMIENTO.....	28
2.1.7.	CAPA LÍMITE.....	29
2.1.8.	TURBULENCIA.....	32
2.1.9.	BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS DE TURBULENCIA.....	33
2.1.10.	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL.....	40
2.1.11.	BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA FLOW 3D.....	41
2.2.	ESTADO DEL ARTE.....	46
3.	CAPÍTULO 3.....	50
	METODOLOGÍA.....	50
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL MODELO FÍSICO DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL FLUJO COMBINADO SUPERIOR E INFERIOR EN UNA__ COMPUERTA PLANA, PEISSNER.....	50
3.1.1.	GEOMETRÍA.....	50
3.1.2.	CONSIDERACIONES DEL MODELO FÍSICO.....	52
3.1.3.	DIAGRAMA DE NAUDASCHER-CASTRO-PEISSNER.....	53
3.2.	MODELO NUMÉRICO CFD.....	55
3.2.1.	DESCRIPCIÓN.....	55
3.2.2.	GEOMETRÍA TRIDIMENSIONAL.....	56
3.2.3.	MALLADO.....	59
3.2.4.	CONDICIONES DE CONTORNO.....	65
3.2.5.	PROPIEDADES DEL FLUIDO ANALIZADO EN EL MODELO NUMÉRICO.....	68
3.3.	CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS DEL MODELO NUMÉRICO CON BASE EN LA INFORMACIÓN DEL MODELO FÍSICO DE PEISSNER (1989).....	68
3.3.1.	ESCENARIO DE CALIBRACIÓN A.....	70
3.3.2.	ESCENARIO DE CALIBRACIÓN B.....	71

3.3.3.	ESCENARIO DE CALIBRACIÓN C	72
3.3.4.	SELECCIÓN DEL MODELO DE TURBULENCIA.....	78
3.4.	ESCENARIOS DE OPERACIÓN	84
3.4.1.	ESCENARIO NORMAL DE OPERACIÓN	84
3.4.2.	ESCENARIO DE OPERACIÓN “A”	85
3.4.3.	ESCENARIO DE OPERACIÓN “B”.....	86
3.5.	PARÁMETROS REFERIDOS EN EL ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ESCENARIOS DE OPERACIÓN.....	87
3.5.1.	CONSIDERACIONES PREVIAS.....	87
3.5.2.	REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES.	88
3.5.3.	VISUALIZACIÓN DEL CALADO DE APROXIMACIÓN HACIA LA ESTRUCTURA DE CONTROL.....	90
3.5.4.	VARIACIÓN TEMPORAL DE LOS PARÁMETROS DEL FLUJO	90
4.	CAPÍTULO 4:	92
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	92
4.1.	RESULTADOS DEL ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL.	92
4.1.1.	CAUDALES OBTENIDOS EN EL MODELO NUMÉRICO.....	92
4.1.2.	CALADOS DE APROXIMACIÓN Y CARGA SOBRE EL VERTEDERO.....	97
4.1.3.	CÁLCULO DE CAUDALES DE DESCARGA MEDIANTE EL DIAGRAMA DE NAUDASCHER-CASTRO-PEISSNER.....	102
4.1.4.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS DEL MODELO FÍSICO Y DEL MODELO NUMÉRICO.....	103
4.1.5.	PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL.....	106
4.1.6.	VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL.....	109
4.1.7.	IDENTIFICACIÓN DE LA UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN ENTRE LOS FLUJOS SUPERIOR E INFERIOR.....	114
4.1.8.	CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES MEDIANTE LAS ECUACIONES DE DESCARGA BAJO COMPUERTAS Y SOBRE VERTEDEROS.	116
4.2.	RESULTADOS DEL ESCENARIO DE OPERACIÓN “A”.....	119

4.2.1.	CAUDALES OBTENIDOS EN EL MODELO NUMÉRICO.....	119
4.2.2.	CALADOS DE APROXIMACIÓN Y CARGA SOBRE EL VERTEDERO.....	124
4.2.3.	PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL.....	129
4.2.4.	VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL.....	132
4.2.5.	IDENTIFICACIÓN DE LA UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN ENTRE LOS FLUJOS SUPERIOR E INFERIOR.....	136
4.2.6.	CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES MEDIANTE LAS ECUACIONES DE DESCARGA BAJO COMPUERTAS Y SOBRE VERTEDEROS.	138
4.3.	RESULTADOS DEL ESCENARIO DE OPERACIÓN “B”.....	140
4.3.1.	CAUDALES OBTENIDOS EN EL MODELO NUMÉRICO.....	140
4.3.2.	CALADOS DE APROXIMACIÓN Y CARGA SOBRE EL VERTEDERO.....	145
4.3.3.	PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL.....	150
4.3.4.	VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL.....	153
4.3.5.	IDENTIFICACIÓN DE LA UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN ENTRE LOS FLUJOS SUPERIOR E INFERIOR.....	157
4.3.6.	CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES MEDIANTE LAS ECUACIONES DE DESCARGA BAJO COMPUERTAS Y SOBRE VERTEDEROS.	159
4.4.	DIAGRAMAS DE DISEÑO HIDRÁULICO.....	161
5.	CAPÍTULO 5:.....	169
	RESUMEN. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.	169
5.1.	RESUMEN.....	169
5.2.	CONCLUSIONES.....	172
5.3.	TRABAJOS FUTUROS.....	175
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	176
7.	ANEXOS.....	178

ANEXO A1: DESARROLLO DE LA CAPA LÍMITE, CALCULADOS A PARTIR DE LAS ECUACIONES (2.41), Y (2.42), CON BASE EN LOS CAUDALES ENSAYADOS.....	179
ANEXO A 2: CARACTERÍSTICAS DE LOS BLOQUES DE MALLADO QUE CONFORMAN EL DOMINIO COMPUTACIONAL.....	181
ANEXO B: REGISTROS HISTÓRICOS DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO DE LAS PRUEBAS REALIZADAS PARA LA SELECCIÓN DEL MODELO DE TURBULENCIA.....	184
ANEXO C: REGISTROS HISTÓRICOS DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL.....	193
ANEXO D: REGISTROS DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL.....	199
ANEXO E: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL.....	205
ANEXO F: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL.....	211
ANEXO G: REGISTROS HISTÓRICOS DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN "A".....	217
ANEXO H: REGISTROS DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN "A".....	223
ANEXO I: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN "A".....	229
ANEXO J: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN "A".....	235

ANEXO K: REGISTROS HISTÓRICOS DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN "B"...	241
ANEXO L: REGISTROS DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN "B".	248
ANEXO M: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN "B".	254
ANEXO N: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN "B"...	260

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. 1: PARÁMETROS MODIFICADOS EN LAS PRUEBAS REALIZADAS EN EL MODELO NUMÉRICO.....	7
TABLA 3. 1: COORDENADAS Y NÚMERO DE ELEMENTOS DE LOS BLOQUES DE MALLADO DEL DOMINIO COMPUTACIONAL.....	64
TABLA 3. 2: CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA CAPA LÍMITE A LA DISTANCIA DONDE SE ENCUENTRA UBICADA LA COMPUERTA VERTEDERO.....	64
TABLA 3. 3: CARACTERÍSTICAS DE LOS BLOQUES DE MALLADO DEL MODELO DIGITAL DE PARTIDA.....	70
TABLA 3. 4: CARACTERÍSTICAS DE LOS BLOQUES DE MALLADO ESCENARIO DE CALIBRACIÓN A.....	71
TABLA 3. 5: CARACTERÍSTICAS DE LOS BLOQUES DE MALLADO ESCENARIO DE CALIBRACIÓN B.....	72
TABLA 3. 6: CARACTERÍSTICAS DE LOS BLOQUES DE MALLADO-ESCENARIO DE CALIBRACIÓN C.....	73
TABLA 3. 7: RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS EN EL MODELO DIGITAL DE PARTIDA.....	74
TABLA 3. 8: RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS EN EL MODELO DEL ESCENARIO DE CALIBRACIÓN A.....	75
TABLA 3. 9: RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS EN EL MODELO DEL ESCENARIO DE CALIBRACIÓN B.....	76
TABLA 3. 10: RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS EN EL MODELO DEL ESCENARIO DE CALIBRACIÓN C.....	77
TABLA 3. 11: RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ESCENARIOS DE CALIBRACIÓN.....	78
TABLA 3. 12: RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS CON EL MODELO DE TURBULENCIA K-E RNG.....	82
TABLA 3. 13: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS CON EL MODELO DE TURBULENCIA K- Ω	83
TABLA 3. 14: CAUDALES ENSAYADOS EN LAS SIMULACIONES EFECTUADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL.....	84
TABLA 3. 15: CAUDALES ENSAYADOS EN LAS SIMULACIONES EFECTUADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN "A".....	86
TABLA 3. 16: CAUDALES ENSAYADOS EN LAS SIMULACIONES EFECTUADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN "B".....	87

TABLA 4. 1: CAUDALES DE DESCARGA SUPERIOR E INFERIOR - ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL.....	96
TABLA 4. 2: EVALUACIÓN DE LA CONTINUIDAD DEL FLUJO EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL.	97
TABLA 4. 3: CAUDALES DE DESCARGA SUPERIOR E INFERIOR CUANTIFICADOS MEDIANTE EL DIAGRAMA DE NAUDASCHER-CASTRO-PEISSNER.....	103
TABLA 4. 4: RESUMEN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS NUMÉRICOS VERSUS RESULTADOS TEÓRICOS.....	103
TABLA 4. 5: NÚMEROS DE REYNOLDS DEL FLUJO DE APROXIMACIÓN DE LAS PRUEBAS REALZADAS PARA EL ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL.....	105
TABLA 4. 6: CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES DE DESCARGA INFERIOR POR MEDIO DE LA ECUACIÓN DE LA DESCARGA BAJO COMPUERTAS (CD CRITERIOS DE SWAMEE) DEL ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL – COMPARACIÓN RESPECTO A LOS CAUDALES OBTENIDOS EN EL MODELO NUMÉRICO.....	117
TABLA 4. 7: CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES DE DESCARGA SUPERIOR POR MEDIO DE LA ECUACIÓN DE LA DESCARGA SOBRE VERTEDEROS (CD CRITERIOS DE SWAMEE) – BASADOS EN EL CRITERIO DE SUBDIVISIÓN DEL FLUJO DE APROXIMACIÓN - COMPARACIÓN RESPECTO A LOS CAUDALES OBTENIDOS EN EL MODELO NUMÉRICO.	118
TABLA 4. 8: CAUDALES DE DESCARGA SUPERIOR E INFERIOR - ESCENARIO DE OPERACIÓN “A”.....	123
TABLA 4. 9: EVALUACIÓN DE LA CONTINUIDAD DEL FLUJO EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL ESCENARIO DE OPERACIÓN “A”.....	124
TABLA 4. 10: CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES DE DESCARGA INFERIOR POR MEDIO DE LA ECUACIÓN DE LA DESCARGA BAJO COMPUERTAS (CD CRITERIOS DE SWAMEE)DEL ESCENARIO DE OPERACIÓN “A”– COMPARACIÓN RESPECTO A LOS CAUDALES OBTENIDOS EN EL MODELO NUMÉRICO.....	139
TABLA 4. 11: CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES DE DESCARGA SUPERIOR POR MEDIO DE LA ECUACIÓN DE LA DESCARGA SOBRE VERTEDEROS (CD CRITERIOS DE SWAMEE) BASADOS EN EL CRITERIO DEL FONDO VIRTUAL DEL ESCENARIO DE OPERACIÓN “A” - COMPARACIÓN RESPECTO A LOS CAUDALES OBTENIDOS EN EL MODELO NUMÉRICO.	140

TABLA 4. 12: CAUDALES DE DESCARGA SUPERIOR E INFERIOR - ESCENARIO DE OPERACIÓN "B".	144
TABLA 4. 13: EVALUACIÓN DE LA CONTINUIDAD DEL FLUJO EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – ESCENARIO DE OPERACIÓN "B".	145
TABLA 4. 14: CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES DE DESCARGA INFERIOR POR MEDIO DE LA ECUACIÓN DE LA DESCARGA BAJO COMPUERTAS (CD CRITERIOS DE SWAMEE) DEL ESCENARIO DE OPERACIÓN "B"– COMPARACIÓN RESPECTO A LOS CAUDALES OBTENIDOS EN EL MODELO NUMÉRICO.	160
TABLA 4. 15: CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES DE DESCARGA SUPERIOR POR MEDIO DE LA ECUACIÓN DE LA DESCARGA SOBRE VERTEDEROS (CD CRITERIOS DE SWAMEE) BASADOS EN EL CRITERIO DEL FONDO VIRTUAL DEL ESCENARIO DE OPERACIÓN "A" - COMPARACIÓN RESPECTO A LOS CAUDALES OBTENIDOS EN EL MODELO NUMÉRICO.	161
TABLA 4. 16: SINTETIZACIÓN DE PARÁMETROS DE FLUJO OBTENIDOS EN LAS SIMULACIONES NUMÉRICAS EJECUTADAS.	162
TABLA B 1: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA KE-1/QI=0.080 [M3/S].	184
TABLA B 2: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA KW-1/QI=0.080 [M3/S].	186
TABLA B 3: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS – PRUEBA KE-2/QI=0.090 [M3/S].	187
TABLA B 4: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA KW-2/QI=0.090 [M3/S].	188
TABLA B 5: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA KE-3/QI=0.130 [M3/S].	189
TABLA B 6: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA KW-3/QI=0.130 [M3/S].	190
TABLA B 7: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA KE-4/QI=0.150 [M3/S].	191
TABLA B 8: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA KW-4/QI=0.15 [M3/S].	192
TABLA C 1: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES DE SALIDA EN LAS SECCIONES DE INTERÉS EN-1/ QI=0.05[M3/S].	193
TABLA C 2: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES DE SALIDA EN LAS SECCIONES DE INTERÉS EN-2/QI=0.07[M3/S].	194

TABLA C 3: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES DE SALIDA EN LAS SECCIONES DE INTERÉS EN-3/QI=0.09[M3/S].....	195
TABLA C 4: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES DE SALIDA EN LAS SECCIONES DE INTERÉS EN-4/QI=0.11 [M3/S].....	196
TABLA C 5: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES DE SALIDA EN LAS SECCIONES DE INTERÉS EN-5/QI=0.13[M3/S].....	197
TABLA C 6: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES DE SALIDA EN LAS SECCIONES DE INTERÉS EN-6/QI=0.15[M3/S].....	198
TABLA D 1: REGISTRO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS /PRUEBA EN-1/ QI=0.05 [M3/S].....	199
TABLA D 2: REGISTRO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS / PRUEBA EN-2/ QI=0.07 [M3/S].....	200
TABLA D 3: REGISTRO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS / PRUEBA EN-3/ QI=0.09 [M3/S].....	201
TABLA D 4: REGISTRO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS / PRUEBA EN-4/ QI=0.11 [M3/S].....	202
TABLA D 5: REGISTRO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS / PRUEBA EN-5/ QI=0.13 [M3/S].....	203
TABLA D 6: REGISTRO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS / PRUEBA EN-6/ QI=0.15 [M3/S].....	204
TABLA G 1: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES DE SALIDA EN LAS SECCIONES DE INTERÉS PRUEBA EA-1/QI=0.075 [M3/S].	217
TABLA G 2: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES DE SALIDA EN LAS SECCIONES DE INTERÉS PRUEBA EA-2/QI=0.100 [M3/S].	218
TABLA G 3: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES DE SALIDA EN LAS SECCIONES DE INTERÉS PRUEBA EA-3/QI=0.125 [M3/S].	219
TABLA G 4: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES DE SALIDA EN LAS SECCIONES DE INTERÉS PRUEBA EA-4/QI=0.150 [M3/S].	220
TABLA G 5: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES DE SALIDA EN LAS SECCIONES DE INTERÉS PRUEBA EA-5/QI=0.175 [M3/S].	221

TABLA G 6: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES DE SALIDA EN LAS SECCIONES DE INTERÉS PRUEBA EA-6/QI=0.200 [M3/S].	222
TABLA H 1: REGISTRO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS / PRUEBA EA-1/ QI=0.075 [M3/S].	223
TABLA H 2: REGISTRO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS / PRUEBA EA-2/ QI=0.100 [M3/S].	224
TABLA H 3: REGISTRO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS / PRUEBA EA-3/ QI=0.125 [M3/S].	225
TABLA H 4: REGISTRO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS / PRUEBA EA-4/ QI=0.150 [M3/S].	226
TABLA H 5: REGISTRO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS / PRUEBA EA-5/ QI=0.175 [M3/S].	227
TABLA H 6: REGISTRO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS / PRUEBA EA-6/ QI=0.200 [M3/S].	228
TABLA K 1: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES DE SALIDA EN LAS SECCIONES DE INTERÉS PRUEBA EB-1/ QI=0.75 [M3/S].	241
TABLA K 2: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES DE SALIDA EN LAS SECCIONES DE INTERÉS PRUEBA EB-2/ QI=0.100 [M3/S].	243
TABLA K 3: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES DE SALIDA EN LAS SECCIONES DE INTERÉS PRUEBA EB-3/ QI=0.125 [M3/S].	244
TABLA K 4: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES DE SALIDA EN LAS SECCIONES DE INTERÉS PRUEBA EB-4/ QI=0.150 [M3/S].	245
TABLA K 5: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES DE SALIDA EN LAS SECCIONES DE INTERÉS PRUEBA EB-5/ QI=0.175 [M3/S].	246
TABLA K 6: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES DE SALIDA EN LAS SECCIONES DE INTERÉS PRUEBA EB-6/ QI=0.200 [M3/S].	247
TABLA L 1: REGISTRO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS /PRUEBA EB-1/ QI=0.075 [M3/S].	248

TABLA L 2: REGISTRO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS /PRUEBA EB-2/ $QI=0.100$ [M ³ /S].	249
TABLA L 3: REGISTRO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS /PRUEBA EB-3/ $QI=0.125$ [M ³ /S].	250
TABLA L 4: REGISTRO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS /PRUEBA EB-4/ $QI=0.150$ [M ³ /S].	251
TABLA L 5: REGISTRO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS /PRUEBA EB-5/ $QI=0.175$ [M ³ /S].	252
TABLA L 6: REGISTRO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS /PRUEBA EB-6/ $QI=0.200$ [M ³ /S].	253

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. 1: ESQUEMA DEL MODELO FÍSICO DE PEISSNER (1989)– CORTE LONGITUDINAL.	4
FIGURA 2. 1: ESQUEMA DE UNA COMPUERTA VERTICAL PLANA.	8
FIGURA 2. 2: ESQUEMA DE LA DESCARGA LIBRE DE UNA COMPUERTA.	10
FIGURA 2. 3: ESQUEMA DE LA DESCARGA SUMERGIDA DE UNA COMPUERTA.	10
FIGURA 2. 4: COEFICIENTE DE DESCARGA DE UNA COMPUERTA PLANA VERTICAL SEGÚN COFRÉ Y BUCHHEISER.	11
FIGURA 2. 5: ESQUEMA GENERAL DE UN VERTEDERO.	13
FIGURA 2. 6: ESQUEMA DE VERTEDERO CON DESCARGA LIBRE.	15
FIGURA 2. 7: ESQUEMA DE VERTEDERO CON DESCARGA SUMERGIDA _____	15
FIGURA 2. 8: ESQUEMA DE UNA COMPUERTA VERTEDERO.	20
FIGURA 2. 9: ESQUEMA MODELO DE LAGRANGE.	21
FIGURA 2. 10: MODELO DE EULER.	22
FIGURA 2. 11: PRESIONES ACTUANTES EN UN PRISMA IDEALIZADO DEL FLUIDO.	23
FIGURA 2. 12: TENSIONES ACTUANTES EN UN PRISMA IDEALIZADO DEL FLUIDO.	24
FIGURA 2. 13: ESQUEMA DE FUERZAS ACTUANTES EN UNA PARTÍCULA DEL FLUIDO.	27
FIGURA 2. 14: DESARROLLO DE LA CAPA LÍMITE.	31
FIGURA 2. 15: ESPESOR DE LA CAPA LÍMITE EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE REYNOLDS.	31
FIGURA 2. 16: PROCEDIMIENTO GENERAL PARA EJECUCIÓN DE SIMULACIÓN NUMÉRICA.	45
FIGURA 2. 17: PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA ESTIMACIÓN DE LA DESCARGA EN INVESTIGACIONES PREVIAS.	49
FIGURA 3. 1: MODELO FÍSICO DE PEISSNER-PLANTA GENERAL.	51
FIGURA 3. 2: MODELO FÍSICO DE PEISSNER-CORTE LONGITUDINAL.	51
FIGURA 3. 3: MODELO FÍSICO DE PEISSNER-DETALLE DE COMPUERTA-CLAPETA, CUENCO-ESCALÓN.	51

FIGURA 3. 4: ESQUEMA DE SOLUCIÓN FLUJO SIMULTÁNEO SUPERIOR E INFERIOR Y "REPARTICIÓN DE CAUDALES".	53
FIGURA 3. 5: DIAGRAMA DE NAUDASCHER, CASTRO, PEISSNER.	55
FIGURA 3. 6: MODELO TRIDIMENSIONAL COMPUTACIONAL GENERADO MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD.	56
FIGURA 3. 7: REPRESENTACIÓN DEL FONDO DEL CANAL EN FORMATO STL.	57
FIGURA 3. 8: ESQUEMA DE LAS PAREDES DEL CANAL EN FORMATO STL.	58
FIGURA 3. 9: ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA DE CONTROL EN FORMATO STL – CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS.	58
FIGURA 3. 10: ESQUEMA DE LOS COMPONENTES GEOMÉTRICOS DEL MODELO NUMÉRICO EN FORMATO STL – UBICACIÓN DE LOS EJES DE COORDENADAS ADOPTADAS.	59
FIGURA 3. 11: ESQUEMA DE ELEMENTOS DEL MALLADO.	60
FIGURA 3. 12: RENDERIZADO DEL DOMINIO COMPUTACIONAL CON DIFERENTES TAMAÑOS DE MALLA.	62
FIGURA 3. 13: BLOQUES DE MALLADO DEL DOMINIO COMPUTACIONAL.	63
FIGURA 3. 14: SECCIONES DE CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES.	63
FIGURA 3. 15: PLANOS DE MALLA PARA REFINAMIENTO LOCAL.	65
FIGURA 3. 16: MODELO 3D RENDERIZADO	65
FIGURA 3. 17: CONDICIONES DE CONTORNO DEL MODELO NUMÉRICO.	66
FIGURA 3. 18: CONDICIÓN DE CONTORNO DE ENTRADA DEL MODELO NUMÉRICO.	66
FIGURA 3. 19: CONDICIÓN DE CONTORNO DE SALIDA DEL MODELO NUMÉRICO.	67
FIGURA 3. 20: CONDICIONES DE CONTORNO DE SIMETRÍA- ____CONTINUIDAD DEL MODELO NUMÉRICO.	67
FIGURA 3. 21: PROPIEDADES FÍSICAS DEL FLUIDO ANALIZADO EN EL MODELO NUMÉRICO.	68
FIGURA 3. 22: CORTE LONGITUDINAL-BLOQUES DE MALLADO DEL MODELO DIGITAL DE PARTIDA.	69
FIGURA 3. 23: CORTE LONGITUDINAL - BLOQUES DE MALLADO DEL ESCENARIO DE CALIBRACIÓN A.	71
FIGURA 3. 24: CORTE LONGITUDINAL-BLOQUES DE MALLADO DEL ESCENARIO DE CALIBRACIÓN B.	72

FIGURA 3. 25: CORTE LONGITUDINAL-BLOQUES DE MALLADO DEL ESCENARIO DE CALIBRACIÓN C.	73
FIGURA 3. 26: CONDICIONES DE ABERTURA DE LA SECCIÓN DE CONTROL - ESCENARIO NORMAL DE OPERACIÓN	84
FIGURA 3. 27: CONDICIONES DE ABERTURA DE LA SECCIÓN DE CONTROL - ESCENARIO DE OPERACIÓN "A".	85
FIGURA 3. 28: CONDICIONES DE ABERTURA DE LA SECCIÓN DE CONTROL - ESCENARIO DE OPERACIÓN "B"	86
FIGURA 3. 29: SECCIONES DE INTERÉS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE VARIABLES DEL FLUJO.	89
FIGURA 3. 30: NOMENCLATURA PARA LAS DESCARGAS SUPERIOR E INFERIOR EN LA COMPUERTA-VERTEDERO.....	89
FIGURA 3. 31: HISTORIAL DEPENDIENTE DE LA MALLA - FLOW 3D.....	89
FIGURA 4. 1: DIAGRAMA DE CÁLCULO DE LAS DESCARGAS SUPERIOR E INFERIOR DE LA COMPUERTA VERTEDERO, EN FUNCIÓN DE LA ABERTURA DE LA COMPUERTA (A).....	167
FIGURA 4. 2: DIAGRAMA DE CÁLCULO DE LAS DESCARGAS SUPERIOR E INFERIOR DE LA COMPUERTA VERTEDERO, EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO DE ABERTURA DE LA CLAPETA SUPERIOR (θ).	168

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 2. 1: TAPONAMIENTO DE COMPUERTA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO CUATRO ESQUINAS – PORTOVIEJO- ECUADOR.	18
FOTOGRAFÍA 2. 2: TAPONAMIENTO DE COMPUERTA EN LA BOCATOMA DE PITAY – MAJES – PERÚ.....	18
FOTOGRAFÍA 2. 3: ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS EN EL PARAMENTO DE VERTEDERO.	18
FOTOGRAFÍA 2. 4: RETENCIÓN DE SEDIMENTOS EN EL PARAMENTO AGUAS ARRIBA DEL VERTEDERO.	19
FOTOGRAFÍA 3. 1: MODELO FÍSICO DE PEISSNER-DETALLE DE COMPUERTA-CLAPETA, CUENCO-ESCALÓN.	52
FOTOGRAFÍA 3. 2: MODELO FÍSICO DE PEISSNER-DETALLE DE COMPUERTA-CLAPETA, CUENCO-ESCALÓN.	52

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 3. 1: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PARA SELECCIÓN DEL MODELO DE TURBULENCIA PRUEBA Q =0.9 [M3/S].	80
GRÁFICO 3. 2: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PARA SELECCIÓN DEL MODELO DE TURBULENCIA PRUEBA Q =0.13 [M3/S].	80
GRÁFICO 3. 3: REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PARA SELECCIÓN DEL MODELO DE TURBULENCIA PRUEBA Q =0.15 [M3/S].	81
GRÁFICO 3. 4: DESARROLLO DEL FLUJO EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – ESCENARIO NORMAL Q=0.150[M3/S].....	88
GRÁFICO 3. 5: VISUALIZACIÓN 2D -VARIACIÓN TEMPORAL DE LA PROFUNDIDAD DEL FLUJO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS ESCENARIO NORMAL Q=0.15 [M3/S] – $\Delta T=2[S]$	90
GRÁFICO 3. 6: VISUALIZACIÓN 3D- VARIACIÓN TEMPORAL DE LA PROFUNDIDAD DEL FLUJO EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL - ESCENARIO NORMAL Q=0.15 [M3/S] – $\Delta T=2[S]$	91
GRÁFICO 4. 1: VARIACIÓN TEMPORAL DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA EN-1 QI=0.05 [M3/S].....	93
GRÁFICO 4. 2: VARIACIÓN TEMPORAL DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA EN-2.....	93
GRÁFICO 4. 3: VARIACIÓN TEMPORAL DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA EN-3.....	94
GRÁFICO 4. 4: VARIACIÓN TEMPORAL DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA EN-4.....	94
GRÁFICO 4. 5: VARIACIÓN TEMPORAL DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA EN-5.....	95
GRÁFICO 4. 6: VARIACIÓN TEMPORAL DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA EN-6.....	95
GRÁFICO 4. 7: VARIACIÓN DE DESCARGAS SUPERIOR E INFERIOR - ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL.....	96
GRÁFICO 4. 8: VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL UBICADA 75CM AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO – PRUEBA EN-1 QI=0.05 [M3/S].....	98

GRÁFICO 4. 9: CALADOS PROMEDIO AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA VERTEDERO ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL / PRUEBA EN- 1 / $QI=0.05$ M ³ /S.	98
GRÁFICO 4. 10: VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL UBICADA 75CM AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO – PRUEBA EN-2 $QI=0.07$ [M ³ /S].	98
GRÁFICO 4. 11: CALADOS AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA VERTEDERO ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL / PRUEBA EN- 2 / $QI=0.07$ M ³ /S.	99
GRÁFICO 4. 12: VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL UBICADA 75CM AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO – PRUEBA EN-3 $QI=0.09$ [M ³ /S].	99
GRÁFICO 4. 13: CALADOS AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA VERTEDERO ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL / PRUEBA EN- 3 / $QI=0.09$ M ³ /S.	99
GRÁFICO 4. 14: VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL UBICADA 75CM AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO – PRUEBA EN-4 $QI=0.11$ [M ³ /S].	100
GRÁFICO 4. 15: CALADOS AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA VERTEDERO ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL / PRUEBA EN- 4 / $QI=0.11$ M ³ /S.	100
GRÁFICO 4. 16: VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL UBICADA 75CM AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO – PRUEBA EN-5 $QI=0.13$ [M ³ /S].	100
GRÁFICO 4. 17: CALADOS AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA VERTEDERO - ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL / PRUEBA EN- 5 / $QI=0.13$ M ³ /S.	101
GRÁFICO 4. 18: VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL UBICADA 75CM AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO – PRUEBA EN-6 $QI=0.15$ [M ³ /S].	101
GRÁFICO 4. 19: CALADOS AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA VERTEDERO ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL / PRUEBA EN- 6 / $QI=0.15$ M ³ /S.	101
GRÁFICO 4. 20: CÁLCULO DE CAUDALES DE DESCARGA SUPERIOR E INFERIOR MEDIANTE EL DIAGRAMA DE NAUDASCHER-CASTRO-PEISSNER.	102
GRÁFICO 4. 21: PRESIONES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EN-1.	106

GRÁFICO 4. 22: PRESIONES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EN-2.	107
GRÁFICO 4. 23: PRESIONES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EN-3.	107
GRÁFICO 4. 24: PRESIONES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EN-4.	108
GRÁFICO 4. 25: PRESIONES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EN-5.	108
GRÁFICO 4. 26: PRESIONES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EN-6.	109
GRÁFICO 4. 27: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EN-1.	110
GRÁFICO 4. 28: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EN-2.	110
GRÁFICO 4. 29: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EN-3.	111
GRÁFICO 4. 30: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EN-4.	111
GRÁFICO 4. 31: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EN-5.	112
GRÁFICO 4. 32: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EN-6.	112
GRÁFICO 4. 33: DIRECCIÓN DE LOS VECTORES VELOCIDAD.	113
GRÁFICO 4. 34: CAMBIO DE DIRECCIÓN DE LOS VECTORES VELOCIDAD.	113
GRÁFICO 4. 35: UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN DE LA CORRIENTE - PRUEBA EN-1. $QI=0.05[M3/S]$	114
GRÁFICO 4. 36: UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN DE LA CORRIENTE - PRUEBA EN-2. $QI=0.07[M3/S]$	115
GRÁFICO 4. 37: UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN DE LA CORRIENTE - PRUEBA EN-3. $QI=0.09[M3/S]$	115
GRÁFICO 4. 38: UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN DE LA CORRIENTE - PRUEBA EN-4. $QI=0.11[M3/S]$	115
GRÁFICO 4. 39: UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN DE LA CORRIENTE - PRUEBA EN-5. $QI=0.13[M3/S]$	116
GRÁFICO 4. 40: UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN DE LA CORRIENTE - PRUEBA EN-6. $QI=0.15[M3/S]$	116
GRÁFICO 4. 41: VARIACIÓN TEMPORAL DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA EA-1.	120

GRÁFICO 4. 42: VARIACIÓN TEMPORAL DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA EA-2.....	120
GRÁFICO 4. 43: VARIACIÓN TEMPORAL DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA EA-3.....	121
GRÁFICO 4. 44: VARIACIÓN TEMPORAL DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA EA-4.....	121
GRÁFICO 4. 45: VARIACIÓN TEMPORAL DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA EA-5.....	122
GRÁFICO 4. 46: VARIACIÓN TEMPORAL DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA EA-6.....	122
GRÁFICO 4. 47: VARIACIÓN DE DESCARGAS SUPERIOR E INFERIOR - ESCENARIO DE OPERACIÓN "A".....	123
GRÁFICO 4. 48: VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL UBICADA 75CM AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO – PRUEBA EA-1 $QI=0.075$ [M3/S].....	125
GRÁFICO 4. 49: CALADOS PROMEDIO AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA VERTEDERO - ESCENARIO DE OPERACIÓN "A"/ PRUEBA EA-1 / $QI=0.075$ [M3/S].....	125
GRÁFICO 4. 50: VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL UBICADA 75CM AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO – PRUEBA EA-2 $QI=0.100$ [M3/S].....	125
GRÁFICO 4. 51: CALADOS PROMEDIO AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA VERTEDERO - ESCENARIO DE OPERACIÓN "A"/ PRUEBA EA-2 / $QI=0.100$ [M3/S].....	126
GRÁFICO 4. 52: VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL UBICADA 75CM AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO – PRUEBA EA-3 $QI=0.125$ [M3/S].....	126
GRÁFICO 4. 53: CALADOS PROMEDIO AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA VERTEDERO ESCENARIO DE OPERACIÓN "A"/ PRUEBA EA-3 / $QI=0.125$ [M3/S].....	126
GRÁFICO 4. 54: VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL UBICADA 75CM AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO – PRUEBA EA-4 $QI=0.150$ [M3/S].....	127
GRÁFICO 4. 55: CALADOS PROMEDIO AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA VERTEDERO - ESCENARIO DE OPERACIÓN "A"/ PRUEBA EA-4 / $QI=0.150$ [M3/S].....	127
GRÁFICO 4. 56: VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL UBICADA 75CM AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO – PRUEBA EA-5 $QI=0.175$ [M3/S].	127

GRÁFICO 4. 57: CALADOS PROMEDIO AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA VERTEDERO - ESCENARIO DE OPERACIÓN "A"/ PRUEBA EA-5 / $QI=0.175$ [M3/S].....	128
GRÁFICO 4. 58: VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL UBICADA 75CM AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO – PRUEBA EA-6 $QI=0.200$ [M3/S].	128
GRÁFICO 4. 59: CALADOS PROMEDIO AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA VERTEDERO - ESCENARIO DE OPERACIÓN "A"/ PRUEBA EA-6 / $QI=0.200$ [M3/S].....	128
GRÁFICO 4. 60: PRESIONES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EA-1.....	129
GRÁFICO 4. 61: PRESIONES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EA-2.....	130
GRÁFICO 4. 62: PRESIONES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EA-3.....	130
GRÁFICO 4. 63: PRESIONES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EA-4.....	131
GRÁFICO 4. 64: PRESIONES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EA-5.....	131
GRÁFICO 4. 65: PRESIONES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EA-6.....	132
GRÁFICO 4. 66: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EN-1.	133
GRÁFICO 4. 67: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EN-2.	133
GRÁFICO 4. 68: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EN-3.	134
GRÁFICO 4. 69: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EN-4.	134
GRÁFICO 4. 70: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EN-5.	135
GRÁFICO 4. 71: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EN-6.	135
GRÁFICO 4. 72: UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN DE LA CORRIENTE - PRUEBA EA-1.- $QI=0.075$ [M3/S].	136
GRÁFICO 4. 73: UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN DE LA CORRIENTE - PRUEBA EA-2.- $QI=0.100$ [M3/S].	137
GRÁFICO 4. 74: UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN DE LA CORRIENTE - PRUEBA EA-3.- $QI=0.125$ [M3/S].	137

GRÁFICO 4. 75: UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN DE LA CORRIENTE - PRUEBA EA-4.- $QI=0.150$ [M3/S].	137
GRÁFICO 4. 76: UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN DE LA CORRIENTE - PRUEBA EA-5.- $QI=0.175$ [M3/S].	138
GRÁFICO 4. 77: UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN DE LA CORRIENTE - PRUEBA EA-6.- $QI=0.200$ [M3/S].	138
GRÁFICO 4. 78: VARIACIÓN TEMPORAL DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA EB-1.	141
GRÁFICO 4. 79: VARIACIÓN TEMPORAL DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA EB-2.	141
GRÁFICO 4. 80: VARIACIÓN TEMPORAL DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA EB-3.	142
GRÁFICO 4. 81: VARIACIÓN TEMPORAL DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA EB-4.	142
GRÁFICO 4. 82: VARIACIÓN TEMPORAL DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA EB-5.	143
GRÁFICO 4. 83: VARIACIÓN TEMPORAL DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS - PRUEBA EB-6.	143
GRÁFICO 4. 84: VARIACIÓN DE DESCARGAS SUPERIOR E INFERIOR - ESCENARIO DE OPERACIÓN "B".	144
GRÁFICO 4. 85 : VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL UBICADA 75CM AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO – PRUEBA EB-1 $QI=0.075$ [M3/S].	146
GRÁFICO 4. 86: CALADOS PROMEDIO AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA VERTEDERO - ESCENARIO DE OPERACIÓN "B"/ PRUEBA EB-1 / $QI=0.075$ [M3/S].	146
GRÁFICO 4. 87: VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL UBICADA 75CM AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO – PRUEBA EB-2 $QI=0.100$ [M3/S].	146
GRÁFICO 4. 88: CALADOS PROMEDIO AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA VERTEDERO - ESCENARIO DE OPERACIÓN "B"/ PRUEBA EB-2 / $QI=0.100$ [M3/S].	147
GRÁFICO 4. 89: VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL UBICADA 75CM AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO – PRUEBA EB-3 $QI=0.125$ [M3/S].	147
GRÁFICO 4. 90: CALADOS PROMEDIO AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA VERTEDERO - ESCENARIO DE OPERACIÓN "B"/ PRUEBA EB-3 / $QI=0.125$ [M3/S].	147

GRÁFICO 4. 91: VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL UBICADA 75CM AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO – PRUEBA EB-4 $QI=0.150$ [M3/S].	148
GRÁFICO 4. 92: CALADOS PROMEDIO AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA VERTEDERO - ESCENARIO DE OPERACIÓN “B”/ PRUEBA EB-4 / $QI=0.150$ [M3/S].	148
GRÁFICO 4. 93: VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL UBICADA 75CM AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO – PRUEBA EB-5 $QI=0.175$ [M3/S].	148
GRÁFICO 4. 94: CALADOS PROMEDIO AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA VERTEDERO - ESCENARIO DE OPERACIÓN “B”/ PRUEBA EB-5 / $QI=0.175$ [M3/S].	149
GRÁFICO 4. 95: VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL UBICADA 75CM AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO – PRUEBA EB-6 $QI=0.200$ [M3/S].	149
GRÁFICO 4. 96: CALADOS PROMEDIO AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DE LA COMPUERTA VERTEDERO - ESCENARIO DE OPERACIÓN “B”/ PRUEBA EB-6 / $QI=0.200$ [M3/S].	149
GRÁFICO 4. 97: PRESIONES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EB-1.	150
GRÁFICO 4. 98: PRESIONES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EB-2.	151
GRÁFICO 4. 99: PRESIONES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EB-3.	151
GRÁFICO 4. 100: PRESIONES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EB-4.	152
GRÁFICO 4. 101: PRESIONES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EB-5.	152
GRÁFICO 4. 102: PRESIONES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL – PRUEBA EB-6.	153
GRÁFICO 4. 103: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EB-1.	154
GRÁFICO 4. 104: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EB-2.	154
GRÁFICO 4. 105: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EB-3.	155
GRÁFICO 4. 106: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EB-4.	155

GRÁFICO 4. 107: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EB-5.....	156
GRÁFICO 4. 108: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EB-6.....	156
GRÁFICO 4. 109: UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN DE LA CORRIENTE - PRUEBA EB-1. $QI=0.075$ [M3/S].	157
GRÁFICO 4. 110: UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN DE LA CORRIENTE - PRUEBA EB-2. $QI=0.100$ [M3/S].	158
GRÁFICO 4. 111: UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN DE LA CORRIENTE - PRUEBA EB-3. $QI=0.125$ [M3/S].	158
GRÁFICO 4. 112: UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN DE LA CORRIENTE - PRUEBA EB-4. $QI=0.150$ [M3/S].	158
GRÁFICO 4. 113: UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN DE LA CORRIENTE - PRUEBA EB-5. $QI=0.175$ [M3/S].	159
GRÁFICO 4. 114: UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN DE LA CORRIENTE - PRUEBA EB-5. $QI=0.175$ [M3/S].	159
GRÁFICO 4. 115: CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES: CALADO DE APROXIMACIÓN – CAUDALES DE DESCARGA - ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL.....	163
GRÁFICO 4. 116: CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES: CALADO DE APROXIMACIÓN – CAUDALES DE DESCARGA - ESCENARIO DE OPERACIÓN “A”.....	163
GRÁFICO 4. 117: CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES: CALADO DE APROXIMACIÓN – CAUDALES DE DESCARGA - ESCENARIO DE _____ OPERACIÓN “B”.....	164
GRÁFICO 4. 118: CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES: CALADO DE APROXIMACIÓN – CAUDALES UNITARIOS DE DESCARGA - ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL.....	164
GRÁFICO 4. 119: CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES: CALADO DE APROXIMACIÓN – CAUDALES UNITARIOS DE DESCARGA - ESCENARIO DE OPERACIÓN “A”.....	165
GRÁFICO 4. 120: CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES: CALADO DE APROXIMACIÓN – CAUDALES UNITARIOS DE DESCARGA - ESCENARIO DE OPERACIÓN “B”.....	165
GRÁFICO 4. 121: CORRELACIÓN ENTRE EL CALADO DE APROXIMACIÓN Y EL PORCENTAJE DE DESCARGA - ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL.....	166

GRÁFICO 4. 122: CORRELACIÓN ENTRE EL CALADO DE APROXIMACIÓN Y EL PORCENTAJE DE DESCARGA - ESCENARIO DE OPERACIÓN "A".....	166
GRÁFICO 4. 123: CORRELACIÓN ENTRE EL CALADO DE APROXIMACIÓN Y EL PORCENTAJE DE DESCARGA - ESCENARIO DE OPERACIÓN "B".....	167
GRÁFICO 5. 1: VARIACIÓN ESPACIAL DE LA PRESIÓN EN LA ZONA DE INTERÉS – ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL.....	169
GRÁFICO 5. 2: VARIACIÓN ESPACIAL DE LA VELOCIDAD EN LA ZONA DE INTERÉS – ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL.....	170
GRÁFICO 5. 3: UBICACIÓN DE LA SUPERFICIE DE SEPARACIÓN DE LOS FLUJOS DE DESCARGA SUPERIOR E INFERIOR, MEDIDA DESDE EL FONDO DEL CANAL.....	173
GRÁFICO A1. 1: DESARROLLO DE LA CAPA LÍMITE - $QI = 0.050[M3/S]$	179
GRÁFICO A1. 2: DESARROLLO DE LA CAPA LÍMITE - $QI = 0.075[M3/S]$	179
GRÁFICO A1. 3: DESARROLLO DE LA CAPA LÍMITE - $QI = 0.100[M3/S]$	179
GRÁFICO A1. 4: DESARROLLO DE LA CAPA LÍMITE - $QI = 0.125[M3/S]$	180
GRÁFICO A1. 5: DESARROLLO DE LA CAPA LÍMITE - $QI = 0.150[M3/S]$	180
GRÁFICO A1. 6: DESARROLLO DE LA CAPA LÍMITE - $QI = 0.125[M3/S]$	180
GRÁFICO A2. 1: CARACTERÍSTICAS DEL BLOQUE DE MALLADO NO. 1. ...	181
GRÁFICO A2. 2: CARACTERÍSTICAS DEL BLOQUE DE MALLADO NO. 2. ...	181
GRÁFICO A2. 3: CARACTERÍSTICAS DEL BLOQUE DE MALLADO NO. 3. ...	181
GRÁFICO A2. 4: CARACTERÍSTICAS DEL BLOQUE DE MALLADO NO. 4. ...	181
GRÁFICO A2. 5: CARACTERÍSTICAS DEL BLOQUE DE MALLADO NO. 5. ...	182
GRÁFICO A2. 6: CARACTERÍSTICAS DEL BLOQUE DE MALLADO NO. 6. ...	182
GRÁFICO A2. 7: CARACTERÍSTICAS DEL BLOQUE DE MALLADO NO. 7. ...	182
GRÁFICO A2. 8: CARACTERÍSTICAS DEL BLOQUE DE MALLADO NO. 8. ...	182
GRÁFICO A2. 9: CARACTERÍSTICAS DEL BLOQUE DE MALLADO NO. 9. ...	183
GRÁFICO A2. 10: CARACTERÍSTICAS DEL BLOQUE DE MALLADO NO. 7. ...	183
GRÁFICO E 1: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EN-1 $QI=0.050 [M3/S]$	205
GRÁFICO E 2: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EN-2 $QI=0.075 [M3/S]$	206
GRÁFICO E 3: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EN-3 $QI=0.090 [M3/S]$	207

GRÁFICO E 4: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EN-4 $QI=0.110$ [M3/S].	208
GRÁFICO E 5: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EN-5 $QI=0.130$ [M3/S].	209
GRÁFICO E 6: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EN-6 $QI=0.150$ [M3/S].	210
GRÁFICO F 1: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EN-1 $QI=0.050$ [M3/S].	211
GRÁFICO F 2: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EN-2 $QI=0.070$ [M3/S].	212
GRÁFICO F 3: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EN-3 $QI=0.090$ [M3/S].	213
GRÁFICO F 4: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EN-4 $QI=0.110$ [M3/S].	214
GRÁFICO F 5: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EN-5 $QI=0.130$ [M3/S].	215
GRÁFICO F 6: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EN-6 $QI=0.150$ [M3/S].	216
GRÁFICO H 1: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EA-1 $QI=0.075$ [M3/S].	229
GRÁFICO H 2: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EA-2 $QI=0.100$ [M3/S].	230
GRÁFICO H 3: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EA-3 $QI=0.125$ [M3/S].	231
GRÁFICO H 4: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EA-4 $QI=0.150$ [M3/S].	232
GRÁFICO H 5: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EA-5 $QI=0.175$ [M3/S].	233
GRÁFICO H 6: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EA-6 $QI=0.200$ [M3/S].	234
GRÁFICO J 1: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EA-1 / $QI=0.075$ [M3/S].	235
GRÁFICO J 2: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EA-2 / $QI=0.100$ [M3/S].	236
GRÁFICO J 3: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EA-3 / $QI=0.125$ [M3/S].	237

GRÁFICO J 4: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EA-4 / QI=0.150 [M3/S].....	238
GRÁFICO J 5: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EA-5 / QI=0.175 [M3/S].....	239
GRÁFICO J 6: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EA-6 / QI=0.200 [M3/S].....	240
GRÁFICO M 1: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EB-1 QI=0.075 [M3/S].	254
GRÁFICO M 2: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EB-2 QI=0.100 [M3/S].	255
GRÁFICO M 3: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EB-3 QI=0.125 [M3/S].	256
GRÁFICO M 4: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EB-4 QI=0.150 [M3/S].	257
GRÁFICO M 5: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EB-5 QI=0.175 [M3/S].	258
GRÁFICO M 6: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EB-1 QI=0.075 [M3/S].	259
GRÁFICO N 1: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EA-1/QI=0.075 [M3/S].	260
GRÁFICO N 2: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EA-2/QI=0.100 [M3/S].	261
GRÁFICO N 3: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EA-3/QI=0.125 [M3/S].	262
GRÁFICO N 4: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EA-4/QI=0.150 [M3/S].	263
GRÁFICO N 5: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EA-5/QI=0.175 [M3/S].	264
GRÁFICO N 6: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL PRUEBA EA-6/QI=0.200[M3/S].	265

SIMBOLOGÍA

a : Abertura de la compuerta inferior	h : Carga sobre el vertedero
a_x, a_y, a_z : Componentes de la aceleración en dirección de las coordenadas x, y, z	H : Carga total aguas arriba de la compuerta vertedero
A_x, A_y, A_z : Área de flujo fraccional según la dirección del eje	k : Energía cinética turbulenta
b : Longitud de la compuerta	L : Longitud de la cresta del vertedero
C : Número de Courant	m : Masa
c_d : Coeficiente de descarga	p : Presión
D : Longitud característica para cálculo del número de Reynolds	P : Perímetro mojado
F_p : Fuerza de superficie resultante de gradiente de presiones	Q : Caudal de descarga
F_τ : Fuerza de superficie debida a la resistencia al movimiento (tensiones)	Q_a : Caudal de descarga superior (sobre el vertedero)
F_C : Fuerza de cuerpo debida al peso propio.	Q_b : Caudal de descarga inferior (bajo la compuerta)
Fr : Número de Froude	Q_i : Caudal de ingreso al dominio computacional
f_x, f_y, f_z : Aceleraciones viscosas	Q_s : Caudal de salida del dominio computacional
g : Aceleración de la gravedad	q : Caudal unitario
G_k : Generación de energía cinética de turbulencia debida a los gradientes de velocidad media	q_a : Caudal unitario del flujo superior sobre el vertedero
G_b : Generación de energía cinética de turbulencia debida a la flotabilidad	q_b : Caudal unitario del flujo inferior bajo la compuerta plana
	R : Radio hidráulico
	R_{DIF} : Término de difusión de masa debido a la turbulencia

G_x, G_y, G_z : Aceleraciones de cuerpo: que corresponden a las aceleraciones convectivas (debidas al movimiento de las partículas), y a la aceleración local (referidas al peso propio de las partículas)	R_{SOR} : Fuente másica, que representa la inyección (procedencia) de masa del fluido hacia el sistema.
Re : Número de Reynolds	Y_M : Contribución de la dilatación fluctuante en turbulencia compresible a la tasa de disipación general
Re_x : Número de Reynolds a lo largo de un contorno sólido	δ_L : Espesor de la capa límite laminar
S_k, S_ϵ : Términos fuente	δ_T : Espesor de la capa límite turbulenta
t : Tiempo	ρ : Densidad del fluido
V_o : Velocidad de flujo en el canal de aproximación	ϵ : Tasa de disipación
v : Velocidad media del flujo	ω : Tasa de disipación por unidad de volumen y tiempo
V_F : Fracción de volumen abierto a flujo (volumen de control)	τ_{ij} : Tensor de Reynolds
$\frac{v^2}{2g}$: Carga de velocidad	μ : Viscosidad dinámica del fluido
w : Peso	ν : Viscosidad cinemática del fluido
w : Altura total de la compuerta plana vertical	$\sigma_k, \sigma_\epsilon$: Números turbulentos de Prandtl para k y ϵ , respectivamente
W_a =Altura ficticia del vertedero con flujo superior [m]	Γ_k, Γ_ω : Difusividad efectiva de k y ω , respectivamente;
x, y, z : Eje de coordenadas rectangulares	Y_k, Y_ω : Disipación de k y ω debido a la turbulencia;
u, v, w: Componentes de la velocidad en dirección de las coordenadas x, y, z	RNG : Grupo de renormalización (estadística)
y_o : Profundidad de flujo en el canal de aproximación	Δh_f : Pérdida de carga
y_1 : Profundidad de flujo contraído por efecto de la compuerta inferior	∇ : Operador navla
y_2 : Profundidad de flujo aguas abajo de la compuerta vertedero	Δt : Intervalo de tiempo (Paso temporal)
	Δx : Intervalo de espacio entre dos nodos (tamaño de la celda).

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló con la finalidad de modelar numéricamente, el modelo físico de Peissner (1989), para establecer criterios que permitan cuantificar la descarga simultánea superior e inferior, respectivamente, en una compuerta-vertedero, compuesta por una clapeta superior, y una compuerta inferior, considerando que este dispositivo, además de permitir la regulación de caudales y niveles en un sistema hidráulico, tiene la particularidad de ser auto limpiante, en virtud de que, mediante la descarga superior, admite la evacuación de material flotante que podría ser acarreado por la corriente, y a través de la descarga inferior evacúa los sedimentos que podría contener.

Se describen las características que tienen las compuertas y los vertederos al funcionar de manera independiente, y cómo la combinación de estos dos elementos, ofrece ventajas para minimizar los problemas que pudieran generarse por la falta de mantenimiento.

Se exponen los conceptos de la dinámica de fluidos computacional, y el procedimiento llevado a cabo para representar, numéricamente, los fenómenos hidráulicos que se llevan a cabo en el flujo a través de una compuerta vertedero.

A partir de la modelación numérica de diferentes escenarios de operación, establecidos por las condiciones de apertura de los componentes de la compuerta- vertedero, se obtuvieron los valores de las descargas superior e inferior, respectivamente, y se definieron sus características, identificando que el flujo de aproximación a la estructura de control, tiene una superficie de separación manifestándose como un fondo virtual, que incide en la descarga superior, estableciendo una reducción en la altura del vertedero, que a su vez permite caracterizar su gasto, mediante la ecuación de descarga sobre vertederos.

Sobre la base de los resultados obtenidos, se presentan gráficos que permiten cuantificar los caudales de descarga, superior, e inferior, respectivamente, a partir de la geometría de la estructura de control, el calado de aproximación, y la carga sobre el vertedero, cuya medición es factible.

Palabras clave: Compuerta-vertedero, flujo combinado superior e inferior, modelación numérica, Flow 3D.

ABSTRACT

This work is developed with the purpose of numerically modeling, the Peissner's physical model (1989), to establish criteria for quantifying the upper and lower simultaneous discharge, respectively, in a sluiceway-weir, composed of an upper clapper, and a lower gate, considering that this device, in addition to allowing the regulation of flow rates and levels in a hydraulic system, has the particularity of being a self-cleaning device, because through the upper discharge, it allows the evacuation of floating material that could be carried by flow, and through the lower discharge evacuates the sediments that it could contain.

The characteristics of the gates and weirs, when operating independently are described, and how the combination of these two elements offers advantages to minimize the problems that could be generated by lack of maintenance.

From numerical modeling of different operating scenarios, established by the opening conditions of the components of the sluiceway-weir, the values of the upper and lower discharges were obtained, and their characteristics were defined, identifying that the approach flow to the control structure, it has a separation surface manifesting itself as a virtual bottom, which affects the upper discharge, establishing a reduction in the weir's height, to characterize its discharge, through the weir's equation.

Based on the results obtained, graphs are presented that allow quantifying the discharge flows, upper, and lower, respectively, from the geometry of the control structure, the approach height, and the load on the weir, whose measurement is feasible.

Keywords: sluiceway-weir, combined upper and lower flow, numerical modelling, Flow 3D.

PRESENTACIÓN

Se realiza la simulación numérica del flujo combinado superior e inferior en una compuerta-vertedero, en el programa Flow 3D, para caracterizar los fenómenos hidráulicos que se desarrollan en el flujo a través de una esta estructura de control, obteniendo resultados que permiten establecer correlaciones entre las variables del flujo, y a su vez, generar diagramas que admiten la estimación de las descargas superior e inferior, respectivamente, en base al caudal de ingreso, calado de aproximación del flujo a la estructura y la carga sobre el vertedero.

Este trabajo ha sido dividido en los siguientes capítulos:

CAPTÍTULO 1: Mediante la introducción, se enfatiza la importancia de la regulación de caudales. Se presentan los antecedentes del proyecto, sus objetivos, el alcance de la investigación realizada, y la justificación para su ejecución.

CAPTÍTULO 2: Se realiza una revisión de los conceptos del flujo bajo compuertas, y sobre vertederos; se describe cómo la combinación de estos dos elementos, ofrece ventajas para minimizar los problemas que pudieran generarse por la falta de mantenimiento. También se describen los principios fundamentales de la hidráulica, los modelos de turbulencia, la dinámica de fluidos computacional, y se resumen los trabajos previamente realizados en cuanto al flujo combinado superior e inferior a través de una estructura de control.

CAPTÍTULO 3: En este apartado se describe la metodología empleada para la generación del modelo numérico, creado a partir del modelo físico estudiado previamente por Peissner en 1989, y la calibración respectiva llevada a cabo mediante el diagrama desarrollado por Naudascher-Castro-Peissner, para la cuantificación de las descargas superior e inferior, respectivamente, propuesto con base en el estudio experimental de Peissner. También se describen los escenarios de operación de la compuerta vertedero, analizados en este trabajo.

CAPTÍTULO 4: Contiene los resultados obtenidos en el modelo numérico, en cuanto a los caudales de descarga sobre la clapeta superior, y bajo la compuerta inferior, respectivamente, también la cuantificación de dichos caudales mediante el diagrama de Naudascher-Castro-Peissner, y mediante las ecuaciones de descarga a bajo compuertas, y sobre vertederos, conjuntamente con un análisis comparativo entre dichos valores.

CAPTÍTULO 5: Se presenta un resumen del trabajo realizado, conjuntamente con las conclusiones y los aspectos a considerarse en trabajos futuros.

CAPITULO 1.

INTRODUCCIÓN.

El continuo crecimiento de la población mundial, y el requerimiento del agua para satisfacer sus necesidades, generan importantes retos para un adecuado manejo de los recursos hídricos, de manera que se logre utilizarlos en forma óptima. Con el paso del tiempo, y debido al desarrollo de nuevas tecnologías, procesos y actividades, se evidencia el requerimiento de una mayor cantidad de agua para poder ejecutarlas; a esto debe sumarse el hecho de que la disponibilidad de agua apta para el consumo cada vez es más compleja, particularmente debido al alto grado de contaminación de las cuencas, especialmente por el uso de agroquímicos, como pesticidas y fertilizantes requeridos para el desarrollo de actividades de cultivo.

En nuestro país existen dos vertientes que nacen en la región sierra: la vertiente del Pacífico que se dirige hacia el occidente, y la vertiente del Amazonas que escurre hacia el Oriente, sin embargo, la distribución natural de los recursos hídricos no es equitativa, y, considerando que la distribución poblacional no es uniforme, puesto que el 80% de la población nacional se ubica en la vertiente del pacífico (GEO Ecuador, 2008), se tiene una disponibilidad limitada en ciertos sectores.

Según datos del Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), y del último balance hídrico, realizado en 1989 en el Plan Nacional de Recursos Hídricos de Ecuador “en nuestro país se cuenta en general con cifras globales positivas, pero existen cuencas deficitarias que se concentran en dos áreas: la provincia de Manabí (sistemas hidrográficos de Jama, Portoviejo y Jipijapa), y al este y sur del golfo de Guayaquil (sistemas de Taura, Balao, Arenillas-Zarumilla)” (GEO Ecuador, 2008,

p.57). Existen localidades donde se presentan graves problemas de escasez de agua, particularmente en la provincia de Loja, la costa de Manabí, el sector occidental de las provincias de Santa Elena y Guayas, y algunos sectores de las provincias de Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo.

También se han podido identificar tres zonas que tienen alta probabilidad de sufrir inundaciones en la época del año en la que se presentan fuertes precipitaciones, generalmente en los períodos comprendidos entre los meses de diciembre a julio:

- El área central y meridional de la Región Litoral, conformada por las Cuencas de los Ríos : Guayas, Jubones, Arenillas, Jama, Chone, Portoviejo, Jipijapa;
- Al norte de la Región Litoral, en el área baja del Río Cayapas;
- Las márgenes de varios ríos de la Región Amazónica (Ríos Napo, Pastaza, Tigre, Santiago, Morona).

En este contexto, la regulación de caudales es un aspecto trascendental a considerarse para gestionar de mejor manera los recursos hídricos, que resultan estratégicos para la ejecución de las actividades indispensables para el ser humano: agropecuarias, uso doméstico, generación de energía, entre otras.

Por lo indicado, un aspecto en el mejoramiento del manejo de los recursos hídricos constituye la capacidad de medir y controlar, con cierto grado de precisión, el flujo en puntos importantes de cuencas, y también en obras hidráulicas pertenecientes a sistemas de riego, obras de cabecera en puntos donde se realizan derivaciones, entre otras, con la finalidad de que el agua pueda ser distribuida de manera óptima, respetando los criterios de conservación de este recurso.

A lo largo de la historia, se han desarrollado técnicas, y se han construido varios dispositivos que permiten realizar mediciones y regulaciones de caudales, sin embargo, existen algunos aspectos que deben considerarse con la finalidad de solventar algunos problemas que se generan especialmente debido a la falta de mantenimiento. Los cauces naturales, y los canales abiertos, particularmente aquellos que se han proyectado en zonas pobladas o zonas cubiertas de vegetación, arrastran grandes cantidades de materiales flotantes y materiales

suspendidos, que constituyen un problema para las estructuras de regulación, al generar obstrucciones en el canal de aproximación, las cuales generan deficiencia en su capacidad de descarga. Por lo indicado, es necesario contar con estructuras que minimicen los efectos generados por las obstrucciones, de tal manera de que su capacidad de descarga no sea afectada.

1.1. ANTECEDENTES.

La regulación y medición de caudales son actividades que permiten mejorar la gestión de los recursos hídricos, más aún en proyectos o cuencas que cuentan con cantidades de agua limitadas. Dadas estas condiciones, existen varios mecanismos que permiten llevar a cabo este requerimiento. Dos de los dispositivos más utilizados para este fin, son las compuertas y los vertederos; cada uno de ellos posee ventajas que le permiten cumplir con su función de manera adecuada. No obstante, debido al uso y en muchas ocasiones a la falta de mantenimiento, la descarga de estos se ve afectada por obstrucciones que producen la reducción de la sección de descarga, y, en algunos casos, la interrupción completa del flujo, impidiendo que los dispositivos cumplan con la función para la cual han sido destinados.

Con la finalidad de minimizar los problemas generados por las obstrucciones se puede inducir un flujo simultáneo superior e inferior a través de una única estructura: una “compuerta vertedero”, con la finalidad de contar en un solo dispositivo con las ventajas que ofrecen las compuertas y los vertederos al trabajar de manera independiente. Particularmente la capacidad del vertedero de evacuar el material flotante que arrastra el flujo de agua, e incorporando un flujo inferior que permita también eliminar los sedimentos, que generalmente se depositan al pie de estas estructuras, considerando que, en muchas ocasiones, no se toman en cuenta las tareas de mantenimiento requeridas para precautelar la integridad de las estructuras hidráulicas, y que precisamente la no ejecución de estas labores, compromete su funcionamiento.

Existen varios estudios que refieren el flujo superior sobre un vertedero, así como varias investigaciones describen el flujo bajo una compuerta, sin embargo, los

temas son abordados de manera independiente. Muy pocos investigadores han analizado el flujo combinado superior e inferior a través de una compuerta-vertedero, mediante modelaciones físicas en laboratorio que han permitido obtener datos para generar diagramas de diseño. Castro e Hidalgo (2002), han propuesto analizar la descarga combinada en una compuerta vertedero, a través de la subdivisión del flujo de aproximación a la estructura, en dos partes:

- La primera corresponde al flujo libre superior de un vertedero de pared plana vertical, con un fondo o solera ficticia hacia aguas arriba, presente en la superficie de separación del flujo de aproximación;
- La segunda se refiere a la descarga bajo una compuerta plana vertical, con flujo de aproximación bajo presión, ubicada en el interior de un túnel, cuya altura ficticia aguas arriba, se mide desde el fondo del canal hasta la ubicación del fondo virtual situado en la línea de separación del flujo de aproximación.

Sobre esta base, para caracterizar el flujo simultáneo es necesario definir la ubicación de la línea de separación de estos dos flujos, la cual genera la solera y la altura ficticia del túnel, respectivamente para cada flujo.

Peissner K (1989), analiza las características del flujo combinado superior e inferior en una compuerta plana vertical, mediante los resultados obtenidos en su modelo físico, construido en la Universidad de Karlsruhe, Alemania, cuyo esquema se presenta a continuación:

Figura 1. 1: Esquema del modelo físico de Peissner (1989) – Corte longitudinal.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

En la tesis doctoral de Peissner K.: *Abfluss- und Belastungskenngrößen bei gleichzeitig ueber- und unterstroemten Wehrverschlussen*, se incluye un diagrama

generado con base en las mediciones realizadas en su modelo físico, que ha sido elaborado por Castro M. (1989), el cual permite calcular la descarga superior e inferior, respectivamente en la estructura de control estudiada en la tesis doctoral referida, a partir de las lecturas limnimétricas del calado de aproximación a la compuerta plana vertical y la carga sobre el vertedero, dadas las aberturas de la compuertas inferior, y la clapeta superior, respectivamente.

1.2. OBJETIVOS.

1.2.1. OBJETIVO GENERAL.

Realizar la modelación numérica del trabajo realizado por Peissner (1989) en su modelo físico de una compuerta plana vertical, mediante el uso de la dinámica de fluidos computacional con el programa Flow 3D, para cuantificar las descargas simultaneas superior e inferior a través de esta estructura.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Definir las características del flujo simultáneo superior e inferior, mediante la simulación de varios escenarios de operación, para evaluar la funcionalidad de la estructura.
- Identificar la línea de corriente límite, o superficie de separación de los flujos de descarga superior e inferior, para caracterizar los flujos superior e inferior.
- Comparar los resultados de la modelación numérica con los valores obtenidos en el modelo físico, para validar u observar los existentes en el diagrama de Naudascher, Castro, Peissner (1989), mediante el análisis de los resultados del modelo numérico.
- Ampliar el rango de funcionamiento del dispositivo, efectuando la simulación de diferentes escenarios de operación, para incrementar el ámbito de aplicabilidad de la estructura.
- Obtener diagramas de diseño hidráulico, mediante la tabulación y sintetización de los resultados, para optimizar el dimensionamiento de estas estructuras.

1.3. ALCANCE.

El presente trabajo se ha elaborado a partir de la geometría del modelo físico de Peissner (1989), descrito en párrafos anteriores, sobre la base del que se cuenta con un diagrama elaborado por Castro (1989), que permite estimar los caudales de descarga superior e inferior, respectivamente, obtenidos en el modelo físico.

Se ha desarrollado un modelo numérico tomando en cuenta todos los aspectos considerados en el modelo físico de Peissner, los cuales incluyen: su geometría, rugosidad, y viscosidad del agua.

En el modelo numérico, se desarrollaron simulaciones para tres diferentes escenarios de operación, considerando las siguientes variantes en los escenarios:

- Caudal de ingreso al dominio computacional;
- Modificación en la apertura de la clapeta superior, rotándola 30° alrededor de su eje.
- Modificación en la apertura de la compuerta inferior, de 6cm, a 9 cm.

La calibración del modelo numérico se llevó a cabo mediante la simulación en Flow 3D de varios escenarios, considerando un rango de caudales comprendido entre 0.05 [m³/s] y 0.15 [m³/s], que corresponden a los estudiados en el modelo físico de Peissner (1989), ensayando combinaciones de modelos de turbulencia k-ε y k-ω, en los cuales se obtuvieron los valores de la profundidad de flujo en el canal de aproximación (y_o), y la carga sobre el vertedero (h), realizando ensayos con variaciones en la geometría, aguas abajo de la compuerta. A partir de estos parámetros, se empleó el diagrama de Castro-Naudascher-Peissner, en el cual interviene el número de Froude y la relación y_o/h , hasta obtener resultados en el modelo numérico, similares a los calculados mediante el diagrama en mención.

Una vez que se obtuvieron en el modelo numérico, condiciones semejantes a las generadas en laboratorio se ensayaron nuevamente varios caudales, con tres circunstancias de aperturas de la compuerta y la clapeta, respectivamente, incluidas las condiciones estudiadas por Peissner en su modelo físico. Los

parámetros modificados en los escenarios ensayados en el modelo numérico se resumen en la *tabla 1.1*:

Tabla 1. 1: Parámetros modificados en las pruebas realizadas en el modelo numérico.

PARÁMETRO MODIFICADO	VALOR INICIAL	VALOR FINAL
Caudal de ingreso	0.05 [m ³ /s]	0.20 [m ³ /s]
Apertura de la compuerta (a)	6 [cm]	9[cm]
Ángulo de Apertura de la clapeta (θ)	110 °	80 °

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

1.4. JUSTIFICACIÓN.

Contar con criterios de diseño de estructuras de control sujetas a flujo simultáneo superior e inferior, es importante para el dimensionamiento, construcción y posterior operación y mantenimiento de estas estructuras. Mediante la simulación numérica del flujo combinado superior e inferior en una compuerta planta se obtendrán resultados que permitirán generar diagramas de cálculo de las descargas superior e inferior, respectivamente, en base al calado de aproximación del flujo a la estructura y la carga sobre el vertedero.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

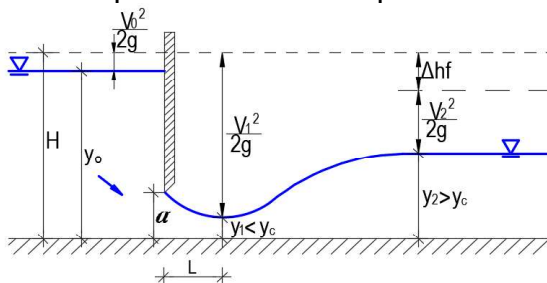
2.1. MARCO TEÓRICO.

La sección de un canal o cauce natural, en la que se pueda establecer una relación definida entre la profundidad del flujo de aproximación, y el caudal de descarga se conoce como sección de control. Esta sección se genera a partir de un dispositivo o estructura que condiciona el flujo. Las compuertas y los vertederos son algunos ejemplos de elementos que generan secciones de control.

2.1.1. FLUJO BAJO COMPUERTAS.

Una compuerta es un dispositivo que se instala en sistemas hidráulicos a manera de placa móvil, la cual al levantarse admite la regulación de la apertura del orificio establecido entre el labio inferior y el fondo del canal, generando una estructura de control que permite regular el caudal que fluye a través de la misma, reteniendo o permitiendo el paso del agua embalsada aguas arriba.

Figura 2. 1: Esquema de una compuerta vertical plana.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

El gasto de la compuerta, se manifiesta en un chorro que presenta una contracción que tiene un valor de $C_d * a$, que es alcanzado a una distancia L , a partir de la cual

se reestablece su sección, cuando las líneas de corriente se vuelven horizontales, generando así una distribución de presiones hidrostática. Debido a la contracción del chorro, y a la fricción en el fondo, se genera una pérdida de carga que influye en el caudal de descarga de la compuerta. El valor de C_d se refiere al coeficiente de descarga.

Naudascher (2002), refiere que las pérdidas de carga que se presentan en el flujo bajo compuertas tienen que ver con dos aspectos: el primero se relaciona a la formación de vórtices en las esquinas y el segundo, obedece a las pérdidas en la capa límite del fondo.

2.1.1.1. Aplicaciones.

Son varias las aplicaciones de las compuertas en obras hidráulicas, entre las cuales se pueden mencionar:

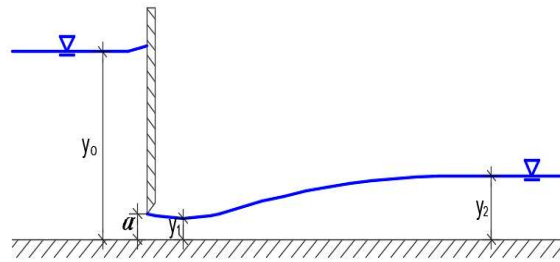
- Regular niveles y caudales en vertederos de presas;
- Realizar cierres en obras de desvío de ríos;
- Abrir o cerrar obras de admisión en centrales hidroeléctricas;
- Regular caudales en obras de irrigación u obras de abastecimiento de agua;
- Control de caudales en descargas de fondo;
- Regular caudales en sistemas de llenado y vaciado de agua;
- Realizar cierres emergentes ante situaciones extraordinarias;
- Ejecutar cierres requeridos para la ejecución de labores de limpieza y mantenimiento; entre otras.

2.1.1.2. Condiciones de descarga en compuertas.

2.1.1.2.1. Descarga libre.

Es aquella cuyo gasto bajo la compuerta fluye sujeto a la condición de borde $p =$ presión atmosférica (constante), como se muestra en la *figura 2.2*, debido a que el calado aguas abajo de la compuerta no es suficientemente alto para sumergir la sección contraída, por lo tanto, no tiene efecto en la descarga.

Figura 2. 2: Esquema de la descarga libre de una compuerta.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

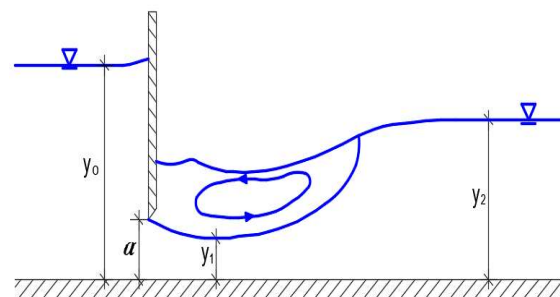
Se considera que la descarga es libre cuando se cumple la condición propuesta por Swamee K.(1992) :

$$y_0 \geq 0.81 y_2 \left(\frac{y_2}{a} \right)^{0.72} \quad (2.1)$$

2.1.1.2.2. Descarga sumergida.

Corresponde a aquella en la que inmediatamente aguas abajo de la compuerta se presenta una variación de la presión, generada por la presencia de un volumen líquido.

Figura 2. 3: Esquema de la descarga sumergida de una compuerta.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Se tiene una descarga sumergida cuando se satisface la siguiente condición, Swamee K. (1992):

$$y_2 < y_0 < 0.81 y_2 \left(\frac{y_2}{a} \right)^{0.72} \quad (2.2)$$

2.1.1.3. Ecuación de la descarga bajo compuertas.

La ecuación convencional de la descarga de una compuerta es la siguiente:

$$Q = C_d a b * \sqrt{2gy_0} \quad (2.3)$$

Donde:

Q = Caudal de descarga de la compuerta [m^3/s];

a = Apertura de la compuerta [m];

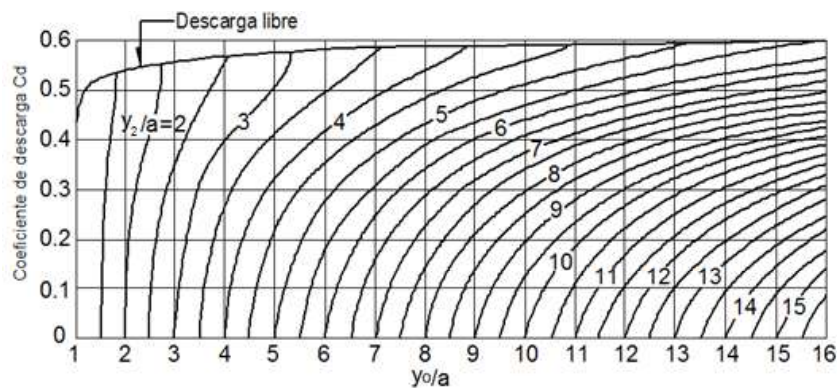
b = Longitud de la compuerta [m];

y_o = Calado de aproximación (aguas arriba de la compuerta) [m];

c_d = Coeficiente de descarga.

En una compuerta, la descarga libre ocurre generalmente cuando la relación entre el calado de aproximación y la apertura de la compuerta tiene un valor considerable, pero, a medida que esta relación va disminuyendo, se manifiesta el fenómeno de sumersión de la descarga. Los efectos de la descarga libre, y de la condición de sumergencia se sintetizan en el coeficiente de descarga, el cual ha sido exhaustivamente estudiado por Henry (1950), mediante una investigación experimental extensa, la cual es considerada muy confiable por numerosos autores, entre ellos Cofré y Buchheiser (1955), quienes comprobaron y ampliaron la investigación de Henry, estableciendo criterios para determinar la condición de la descarga, y proponiendo el diagrama que se muestra en la *figura 2.4*, que muestra la variación del coeficiente de descarga en condiciones libre y de sumergencia, respectivamente, basado en la relación y_o/a , y en la condición de sumergencia establecida por la relación y_2/a , siendo y_2 el calado aguas abajo de la compuerta (tail water depth). Esta investigación fue validada posteriormente por Rajaratma y Subramanya (1967), entre otros investigadores.

Figura 2. 4: Coeficiente de descarga de una compuerta plana vertical según Cofré y Buchheiser.



Fuente: Sotelo Ávila, (1997).

Las siguientes ecuaciones desarrolladas por Swamee K. (1992), han sido ajustadas para describir las curvas de la *figura 2.4*:

- Descarga libre

$$c_d = 0.611 \left(\frac{y_o - a}{y_o + 15a} \right)^{0.072} \quad (2.4)$$

- Descarga sumergida:

$$C_d = 0.611 \left(\frac{y_o - a}{y_o + 15a} \right)^{0.072} (y_o - y_2) \left\{ 0.32 \left[0.81 y_2 \left(\frac{y_2}{a} \right)^{0.72} - y_o \right]^{0.7} \right\}^{-1} \quad (2.5)$$

Donde:

y_o = Calado de aproximación (aguas arriba de la compuerta) [m];

a = Apertura de la compuerta [m];

y_2 = Calado aguas abajo de la compuerta [m].

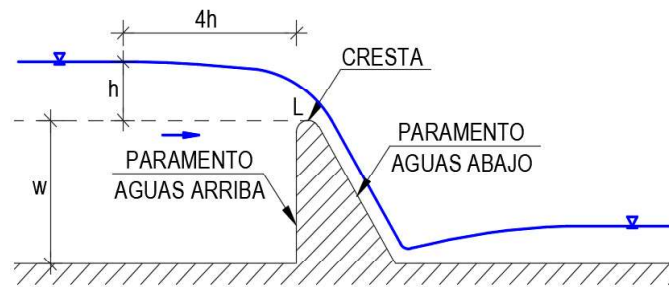
El coeficiente de descarga abarca los siguientes efectos:

- Las características geométricas y la rugosidad de la estructura;
- Las condiciones en el canal de aproximación, incluyendo la carga de velocidad y las condiciones de contorno;
- Viscosidad, turbulencia, y la distribución no uniforme de velocidades;

2.1.2. FLUJO SOBRE VERTEDEROS.

Los vertederos son elementos hidráulicos formados por un cierre transversal que se dispone en un cauce o componente hidráulico, con la finalidad de elevar el nivel aguas arriba de la estructura, para que pueda verter sobre ésta, controlando su efecto aguas abajo mediante una descarga con superficie libre, con la finalidad de realizar derivaciones y /o mediciones de caudal. El esquema general de un vertedero se exhibe en la *figura 2.5*.

Figura 2. 5: Esquema general de un vertedero.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Los vertederos están conformados por los siguientes elementos:

- La cresta o umbral: que corresponde a la parte más alta o coronación por donde vierte el agua;
- Los paramentos: que son las paredes o taludes que delimitan a la estructura hacia aguas arriba, y aguas abajo, respectivamente;
- El perfil: que es la zona de contacto en la cresta, y corresponde a la forma de su sección transversal;
- La altura (w): que es la longitud del paramento aguas arriba, medida desde el fondo del canal hacia la coronación.
- La longitud (L): es la dimensión de la cresta del vertedero, comprendida entre las paredes que la confinan, distancia que puede o no coincidir con el ancho del canal, en función de la forma del vertedero.

La carga sobre el vertedero (h) es la altura que adquiere el agua sobre la cresta para verter, valor que debe ser medido donde el efecto de la depresión del nivel del agua es despreciable. Lázaro A. (1997), Domínguez F (1999) y Rocha A. (2007) refieren que la medición de este parámetro debe llevarse a cabo a una distancia de al menos $4h$ (cuatro veces la carga medida), hacia aguas arriba del paramento, en virtud de que, a partir de esta distancia, la sección del escurrimiento disminuye, por lo tanto, la velocidad del flujo aumenta y el nivel de agua se abate.

La geometría de los vertederos varía en función de su uso, aplicación, y las condiciones de emplazamiento, las cuales están definidas por la sección mojada sobre la estructura, y por su forma. Aguas arriba del vertedero, se produce un movimiento gradualmente variado, y la descarga a través de estos elementos

genera una lámina vertiente inmediatamente aguas abajo, produciéndose desde de la cresta, un flujo rápidamente variado ante la transformación de energía potencial en energía cinética.

2.1.2.1. Aplicaciones.

Los vertederos tienen una aplicación muy extendida en todo tipo de sistemas hidráulicos, por ejemplo, en obras de saneamiento, evacuación de aguas residuales, sistemas de control de aguas pluviales, entre otras, empleándose como instrumentos que sirven para:

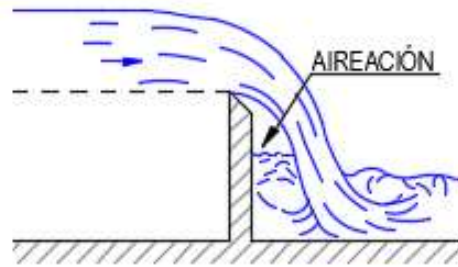
- Controlar el nivel de embalses, canales, entre otros sistemas hidráulicos, permitiendo que el agua alcance una determinada cota para el funcionamiento de los componentes de obras hidráulicas;
- Medición de caudales en pequeños cursos de agua con superficie libre;
- Controlar el flujo en sistemas hidráulicos, ya sea en obras de excedencia, disipadores de energía, transiciones, obras de toma, entre otras;
- Evacuación de avenidas, para que las estructuras hidráulicas tengan seguridad, permitiendo el vertido sobre ellas, y evitar que el nivel de agua se eleve sobre el nivel máximo de embalse;
- Realizar derivaciones.

2.1.2.2. Condiciones de descarga de los vertederos.

2.1.2.2.1. Vertedero con descarga libre.

Se produce una descarga libre cuando en esta no hay influencia del nivel aguas abajo, es decir, dicho nivel es inferior al de la cresta del vertedero, por lo tanto, la lámina vertiente se forma como una caída natural. En esta condición se produce aireación en la zona comprendida entre el vertedero y la lámina vertiente mostrada en la *figura 2.6*.

Figura 2. 6: Esquema de vertedero con descarga libre.

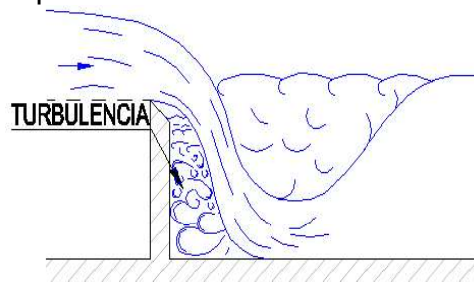


Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

2.1.2.2.2. *Vertedero con descarga sumergida.*

Cuando el nivel aguas abajo supera la cota de la cresta del vertedero, se produce una descarga sumergida, condición que influye en su capacidad de descarga debido a la reducción de la velocidad por efecto del agua existente a continuación de la descarga, impidiendo al aire ingresar en el manto inferior de la lámina, espacio en el que se presenta turbulencia.

Figura 2. 7: Esquema de vertedero con descarga sumergida.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

2.1.2.3. **Ecuación de la descarga sobre de vertederos.**

La ecuación general de la descarga de vertederos rectangulares, ampliamente aceptada por varios autores, entre ellos: Swamee K. (1988), Sotelo G. (1997), Rocha A (2007) es la siguiente:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} c_d L h^{3/2} \quad (2.6)$$

Donde:

Q = Caudal de descarga del vertedero [m³/s];

g = Aceleración de la gravedad [m/s²];

c_d = Coeficiente de descarga [-];

L = Longitud de la cresta del vertedero [m];

h = Carga sobre el vertedero.

Los valores del coeficiente de descarga c_d han sido obtenidos experimentalmente, mediante la ejecución de numerosos estudios, para diferentes casos y condiciones particulares, llegándose a la conclusión de que este coeficiente depende de varios factores, como la naturaleza de los bordes de la estructura en cuanto a su geometría, la carga sobre el vertedero, las propiedades del fluido, entre otras.

Cada investigación realizada ha determinado un campo de aplicación para las expresiones formuladas, es así que existen diversas fórmulas empíricas que permiten obtener los valores de c_d para geometrías específicas de vertederos, considerando que son muy numerosas las formas que pueden ser adoptadas.

Swamee K. (1988), realizó un estudio experimental con el objetivo de unificar los criterios estudiados previamente por otros autores, analizando los resultados obtenidos por Rehbock T. (1929), Muralidhar (1963), Rouse H (1963), Govinda R. (1963), French R. (1986), y desarrolló una ecuación válida para los vertederos, independientemente de la forma de su cresta, ya sea aguda, ancha o estrecha, sin importar las relaciones existentes entre la carga y las dimensiones características del vertedero (altura y ancho, respetivamente), la cual se escribe a continuación:

$$c_d = 1.06 \left\{ \left(\frac{14.14w}{8.15w+h} \right)^{10} + \left(\frac{h}{h+w} \right)^{15} + 1.834 \left[1 + 0.2 \left(\frac{\left(\frac{h}{L} \right)^5 + 1500 \left(\frac{h}{L} \right)^{13}}{1 + 1000 \left(\frac{h}{L} \right)^3} \right)^{0.1} \right]^{-10} \right\}^{-0.1} \quad (2.7)$$

Donde:

c_d = Coeficiente de descarga [-];

L = Longitud de la cresta del vertedero [m];

h = Carga sobre el vertedero [m];

w = Altura del vertedero [m].

2.1.3. OBSTRUCCIONES EN COMPUERTAS Y VERTEDEROS.

En todos los canales abiertos, o cauces naturales se desarrolla el fenómeno de transporte de todo tipo de escombros o cuerpos flotantes acarreados por el agua. Cuando estos materiales son retenidos por la estructura de control se generan obstrucciones que generan importantes reducciones en su capacidad de descarga, pudiendo resultar severamente dañadas.

Algunas de las circunstancias que generan cuerpos flotantes en cauces naturales o artificiales son las siguientes:

- Los procesos de descomposición vegetal natural determinan la presencia de hojas, ramas y troncos secos;
- La erosión provocada por la corriente, y/o por el viento en las márgenes del cauce o en taludes establecen la presencia de limos, arenas o gravas;
- La inadecuada disposición de desperdicios producto de las actividades humanas ocasiona el acarreo de basura en el agua;
- Las actividades de deforestación ocasionan que el suelo superficial se vuelva deleznable, siendo mayor la incidencia del efecto erosivo; entre otras.

El transporte de los escombros referidos es altamente dependiente de las características físicas de los mismos, y en menor grado, de las cualidades del cauce, por ejemplo, de la pendiente, el ancho y la profundidad.

El fenómeno ocurre en compuertas, cuando el material vegetal, o flotante de cualquier tipo que incluye desechos leñosos, que son acarreados por la corriente, se retienen en la estructura, lo que bloquea el paso del flujo. A continuación, elementos flotantes más pequeños se impregnan en los de mayor tamaño, y la combinación de estos produce una reducción de la sección de flujo, o en algunos casos más críticos, la estructura sufre taponamientos.

Fotografía 2. 1: Taponamiento de compuerta en la planta de tratamiento Cuatro Esquinas – Portoviejo- Ecuador.



Fuente: El Diario - noviembre de 2014

Fotografía 2. 2: Taponamiento de compuerta en la bocatoma de Pitay – Majes – Perú.



Fuente: Junta de usuarios Pampa de Majes – enero de 2017.

Los materiales arrastrados por la corriente se decantan inmediatamente antes del paramento aguas arriba, formando acumulaciones que, de no ser retiradas, ocasionan asimetrías en el vertido que afectan de manera importante al funcionamiento de la estructura.

Fotografía 2. 3: Acumulación de sedimentos en el paramento de vertedero.



Fuente: El Telégrafo – febrero de 2018.

Fotografía 2. 4: Retención de sedimentos en el paramento aguas arriba del vertedero.



Fuente: Manual de riego parcelario-MAE 2015.

2.1.4. COMPUERTA VERTEDERO.

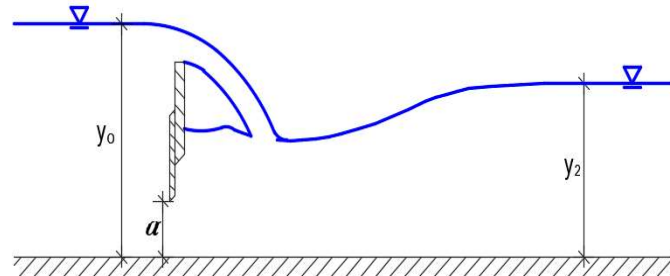
Previamente se ha indicado la incidencia del arrastre de sedimentos en una corriente sobre las compuertas y los vertederos, los cuales al acumularse pueden causar obstrucciones y perjudicar el funcionamiento de estas estructuras. El problema de acumulación de sedimentos, aguas arriba de los vertederos, y la retención de materiales flotantes, que en lo posterior ocasionan también acumulación de sedimentos en compuertas, ambos ocasionados por la falta de mantenimiento, puede disminuirse al inducir el flujo simultáneo superior e inferior a través de una única estructura: la compuerta vertedero.

Este dispositivo combina las ventajas que poseen las compuertas y los vertederos al funcionar de manera independiente, particularmente al permitir la evacuación a través de la descarga superior del material flotante arrastrado por la corriente, y la eliminación de los sedimentos suspendidos en el agua mediante el flujo inferior. Bajo esta consideración, el dispositivo se torna auto limpiante, condición que no supe de manera definitiva las labores de mantenimiento, pero ayuda a mantener mejores condiciones de funcionamiento ante la falta de limpieza periódica.

Al inducir una doble descarga (superior e inferior) se cuenta con dos mecanismos de control de caudal, condición que permite realizar una regulación fina de niveles y/o caudales en sistemas hidráulicos que requieren precisión del orden de centímetros, lo cual no es posible llevar a cabo con compuertas convencionales.

Con base en este criterio, se considera adecuado poder contar en la estructura con elementos móviles, tanto en la compuerta inferior, como en la clapeta superior.

Figura 2. 8: Esquema de una compuerta vertedero.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

2.1.5. ECUACIONES FUNDAMENTALES DE LA HIDRÁULICA.

La naturaleza del movimiento de un fluido es compleja, debido a que en este fenómeno se llevan a cabo procesos de transferencia de masa, cantidad de movimiento y calor. Estos procesos pueden representarse a partir de los siguientes principios:

- Conservación de la materia;
- Conservación de la cantidad de movimiento (Segunda ley de Newton);
- Conservación de la energía (Primera ley de la termodinámica).

Dichos principios pueden ser descritos mediante ecuaciones, a las cuales se les da un enfoque diferencial para aplicarlas a volúmenes de control infinitesimales. La formulación diferencial permite evidenciar detalles del flujo con gran precisión, a través de la resolución numérica de ecuaciones diferenciales mediante programas de computador. “El volumen de control es una región finita con fronteras abiertas por las cuales se pueden definir flujos de masa, cantidad de movimiento y energía. Entre las fronteras, se hace un balance de flujos entrantes, salientes y remanentes”. (Bergadá J., 2012, p.100).

Son dos los modelos existentes para describir un campo de flujo, que han servido de base para estructurar la teoría de la hidrodinámica: el modelo de Lagrange, y el modelo de Euler.

Modelo de Lagrange.

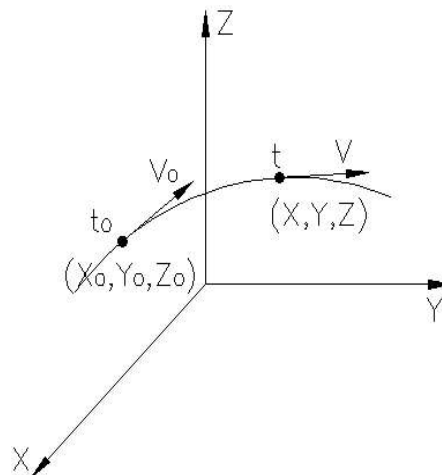
Mediante este modelo el análisis del flujo se sustenta en el seguimiento al movimiento de las partículas líquidas, en este caso, la trayectoria, velocidad y presión de las partículas se obtienen a partir de su posición inicial y de cada intervalo de tiempo transcurrido desde el instante en que ocupaba dicha posición, por lo tanto, la ubicación de las partículas es función del movimiento del fluido y del tiempo:

$$x = f_1(x_0, y_0, z_0, t)$$

$$y = f_2(x_0, y_0, z_0, t)$$

$$z = f_3(x_0, y_0, z_0, t)$$

Figura 2. 9: Esquema modelo de Lagrange.



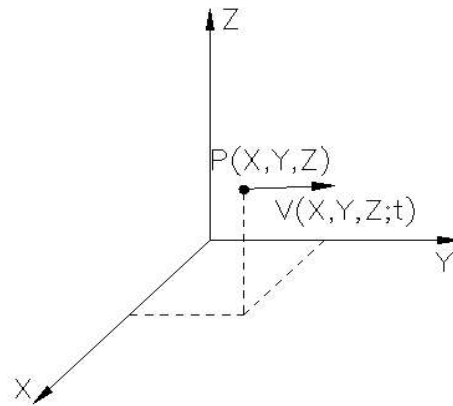
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Modelo de Euler.

Este modelo realiza la descripción del movimiento de un fluido tomando como referencia el espacio físico, para lo cual se define un volumen finito, denominado volumen de control, a través del cual el fluido se mueve hacia dentro y hacia afuera. El campo de flujo es asumido como un campo vectorial, cuyo comportamiento es analizado en puntos fijos con coordenadas invariantes, por lo tanto, no es necesario seguir el movimiento de las partículas. “En lugar de ello, se definen variables de campo, funciones del espacio y el tiempo dentro del volumen de control”. (Cengel Y, Cimbala J, 2006, p.122).

$$V = f(x, y, z, t)$$

Figura 2. 10: Modelo de Euler.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

2.1.5.1. Ecuación de la continuidad.

Esta ecuación es una forma de expresar de manera analítica el principio general de conservación de la materia, el cual establece: la materia no se crea ni se destruye, solo se transforma. Este principio indica que: en un volumen de control, la masa del fluido que atraviesa cualquier sección de una corriente, por unidad de tiempo es constante. La ecuación tridimensional de continuidad no estacionaria para un fluido es la siguiente:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0 \quad (2.8)$$

La cual en forma vectorial puede expresarse como:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (2.9)$$

$\frac{\partial \rho}{\partial t}$ → Variación de la densidad del fluido (compresibilidad).
 $\nabla \cdot (\rho \vec{V})$ → Cantidad neta de masa.

Al considerarse un flujo incompresible, la ecuación de la continuidad se simplifica, obteniendo la siguiente expresión, que representa la divergencia del vector velocidad:

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (2.10)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.11)$$

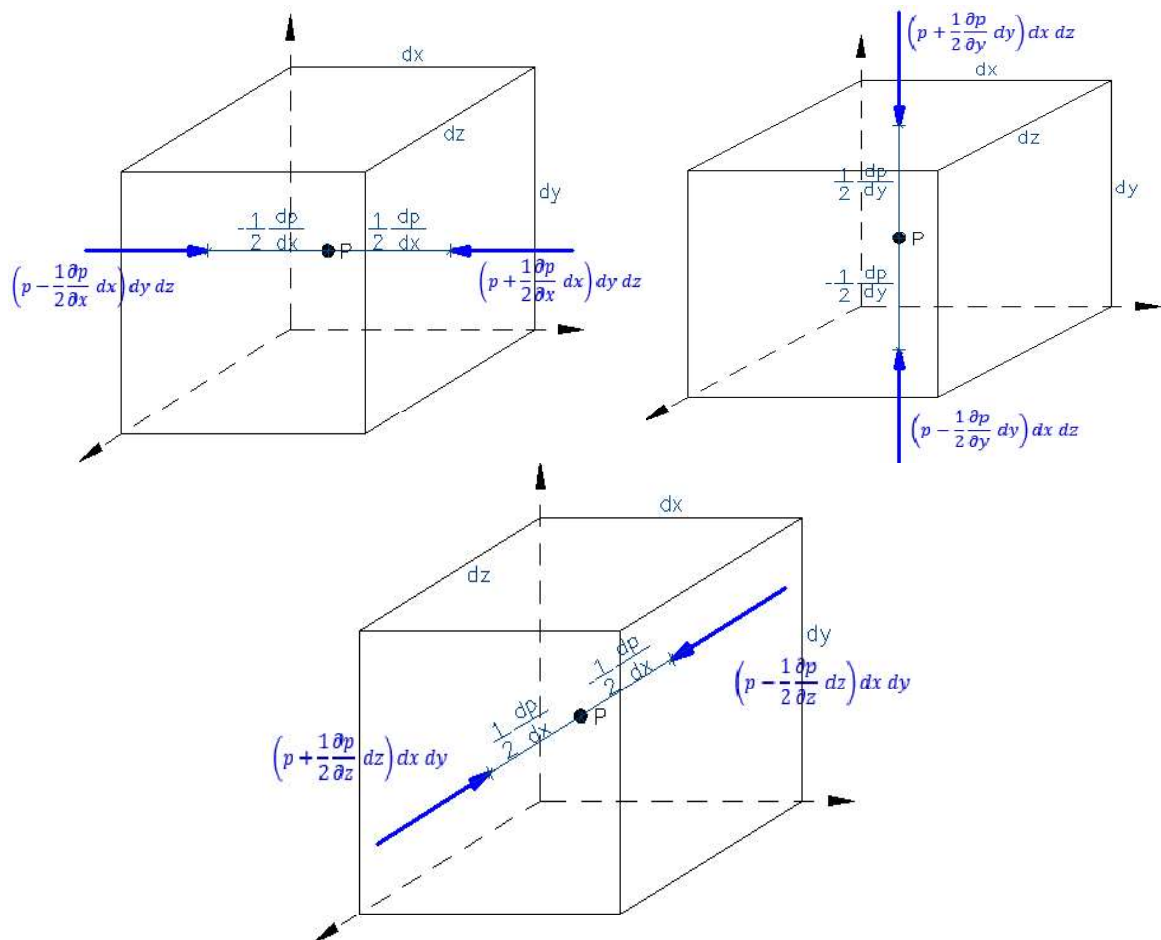
2.1.5.2. Ecuación de la conservación de cantidad de movimiento.

Con base en el segundo principio o ley fundamental de la dinámica, se deduce que solamente las fuerzas actuantes sobre un fluido, ya sean de volumen (gravitatoria) o de superficie (de presión, viscosas), pueden modificar la cantidad de movimiento de un cuerpo. Este principio indica que la suma vectorial de las fuerzas externas que actúan sobre el volumen de control, es igual a la variación de la cantidad de movimiento de la masa por unidad de tiempo.

A continuación se presenta la teoría desarrollada por Hamad K. en sus clases magistrales dictadas en la Escuela Politécnica Nacional.

A partir de la condición de equilibrio de una partícula fluida, se tiene:

Figura 2. 11: Presiones actuantes en un prisma idealizado del fluido.
FUERZAS DE PRESIÓN (F_p)



Elaboración: Khaled Hamad.

Dirección "x"

$$F_x = \left(p - \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) dydz - \left(p + \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) dydz = -\frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz \quad (2.12)$$

Dirección "y"

$$F_y = \left(p - \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial y} dy \right) dx dz - \left(p + \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial y} dy \right) dx dz = -\frac{\partial p}{\partial y} dx dy dz \quad (2.13)$$

Dirección "z"

$$F_z = \left(p - \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) dx dy - \left(p + \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) dx dy = -\frac{\partial p}{\partial z} dx dy dz \quad (2.14)$$

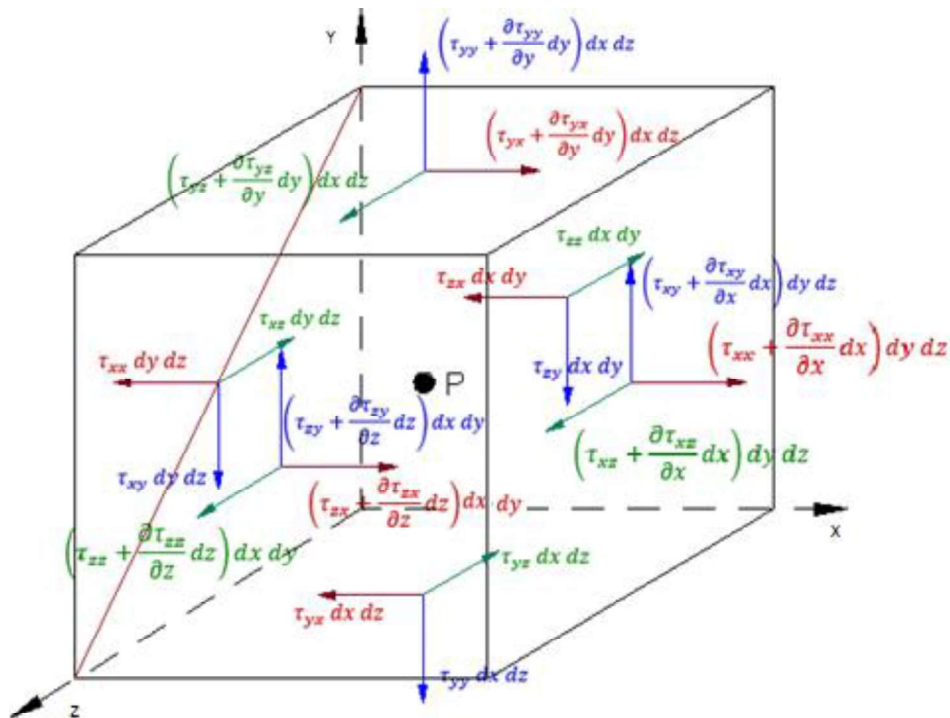
$$F_p = -\frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz - \frac{\partial p}{\partial y} dx dy dz - \frac{\partial p}{\partial z} dx dy dz \quad (2.15)$$

$$F_p = -\left(\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial p}{\partial z} \right) dx dy dz \quad (2.16)$$

└───────────▶ ∇p = Gradiente de presión.

Figura 2. 12: Tensiones actuantes en un prisma idealizado del fluido.

FUERZAS DE TENSION (F_τ)



τ_{ab}

- a → Dirección del eje de coordenadas al que el plano en análisis es perpendicular.
- b → Dirección de la tensión de acuerdo al eje de coordenadas designado.

Elaboración: Khaled Hamad.

Se considera un fluido Newtoniano, por lo tanto, la viscosidad dinámica es constante en cualquier punto del flujo.

Dirección "x"

$$F_x = \left(\tau_{xx} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} dx \right) dy dz + \left(\tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dy \right) dx dz + \left(\tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dz \right) dx dy - \tau_{xx} dy dz - \tau_{yx} dx dz - \tau_{zx} dx dy$$

$$F_x = \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) dx dy dz \quad (2.17)$$

Dirección "y"

$$F_y = \left(\tau_{xy} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} dx \right) dy dz + \left(\tau_{yy} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} dy \right) dx dz + \left(\tau_{zy} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} dz \right) dx dz - \tau_{xy} dy dz - \tau_{yy} dy dz - \tau_{zy} dx dy$$

$$F_y = \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right) dx dy dz \quad (2.18)$$

Dirección "z"

$$F_z = \left(\tau_{xz} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} dx \right) dy dz + \left(\tau_{yz} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} dy \right) dx dz + \left(\tau_{zz} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} dz \right) dx dy - \tau_{xz} dy dz - \tau_{yz} dx dz - \tau_{zz} dx dy$$

$$F_z = \left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) dx dy dz \quad (2.19)$$

$$F_\tau = \left(\left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) \right) dx dy dz \quad (2.20)$$

FUERZAS DE PESO (F_c)

$$w = m * g \quad F_c = \rho(g_x + g_y + g_z) dx dy dz \quad (2.21)$$

$$m = \rho * V$$

$$V = dx dy dz$$

$$m = \rho dx dy dz$$

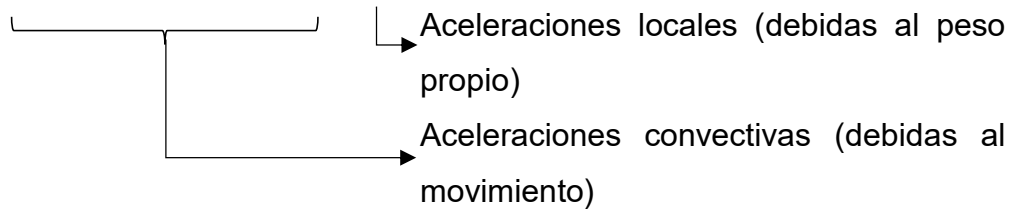
$$w = \rho g dx dy dz$$

El campo de aceleraciones se deriva del campo de velocidades, y se define como la variación temporal de la velocidad en el punto considerado:

$$a_x = \frac{du}{dt} = \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.22)$$

$$a_y = \frac{dv}{dt} = \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) + \frac{\partial v}{\partial t} \quad (2.23)$$

$$a_z = \frac{dw}{dt} = \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \frac{\partial w}{\partial t} \quad (2.24)$$



Al aplicar la segunda ley de Newton, se tiene:

$$\Sigma F = m * a \quad (2.25)$$

$$F_P + F_\tau + F_C = \rho * dx * dy * dz * \left(\begin{array}{l} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \end{array} \right) \quad (2.26)$$

F_P =Fuerza de superficie resultante del gradiente de presiones;

F_τ = Fuerza de superficie debida a la resistencia al movimiento (tensiones);

F_C = Fuerza de cuerpo debida al peso propio.

$$\left. \begin{array}{l} \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = \rho \left[\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right] \\ \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} = \rho \left[\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right] \\ \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} = \rho \left[\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right] \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Ecuaciones} \\ \text{diferenciales} \\ \text{de la} \\ \text{cantidad de} \\ \text{movimiento} \end{array} \quad (2.27) \quad (2.28) \quad (2.29)$$

2.1.5.3. Ecuación de la conservación de la energía.

Se basa en la segunda ley de Newton, la cual, si es aplicada a un volumen de control, expresa que la variación temporal de la energía total en dicho volumen, se debe al trabajo realizado por las fuerzas que actúan sobre él.

A partir de la condición de equilibrio dinámico de fuerzas en las direcciones: tangencial, normal y binormal, y aplicando la segunda ley de Newton a un elemento diferencial de masa de líquido de la forma dF se obtienen las componentes de las fuerzas que actúan sobre el elemento:

$$dF = dm \cdot a$$

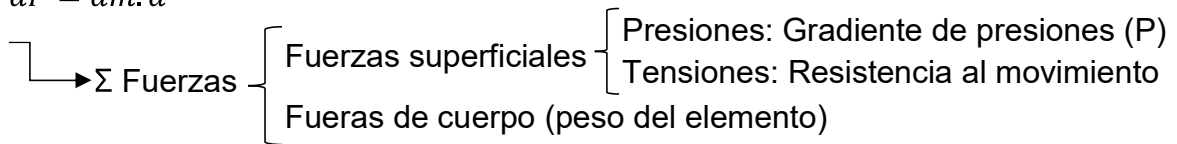
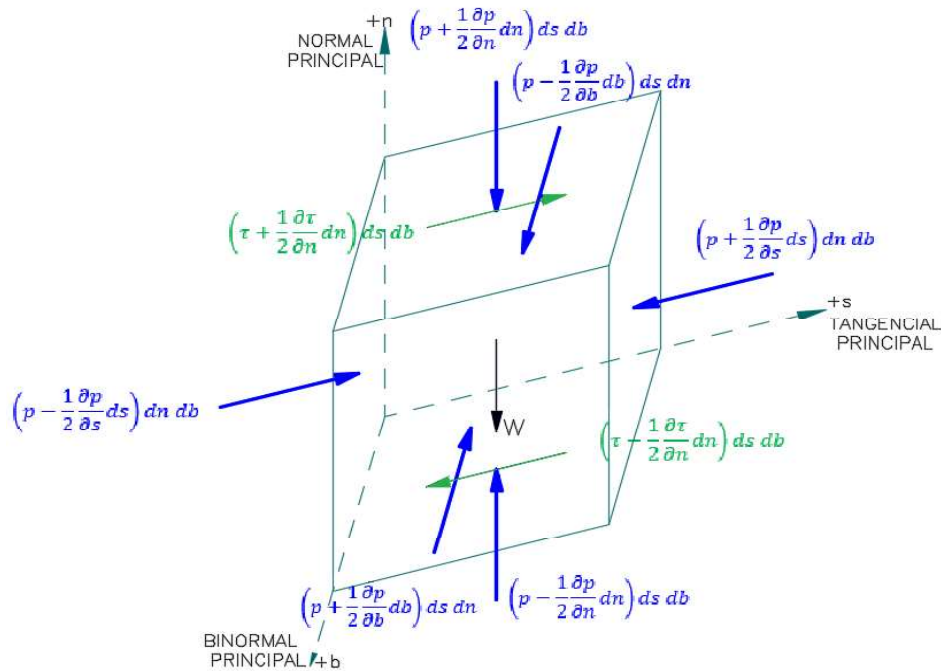


Figura 2. 13: Esquema de fuerzas actuantes en una partícula del fluido.



Elaboración: Khaled Hamad.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho * V$$

$$V = ds \, dn \, dv$$

$$m = \rho \, ds \, dn \, dv$$

$$W = (-)m * g = -\rho g \, ds \, dn \, dv \tag{2.30}$$

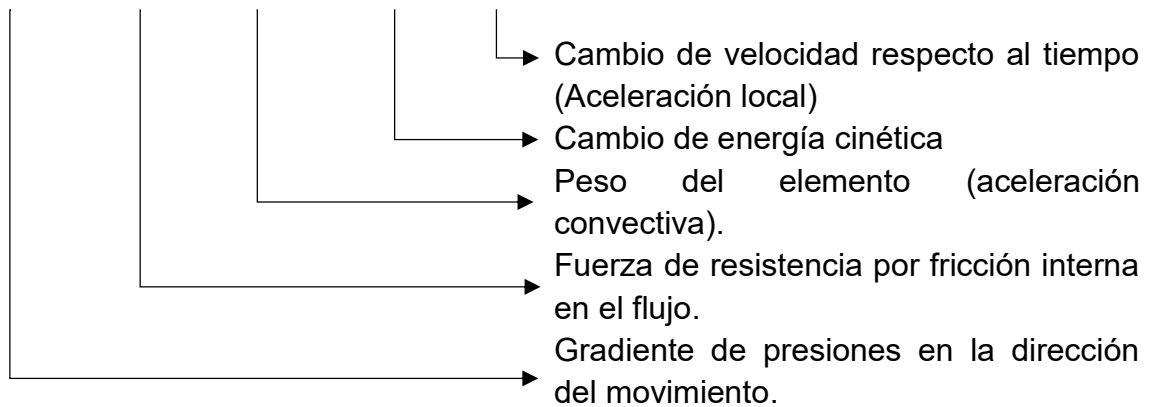
Presiones \longrightarrow

Tensiones \longrightarrow

DIRECCIÓN “s” (TANGENCIAL PRINCIPAL).

Cada término de la siguiente ecuación representa una fuerza por unidad de masa:

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial n} - g \frac{\partial z}{\partial s} = \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{v^2}{2} \right) + \frac{\partial v}{\partial t} \quad (\text{Primera ecuación de la energía}) \quad (2.31)$$



DIRECCIÓN “n”

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} - g \frac{\partial z}{\partial n} = 0 \quad (\text{Segunda ecuación de la energía}) \quad (2.32)$$

DIRECCIÓN “b”

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial b} - g \frac{\partial z}{\partial b} = 0 \quad (\text{Tercera ecuación de la energía}) \quad (2.33)$$

2.1.6. ECUACIONES DE NAVIER STOKES – ECUACIÓN GENERAL DEL MOVIMIENTO.

En virtud de que el comportamiento dinámico de los fluidos lo rigen los principios de conservación de la masa, la cantidad de movimiento y la energía referidos anteriormente, sumado el efecto de la viscosidad en los fluidos, se han desarrollado las ecuaciones de Navier-Stokes, en las cuales se involucran las características tridimensionales, de dependencia del tiempo y los esfuerzos viscosos de los fluidos.

Para obtener las ecuaciones de Navier Stokes, es necesario reemplazar las tensiones obtenidas en las ecuaciones de la cantidad de movimiento, por las Tensiones de Reynolds:

$$\left. \begin{aligned} \tau_{xx} &= 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} & \tau_{xy} &\cong \tau_{yx} = \mu \left[\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right] \\ \tau_{yy} &= 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} & \tau_{xz} &\cong \tau_{zx} = \mu \left[\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right] \\ \tau_{zz} &= 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} & \tau_{yz} &\cong \tau_{zy} = \mu \left[\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right] \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Tensiones de} \\ \text{Reynolds} \end{array} \quad \begin{array}{l} (2.34) \\ (2.35) \\ (2.36) \end{array}$$

$$\left. \begin{aligned} \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] &= \rho \frac{\partial u}{\partial t} \\ \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] &= \rho \frac{\partial v}{\partial t} \\ \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] &= \rho \frac{\partial w}{\partial t} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Ecuaciones de} \\ \text{Navier Stokes} \end{array} \quad \begin{array}{l} (2.37) \\ (2.38) \\ (2.39) \end{array}$$

Donde:

ρ = Densidad del fluido.

μ = Viscosidad dinámica.

u = Componente de la velocidad en el eje "x".

v = Componente de la velocidad en el eje "y".

w = Componente de la velocidad en el eje "z".

Este sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales de segundo orden, permite modelar el comportamiento tridimensional de los fluidos de manera simplificada, en base al campo de velocidades. Su resolución analítica resulta compleja, por lo tanto, es necesario recurrir a la solución numérica (aproximada), la cual se puede llevar a cabo en el programa Flow 3D.

2.1.7. CAPA LÍMITE.

Se conoce como capa límite, a la región del flujo, muy delgada cerca de un contorno sólido, en la cual los efectos viscosos no son despreciables, y por lo tanto tienen incidencia en el comportamiento del flujo. Según Prandtl (1904), citado por Streeter

V. (1970) para el caso de fluidos que tienen una viscosidad relativamente pequeña, el efecto de rozamiento interno en su interior, es notorio únicamente en una región próxima a los límites sólidos del fluido, por lo tanto, fuera de esta región, el fluido puede considerarse ideal.

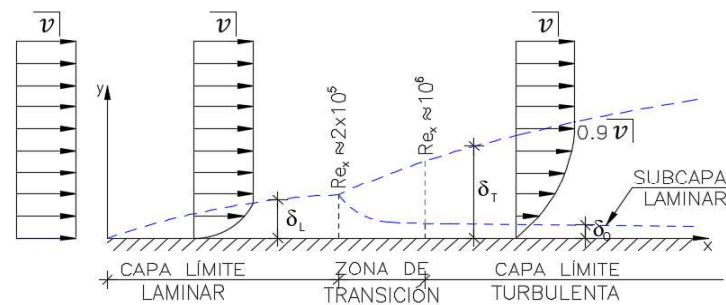
En virtud de que el flujo en las paredes tiene una velocidad nula, existe un importante gradiente de velocidades desde el contorno del sólido en contacto con el fluido, hacia el interior de la corriente, que origina tensiones tangenciales que disminuyen la velocidad del flujo relativa a la pared en la denominada capa límite.

La región donde ocurre este fenómeno no puede distinguirse, por tal razón, algunos autores, entre ellos: Streeter V. (1970), Chow V (1994), y Lázaro A. (2004), han definido a su espesor δ como la magnitud de la distancia normal desde el contorno sólido a cual la velocidad relativa a la pared tiene un valor de $0.99 v$, siendo v , la velocidad del flujo principal que no sufre perturbaciones por las tensiones cortantes desarrolladas en la capa límite, valor al cual tiende de manera asintótica.

El espesor de la capa límite no es constante, debido a la acción progresiva de las tensiones tangenciales, las cuales desaceleran a las partículas del fluido, por lo tanto, el espesor de esta capa experimenta un incremento hacia aguas abajo.

En la *figura 2.14* se representa esquemáticamente el desarrollo de la capa límite: al inicio se distingue una región laminar, en la cual, las partículas se mueven de manera ordenada; posteriormente existe una zona de transición caracterizada por un movimiento inestable, y finalmente, donde se produce un notable aumento en su espesor, se desarrolla una región turbulenta, en la cual las partículas del fluido se mueven de forma desordenada.

Sin embargo, en la zona adyacente al contorno sólido se forma una subcapa laminar, donde el flujo es laminar, en virtud de que la velocidad del fluido en contacto con dicho contorno es nula, por lo tanto, al incrementarse la velocidad, el número de Reynolds aumenta desde un valor igual a cero hasta alcanzar un valor crítico que genera el régimen turbulento.

Figura 2. 14: Desarrollo de la capa límite.**Elaboración:** Carlos Bohórquez Barba.

El espesor de la capa límite depende de la velocidad del flujo, de tal manera que, mientras mayor es velocidad, se genera una capa límite más delgada. Esta condición se manifiesta a través del número de Reynolds a lo largo del contorno sólido, en función de la distancia x a lo largo de dicho contorno, por lo tanto, la capa límite será más delgada mientras mayor sea el número de Reynolds (*figura 2.15*).

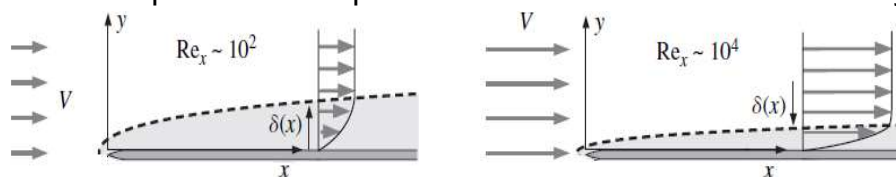
$$Re_x = \frac{v x}{\nu} \quad (2.40)$$

Donde:

v = Velocidad del flujo [m/s];

x = Distancia a lo largo del contorno sólido [m];

ν = Viscosidad cinemática del fluido [m^2/s].

Figura 2. 15: Espesor de la capa límite en función del número de Reynolds.**Elaboración:** Carlos Bohórquez Barba.

Para calcular aproximadamente, el desarrollo de la capa límite, Blasius (1908), citado por Streeter (1970), Cengel & Cimbala (2006), Rocha A (2007), entre otros autores, ha propuesto las siguientes expresiones:

Espesor de la capa límite laminar:

$$\delta_L = \frac{4.65x}{Re^{1/2}} = 4.65 \left(\frac{\nu}{v}\right)^{1/2} x^{1/2} \quad (2.41)$$

Espesor de la capa límite turbulenta:

$$\delta_T = \frac{0.37x}{Re^{1/5}} = 0.37 \left(\frac{v}{v}\right)^{1/5} x^{4/5} \quad (2.42)$$

Debido a la dificultad para determinar el espesor de la subcapa laminar (dentro de la capa límite turbulenta), en la práctica se asume que, la capa límite tiene un espesor constante a partir de la zona de transición de flujo laminar, a turbulento, la cual se desarrolla cuando el número de Reynolds está comprendido entre $2 * 10^5$ y 10^6 .

2.1.8. TURBULENCIA.

Para abordar este tema es necesario remitirnos al experimento realizado en 1883 por Osborne Reynolds, que le permitió establecer las diferencias entre flujo laminar y flujo turbulento. Como resultado de su experimentación, estableció una agrupación adimensional de variables relevantes del flujo que es capaz de determinar a qué tipo corresponde (laminar o turbulento). Esta relación adimensional se conoce como Número de Reynolds, y relaciona las fuerzas de inercia con las fuerzas viscosas actuantes en un fluido.

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (2.43)$$

Donde:

v = Velocidad media del flujo [m/s];

D = Longitud característica [m] (en canales = 4 veces el radio hidráulico);

ν = Viscosidad cinemática del fluido [m^2/s].

La turbulencia es el estado caótico de las partículas de un fluido en movimiento, que tiene lugar cuando no hay suficientes fuerzas estabilizadoras. Cuando las fuerzas viscosas son considerablemente mayores respecto a las inerciales, estas son capaces de atenuar los pequeños remolinos formados, debido a esta atenuación el flujo tiende a ser laminar. Cuando sucede lo contrario, al presentarse números de Reynolds elevados, como resultado de la acción dominante de las

fuerzas inerciales ocurren inestabilidades en el flujo, causadas por las gradientes de velocidad, las cuales no pueden ser atenuadas y se manifiestan mediante la formación de remolinos de varias escalas de longitud. Estos remolinos producen nuevas inestabilidades, generando remolinos más pequeños, proceso que se repite hasta cuando los torbellinos se hacen lo suficientemente pequeños, de tal manera que el efecto viscoso es capaz de disipar la energía turbulenta en forma de calor.

2.1.9. BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS DE TURBULENCIA.

El estudio de los fenómenos turbulentos es complejo, debido a la no estacionariedad, tridimensionalidad, al amplio rango de escalas espaciales y temporales que lo caracterizan y particularmente debido a que es un fenómeno dependiente del tiempo, por lo tanto, se requiere una gran cantidad de información para describirlo completamente. Todas estas características generan que la descripción completa exija un costo computacional extremadamente alto, por lo tanto, para contar con una caracterización suficientemente representativa, es necesario recurrir a métodos estadísticos o de aproximación llamados modelos de turbulencia, cuyo objetivo es desarrollar ecuaciones que puedan predecir los parámetros del flujo sin la necesidad de calcular todo el rango de escalas turbulentas.

Estas aproximaciones tienen diferentes costos computacionales, dependiendo de los detalles del fenómeno que se desee evidenciar, los cuales se desarrollan en función de las escalas turbulentas que resuelven. Los modelos de turbulencia se describen brevemente a continuación:

2.1.9.1. Direct numerical simulation (DNS).

Este método resuelve completamente las ecuaciones de Navier-Stokes para todas las escalas del movimiento. Para poder emplearlo, es necesario contar con una discretización muy fina del volumen de control, cuyos elementos deben tener un tamaño menor que la más pequeña escala de movimiento, comparable con la escala de Kolmogorov, que es la más pequeña escala de turbulencia que puede existir, previa la disipación de su energía debida a la viscosidad, por lo cual resulta

inaccesible en fenómenos con altos valores de Número de Reynolds, y es aplicable únicamente como herramienta de investigación para flujos con números de Reynolds relativamente bajos.

2.1.9.2. Large eddy simulation (LES).

Este modelo surge como una alternativa menos exigente respecto al modelo DNS. El modelo LES, tras un proceso de filtrado de las ecuaciones resuelve únicamente las grandes escalas de turbulencia, y modela (aproxima) el efecto de las escalas más pequeñas, considerando que estas últimas tienen un carácter más universal, por esta razón el modelo requiere un mallado menos discretizado. Sin embargo, el número de celdas del mallado es elevado, lo que implica también un alto costo computacional.

2.1.9.3. Reynolds averaged navier stokes (RANS).

Este modelo corresponde al promedio de Reynolds propuesto en 1895, el cual se basa en la descomposición de las variables de flujo. Este criterio plantea que cualquier variable del flujo (velocidad, presión, energía), puede describirse mediante la separación de dos componentes: una estacionaria (valor medio, que puede ser temporal o espacial) y otra fluctuante; en función de estas variables promedio, las ecuaciones de Navier Stokes se reformulan para obtener el sistema de ecuaciones llamado RANS, cuyas variables se promedian en el tiempo con la finalidad de eliminar la resolución de escalas pequeñas, por tal razón su resolución resulta menos compleja, aun cuando poseen un término adicional que debe ser modelado.

El procedimiento referido genera la aparición de nuevas variables dependientes: “las tensiones de Reynolds” que superan el número de ecuaciones, por tal motivo para la resolución se tiene el denominado problema de cierre, que es consecuencia del término lineal difusivo y del tensor de Reynolds que se origina por la transferencia de momento a partir del campo fluctuante de velocidades, por lo tanto, contiene las fluctuaciones de velocidades en todas las direcciones.

La expresión del tensor de Reynolds es la siguiente:

$$\tau_{ij} = -\rho \overline{u_i' u_j'} \quad (2.44)$$

A partir del tensor de Reynolds o tensor de esfuerzos turbulentos se define la energía cinética turbulenta que es la semisuma de la diagonal principal del tensor; este término es empleado para simular las ecuaciones de turbulencia.

Es necesario aclarar que existen varios modelos de turbulencia basados en las ecuaciones de Navier Stokes promediadas por Reynolds, pero ninguno de ellos ofrece mejores prestaciones para la resolución de la totalidad de los fenómenos a analizarse, por tal razón, para seleccionar un modelo adecuado, es necesario evaluar las condiciones del flujo, los fenómenos que desean considerarse, el nivel de precisión requerido y el tiempo disponible para la ejecución de la modelación, en función de los recursos computacionales que se tienen a disposición.

2.1.9.3.1. Modelo de la longitud de mezcla de Prandtl.

Es el modelo de turbulencia más simple, el cual no demanda solución de ninguna ecuación de transporte de cantidades de turbulencia, y se basa en la premisa de la longitud de mezcla, que corresponde a la distancia media que recorren las partículas perpendiculares al flujo a lo largo de la cual pierden su cantidad de movimiento y energía adicional. Supone que la viscosidad del fluido se incrementa mediante procesos de mezcla turbulentos en regiones de corte; supone también que la producción de turbulencia y la disipación de la misma se encuentran en equilibrio en todas las regiones de flujo. Estas asunciones no son válidas para flujos turbulentos completamente desarrollados, pues no consideran los efectos de convección y difusión ni la tasa de variación de energía cinética turbulenta en el tiempo.

2.1.9.3.2. Modelos de turbulencia k-ε.

Son modelos que para representar las propiedades turbulentas del flujo poseen dos ecuaciones de transporte, cuyas variables son la energía cinética turbulenta (k), y

la tasa de disipación (ε). Existen 3 tipos de modelos k- ε : El método estándar, el método RNG y el modelo k- ε realizable, que difieren en los siguientes aspectos:

- El método de cálculo de la viscosidad turbulenta;
- Los números turbulentos de Prandtl que gobiernan la difusión turbulenta de k y ε ;
- Los términos de generación y disipación en la ecuación de ε .

2.1.9.3.2.1. Modelo k- ε estándar.

Se trata de un modelo semi empírico que resuelve por separado las ecuaciones de la energía cinética turbulenta y su tasa de disipación, con lo cual la velocidad turbulenta y las escalas de longitud se determinan de manera independiente. La aplicación de este método supone que el flujo es totalmente turbulento, y los efectos de la *viscosidad* molecular no son suficientemente representativos, por lo tanto, es un método aplicable en flujos totalmente turbulentos. Las ecuaciones de transporte de este método son las siguientes:

Ecuación de la energía cinética turbulenta:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (2.45)$$

Velocidad de disipación de la energía cinética turbulenta:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + c_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (2.46)$$

Donde:

G_k : Generación de energía cinética de turbulencia debida a los gradientes de velocidad media;

G_b : Generación de energía cinética de turbulencia debida a la flotabilidad;

Y_M : Contribución de la dilatación fluctuante en turbulencia compresible a la tasa de disipación general;

$C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$, $C_{3\varepsilon}$: Constantes

σ_k , σ_ε : Números turbulentos de Prandtl para k y ε , respectivamente

S_k , S_ε : Términos fuente.

2.1.9.3.2.2. Modelo $k-\varepsilon$ RNG.

Este modelo ha sido desarrollado a partir del empleo de la teoría de grupo de renormalización que comprende técnicas estadísticas rigurosas, lo cual hace que sea más robusto.

Su desempeño es similar al modelo $k-\varepsilon$ estándar, pero difiere debido a la inclusión de algunos refinamientos que producen que el modelo $k-\varepsilon$ RNG sea más preciso y fiable para un mayor número de flujos que el $k-\varepsilon$ estándar, los cuales brevemente se describe a continuación:

- Tiene un término adicional en la ecuación de ε , que mejora significativamente la precisión para flujos cercanos a paredes;
- Se incluye el efecto del remolino en la turbulencia, lo que mejora la precisión de flujos de remolinos;
- El modelo incluye una fórmula analítica para los números turbulentos de Prandtl, en tanto que el modelo $k-\varepsilon$ estándar emplea valores constantes.
- Mientras el modelo $k-\varepsilon$ estándar funciona únicamente para números de Reynolds altos (completamente turbulentos), el modelo RNG provee una fórmula diferencial analíticamente derivada para la viscosidad efectiva que considera los efectos producidos con números de Reynolds bajos, por lo tanto, describe con mayor precisión los flujos de turbulencia de baja intensidad; sin embargo, el uso efectivo de esta característica depende de un tratamiento apropiado de la región cercana a la pared.

Las ecuaciones de transporte del modelo $k-\varepsilon$ RNG son las siguientes:

Ecuación de la energía cinética turbulenta:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (2.47)$$

Velocidad de disipación de la energía cinética turbulenta:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + c_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon \quad (2.48)$$

Donde:

G_k : Representa la generación de energía cinética de turbulencia debida a los gradientes de velocidad media;

G_b : Representa la generación de energía cinética de turbulencia debida a la flotabilidad;

Y_M : Representa la contribución de la dilatación fluctuante en la turbulencia a la tasa de disipación general;

$\alpha_k, \alpha_\epsilon$: Son los inversos de los números de Prandtl efectivos para k y ϵ , respectivamente.

S_k, S_ϵ : Términos fuente.

El modelo utiliza un procedimiento de eliminación de escala, con lo cual resulta una ecuación diferencial para computar la viscosidad turbulenta, que permite contar con una descripción precisa de cómo varía el transporte turbulento efectivo con el número de Reynolds efectivo o escala de remolinos, permitiendo representar los números de Reynolds bajos, y los flujos cercanos a las paredes que confinan el flujo.

2.1.9.3.2.3. Modelo $k-\epsilon$ realizable.

El término realizable refiere que el modelo satisface ciertas restricciones matemáticas en las tensiones de Reynolds, en concordancia con la física de fenómenos turbulentos; difiere del modelo $k-\epsilon$ estándar en dos aspectos:

- Contiene una formulación alternativa para la viscosidad turbulenta;
- Cuenta con una ecuación de transporte modificada para la tasa de disipación (ϵ).

Estas consideraciones dan como resultado una predicción mejorada para las tasas de propagación de chorros, una mejor capacidad para representar el flujo medio en estructuras complejas y flujos que involucran rotación, también se comporta mejor ante capas límite con fuertes gradientes de presión adversos.

A continuación, se muestran las ecuaciones del modelo $k-\epsilon$ realizable:

Ecuación de la energía cinética turbulenta:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (2.49)$$

Velocidad de disipación de la energía cinética turbulenta:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (2.50)$$

2.1.9.3.3. Modelo de turbulencia k- ω .

Se trata de un modelo de turbulencia completo, en virtud de que considera la tasa de disipación de energía por unidad de volumen y tiempo (ω), además de contar con una ecuación para modelar la energía cinética turbulenta (k).

2.1.9.3.3.1. Modelo k- ω estándar.

Es un modelo empírico que se basa en ecuaciones de transporte para la energía cinética turbulenta, y su tasa de disipación específica. Este modelo cuenta con modificaciones para representar los efectos de números de Reynolds bajos, y fenómenos de difusión de flujos de corte.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k + S_k \quad (2.51)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + S_\omega \quad (2.52)$$

Donde:

G_k : Generación de energía cinética turbulenta debida a los gradientes de velocidad media;

G_ω : Generación de la tasa de disipación de energía por unidad de volumen y tiempo;

Γ_k, Γ_ω : Difusividad efectiva de k y ω , respectivamente;

Y_k, Y_ω : Disipación de k y ω debido a la turbulencia;

S_k, S_ω : Términos fuente.

2.1.10. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL.

Los fenómenos que involucran el movimiento de los fluidos pueden ser descritos por ecuaciones diferenciales de segundo orden cuya solución resulta muy compleja, sin embargo, esta solución puede aproximarse. La dinámica de fluidos computacional es una herramienta empleada para realizar el análisis en computador, de sistemas que involucran el movimiento de fluidos, en base a una solución aproximada de las ecuaciones que rigen el comportamiento de los fluidos en movimiento, proceso en el que las ecuaciones de Navier-Stokes son discretizadas y resueltas en pequeños volúmenes de control, que constituyen las celdas del dominio computacional.

Dicha resolución llamada simulación numérica, se realiza mediante un proceso iterativo, el cual es posible llevar a cabo gracias al continuo desarrollo tecnológico que ha permitido contar actualmente con equipos de cómputo cada vez más robustos en cuanto a rapidez y memoria para el almacenamiento de un número elevado de datos que se requieren para el efecto, los cuales por sus características son capaces de realizar una gran cantidad de cálculos por unidad de tiempo.

El desarrollo de algoritmos y modelos que pueden representar los fenómenos que se desarrollan en los flujos, ha convertido a la CFD en una poderosa herramienta complementaria a la modelación física, que en muchas ocasiones ahorra tiempo y recursos. Sin embargo, es importante mencionar que en cualquier investigación llevada a cabo mediante esta herramienta se deben validar las predicciones del modelo, realizando comparaciones con datos obtenidos experimentalmente.

La simulación numérica, puede describirse de manera general en los siguientes pasos:

- Selección y discretización del sistema en subdominios;
- Establecimiento de las condiciones iniciales y de frontera ;
- Aplicación de las ecuaciones que gobiernan el movimiento del fluido en los subdominios, (discretización de las ecuaciones);

- Solución de las ecuaciones discretizadas que describen los fenómenos físicos;
- Tratamiento y análisis de las predicciones numéricas.

2.1.11. BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA FLOW 3D.

El programa Flow 3D, desarrollado y comercializado por Flow Science Inc., utiliza un mallado estructurado, y resuelve mediante aproximaciones sucesivas la ecuación de la continuidad y las ecuaciones promediadas de Navier Stokes, que gobiernan el movimiento de los fluidos, cuya solución numérica aproxima los términos que las componen en expresiones algebraicas, para lo cual es necesario dividir la región de flujo en subdominios, en cada uno de los cuales se lleva a cabo la resolución de las ecuaciones mencionadas, empleando el método de diferencias finitas, razón por la cual, el programa permite evidenciar la evolución del fluido en un dominio de interés.

La ecuación de la continuidad que maneja el programa Flow 3D es la siguiente:

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w A_z) + \xi \frac{\rho u A_x}{x} = R_{DIF} + R_{SOR} \quad (2.53)$$

Donde:

V_F : Fracción de volumen abierto a flujo (volumen de control);

ρ : Densidad del fluido;

u, v, w : Componentes de la velocidad en dirección de las coordenadas (x, y, z) ;

A_x, A_y, A_z : Área de flujo fraccional según la dirección del eje;

ξ : Término que se adiciona a las coordenadas cartesianas para geometrías cilíndricas (convención de unidades del programa);

R_{DIF} : Término de difusión de masa debido a la turbulencia;

R_{SOR} : Fuente másica, que representa la inyección (procedencia) de masa del fluido hacia el sistema.

La ecuación anterior se puede simplificar para el caso de fluidos incompresibles, donde ρ es constante, obteniendo la primera ecuación del movimiento que resuelve el programa Flow 3D, la cual puede expresarse de la siguiente manera:

$$\frac{\partial}{\partial x}(uA_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(vA_y) + \frac{\partial}{\partial z}(wA_z) + \xi \frac{uA_x}{x} = \frac{R_{SOR}}{\rho} \quad (2.54)$$

Respecto a las ecuaciones de Navier Stokes que resuelve el programa, estas gobiernan el movimiento en función de las componentes de velocidad del fluido:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} - \xi \frac{A_y v^2}{x V_F} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (u - u_w - \delta u_s) \quad (2.55)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right\} + \xi \frac{A_y uv}{x V_F} = -\frac{1}{\rho} \left(R \frac{\partial p}{\partial y} \right) + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (v - v_w - \delta v_s) \quad (2.56)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (w - w_w - \delta w_s) \quad (2.57)$$

Donde:

G_x, G_y, G_z = Aceleraciones de cuerpo: que corresponden a las aceleraciones convectivas (debidas al movimiento de las partículas), y a la aceleración local (referidas al peso propio de las partículas).

f_x, f_y, f_z = Aceleraciones viscosas;

b_x, b_y, b_z = Pérdidas de flujo en medios porosos;

V_F = Volumen fraccional del fluido

A_x, A_y, A_z = Área fraccional abierta a fluir según el eje de dirección;

u, v, w = Componentes de la velocidad en dirección de las coordenadas (x, y, z);

ρ = Densidad del fluido;

R_{SOR} = Fuente másica (procedencia de la masa del fluido hacia el sistema).

Para poder obtener los valores de las variables de interés del flujo: velocidad y presión en las celdas que conforman el dominio computacional, es necesario resolver conjuntamente las ecuaciones de Navier Stokes y la ecuación de continuidad, en las cuales está presente la variable "velocidad", sin embargo, la variable "presión", no es parte de la ecuación de continuidad, por lo tanto, la conformación de un sistema algebraico de ecuaciones, se torna complejo. Ante este inconveniente, las dos variables en mención se vinculan en Flow 3D, mediante el

algoritmo solucionador de presión-velocidad (GMRES), que les permite interactuar entre sí, determinando las presiones en cada celda, y actualizando los valores de la velocidad.

El programa utiliza las ecuaciones de Navier Stokes para obtener la primera aproximación de las nuevas velocidades, en el siguiente paso de tiempo, basado en las circunstancias precedentes (condiciones iniciales). Posteriormente las presiones se van ajustando de forma iterativa en cada celda, y los cambios en la variable velocidad, inducidos por la variación de la presión, se añaden a la primera aproximación de velocidad obtenida previamente.

Al ejecutar una modelación numérica, sus resultados son altamente dependientes de los diferenciales de tiempo y espacio seleccionados, en tal virtud, esta selección debe realizarse adecuadamente para procurar la estabilidad y convergencia de la resolución.

El número de Courant, propuesto por Courant, Friedrichs, Levy (1928), determina la estabilidad, y convergencia de un problema, en un método explícito, al cumplirse con la siguiente condición:

$$C = \frac{U\Delta t}{\Delta x} \leq 1 \quad (2.58)$$

Donde:

U = Variable dependiente (Velocidad);

Δt = Intervalo de tiempo;

Δx = Intervalo de espacio entre dos nodos (tamaño de la celda).

Este criterio puede controlarse modificando el paso temporal, o el intervalo espacial, de tal manera de garantizar que C sea menor o igual que 1. Cuando se cumple esta condición, las partículas del fluido se mueven de una celda a otra en un paso de tiempo, en tanto que, cuando $C > 1$, dichas partículas se mueven a través de dos o más celdas del dominio computacional, en cada paso de tiempo, condición que puede afectar a la convergencia del modelo.

El programa permite elegir entre cinco modelos de turbulencia:

- Modelo de la longitud de Mezcla de Prandtl;
- Modelo de turbulencia $k-\varepsilon$ de dos ecuaciones;
- Modelo de turbulencia renormalizado (RNG);
- Modelo de turbulencia $k-\omega$ de dos ecuaciones;
- Large Eddy simulation.

El procedimiento general para la modelación numérica en el programa Flow 3D es el siguiente:

En el pre procesamiento se establecen y se generan los datos del sistema a ser analizado, los cuales son ingresados en el programa con la finalidad de que éste los pueda acoplar, y posteriormente procesar. Es necesario recalcar que la validez de los resultados a obtenerse, depende de la consistencia de los datos que se ingresan en esta etapa, por tal razón, requieren una verificación meticulosa.

En la fase de procesamiento se llevan a cabo las siguientes caracterizaciones:

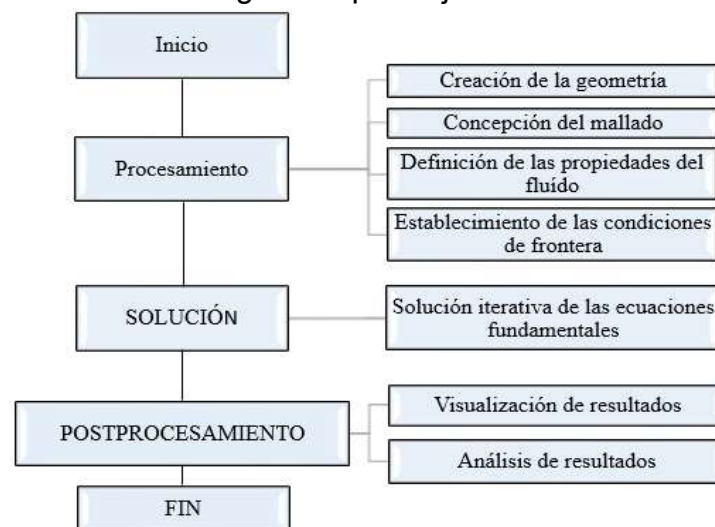
- Creación de la geometría: Tiene que ver con la con el desarrollo de un modelo digital en tres dimensiones con ayuda de herramientas computacionales tipo CAD, el cual corresponde a la estación experimental que va a representar el modelo numérico, al cual llamaremos dominio computacional.
- Concepción del mallado: Corresponde a la discretización del dominio computacional en un número finito de subdominios (celdas) no superpuestos más pequeños, la cual debe adaptarse a la geometría del dominio, considerando que la precisión de los resultados está estrechamente ligado al desarrollo del mallado. Para esto, es importante destacar que el tamaño de la malla debe determinarse en función de la precisión requerida, y el tiempo de cálculo disponible para la obtención de los resultados, considerando que, al requerirse resultados más precisos, el tamaño de la malla debe ser lo suficientemente pequeño para caracterizar el flujo con mayor detalle.

- Definición de las propiedades del fluido y del material del contorno: En esta etapa se deben especificar las características del fluido que intervendrá en la modelación, y las particularidades del material que se desea representar en el contorno del modelo.
- Establecimiento de las condiciones de contorno: Implica la asignación de propiedades específicas de las celdas que coinciden con los límites del dominio.
- Asignación de condiciones iniciales: Corresponde al establecimiento de las condiciones físicas del entorno del modelo numérico, como son: la dirección en la que actúa la gravedad, la temperatura del agua.
- Selección de los fenómenos a modelarse: En esta etapa se seleccionan los fenómenos que serán caracterizados durante la modelación, incluyendo el modelo de turbulencia, y los parámetros hidráulicos que han de caracterizarse.

Una vez definidas las características del sistema, el programa resuelve las ecuaciones de Navier Stokes y la ecuación de continuidad. Finalmente, en el post procesamiento se visualizan y se analizan los resultados.

En la figura 2.16, se presenta un diagrama de flujo, que muestra el procedimiento general para la ejecución de una simulación numérica.

Figura 2. 16: Procedimiento general para ejecución de simulación numérica.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

2.2. ESTADO DEL ARTE.

Muy pocos investigadores han analizado el flujo combinado, simultaneo a través de una compuerta vertedero, obteniendo algunos criterios de diseño hidráulico mediante resultados derivados de la modelación física en laboratorio:

Abfluss- und Belastungskenngrößen bei gleichzeitig ueber- und unterstroemten Wehrverschlüssen – Peissner K.

Peissner (1989), realiza su disertación doctoral en la Universitaet Karlsruhe, con el objetivo de desarrollar diagramas que permitan cuantificar los porcentajes de descarga en una compuerta plana vertical, que admite vertido simultáneo superior e inferior. Su investigación se desarrolló en un modelo físico, consistente en un canal horizontal, en cuyo interior consta una compuerta plana vertical; en este modelo se han ejecutado pruebas con diferentes caudales, en cada una de las cuales, se cuantificaron las descargas superior, e inferior, respectivamente, y, mediante la tabulación de los valores procedentes de la investigación experimental, se han obtenido como resultado, diagramas mediante los cuales se pueden determinar los porcentajes de descarga sobre y bajo la compuerta.

En el trabajo referido se concluye que mediante la investigación experimental, se pueden obtener criterios de diseño de estructuras hidráulicas, y que aquellas que admiten vertido superior e inferior, son de gran utilidad para regulación de niveles y caudales.

Análisis experimental del flujo combinado superior e inferior en una compuerta plana – Castro M. e Hidalgo X.

Castro e Hidalgo (2002), en su artículo científico publicado en la revista: Ingeniería Hidráulica en México, exponen los criterios para el uso del diagrama, propuesto por Naudascher E., Castro M. y Peissner K., referido en el trabajo de Peissner (1989), con el objetivo de analizar la descarga superior e inferior, respectivamente, en una compuerta plana vertical, a partir de la subdivisión del flujo de aproximación a la estructura en dos partes: La primera corresponde al flujo libre superior sobre un vertedero de pared delgada vertical con un fondo o solera ficticia desarrollado

aguas arriba de la estructura de control; la segunda se refiere a la descarga bajo una compuerta plana vertical, con flujo de aproximación bajo presión, ubicada en el interior de un túnel, sujeta a la carga generada por el calado del flujo de aproximación " Y_o ".

Sobre esta base, mediante la ejecución de ensayos realizados en un modelo físico desarrollado en la Universitaet Karlsruhe, comprendido por un canal rectangular, en cuyo interior consta una compuerta plana vertical, presentan un diagrama para la obtención de las descargas superior e inferior, respectivamente en la estructura de control, y concluyen que con la ayuda de la investigación experimental, se logran obtener criterios para el dimensionamiento de estructuras de control sujetas a flujo simultáneo superior e inferior, y plantean la necesidad de definir la ubicación de la línea de separación de estos dos flujos, la misma que genera la solera y una altura de vertedero " W_a ".

Discharge Equation for simultaneous flow over rectangular weirs and below inverted triangular weirs - Alhamid A. et al.

Alhamid A. et al (1996), en la King Saud University – Arabia Saudita, realizan un estudio experimental con el objetivo de desarrollar ecuaciones que permitan determinar la descarga en una estructura de control en la que se admite flujo superior e inferior. Su investigación se llevó a cabo en un modelo físico comprendido por un canal rectangular de vidrio, en cuyo interior se ha construido un sistema compuesto por un vertedero de cresta agua superior, y un vertedero triangular invertido (inferior), en el cual a partir de la ejecución de pruebas con variaciones en la geometría de la estructura de control propuesta, y la pendiente del fondo del canal, han obtenido como resultado, ecuaciones adimensionales para la cuantificación de la descarga a través de la estructura estudiada.

Los investigadores concluyen que la pendiente del fondo del canal tiene un efecto insignificante en la variación de la descarga del sistema analizado, sin embargo, el ángulo del vertedero triangular tiene un efecto importante en la descarga de la estructura; cuanto mayor es el ángulo, es mayor la descarga.

Combined-Free Flow Over Weirs and Below Gates - Azim et al.

Azim et al (1997), en su artículo Combined-Free Flow Over Weirs and Below Gates, publicado en Journal of Hydraulic Research, desarrollado sobre la base de su investigación realizada en Zagazig University - Egipto, detallan las características del flujo combinado superior e inferior a través de un dispositivo rectangular de paredes agudas con contracción. El objetivo del trabajo referido es determinar los coeficientes de descarga a través de esta estructura, con base en sus parámetros geométricos, para lo cual, en un modelo físico compuesto por un canal rectangular, en cuyo interior se ubica una estructura de control conformada por un vertedero superior y una compuerta inferior, se han realizado pruebas en las cuales se han modificado las aberturas de los elementos de la sección de control, y se han cuantificado las descargas sobre, y bajo dicha estructura.

Como resultado de la investigación experimental realizada, se han obtenido coeficientes de descarga superior e inferior, y se ha concluido que los problemas debidos a la sedimentación y deposición de material de arrastre son minimizados al combinar el funcionamiento de una compuerta y un vertedero.

Experimental investigation for flow through combined trapezoidal weir and rectangular gate - Habeeb M. y Khassaf S.

Un trabajo similar al anteriormente referido, ha sido realizado por Habeeb y Khassaf (2014) en la University of Basrah-Iraq. El objetivo de su investigación es la obtención de los coeficientes de descarga de una estructura de control que admite vertido superior e inferior, a partir de la modelación física llevada a cabo en un canal rectangular, en el que se ha emplazado una estructura de control compuesta por un vertedero trapezoidal de cresta delgada y una compuerta rectangular, y se han realizado diferentes ensayos con variaciones en la geometría de sus elementos.

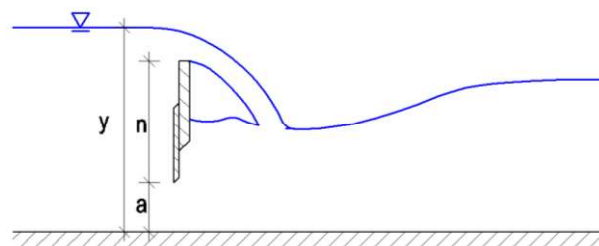
Como resultado de la investigación se han obtenido los coeficientes de descarga superior e inferior, respectivamente, obtenidos a partir de las mediciones realizadas, y los autores concluyen que a medida que la distancia vertical entre el

borde inferior del vertedero y el borde superior de la compuerta aumenta, el coeficiente de descarga aumenta; y, que cuando el ángulo del vertedero trapezoidal aumenta para la misma descarga, la profundidad del flujo sobre el vertedero disminuye y el coeficiente de descarga aumenta.

Pese a que las investigaciones de Azim et al (1997), y Habeeb y Khassaf (2014), han sido desarrolladas en dispositivos con diferente geometría, las dos coinciden en que, al incitar el flujo combinado superior e inferior se minimizan los problemas de acumulación de sedimentos y retención de materiales flotantes. También concuerdan en que, para la obtención de los coeficientes de descarga de un dispositivo de estas características, son dos los parámetros que tienen efectos muy significativos:

- (y/a) El parámetro de flujo que relaciona la carga total aguas arriba del dispositivo, y la abertura de la compuerta.
- (n/a) El parámetro geométrico, que relaciona la distancia vertical entre el borde inferior del vertedero y el borde superior de la compuerta, con la abertura de la compuerta.

Figura 2. 17: Parámetros considerados para estimación de la descarga en investigaciones previas.



Elaboración: Habeeb M – Khassaf I.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

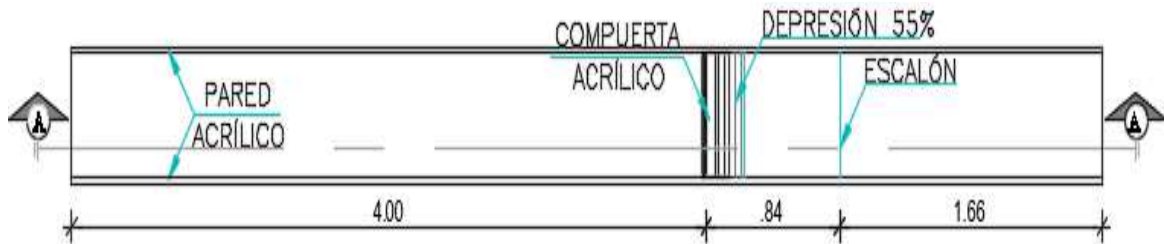
3.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO FÍSICO DEL ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL FLUJO COMBINADO SUPERIOR E INFERIOR EN UNA COMPUERTA PLANA, PEISSNER.

En la Universitaet Karlsruhe, Alemania, en el año 1989, Karlheiz Peissner, previo a la obtención de su doctorado, realizó un estudio en el que desarrolló un análisis teórico y experimental del flujo simultáneo superior e inferior en una compuerta plana vertical, con la finalidad de definir sus características, el mismo que se encuentra plasmado en su disertación doctoral titulada: Abfluss - und Belastungskenngrößen bei gleichzeitig uber- und unterströmten Wehrverschlüssen.

3.1.1. GEOMETRÍA.

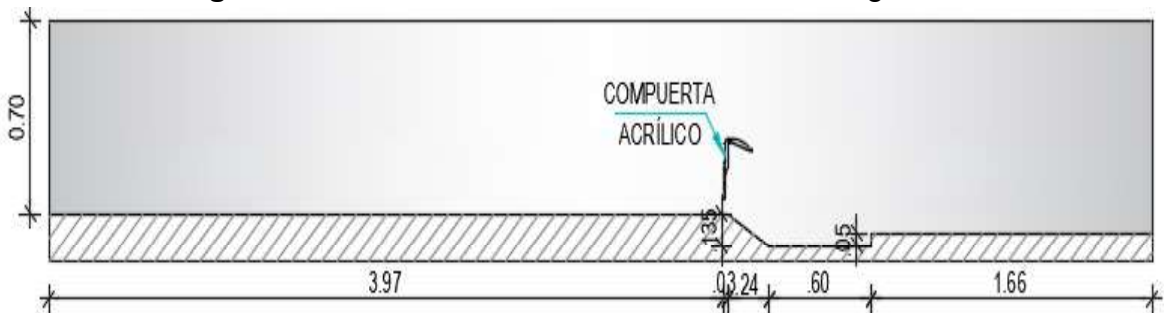
El modelo físico de Peissner involucra a un canal horizontal, cuyo ancho tiene un valor de 0.50 metros, y su altura es de 0.70 metros; en su interior cuenta con una compuerta plana vertical, cuya abertura para la ejecución de las pruebas de laboratorio ha sido fijada en 6cm; en la parte superior de la compuerta existe una clapeta de 15 centímetros de longitud, cuyo radio es de 21 centímetros, la cual se ha abierto totalmente para los ensayos correspondientes. Inmediatamente aguas abajo de la compuerta se desarrolla una depresión en el fondo del canal, la cual tiene una pendiente del 55%, con una longitud de 28 centímetros. A continuación, existe un cuenco de 0.60 metros de prolongación, seguido de un escalón de 5 centímetros de altura. Todos los elementos han sido construidos en acrílico, cuya geometría se esquematiza en las *figuras 3.1, 3.2 y 3.3.*

Figura 3. 1: Modelo físico de Peissner-Planta general.



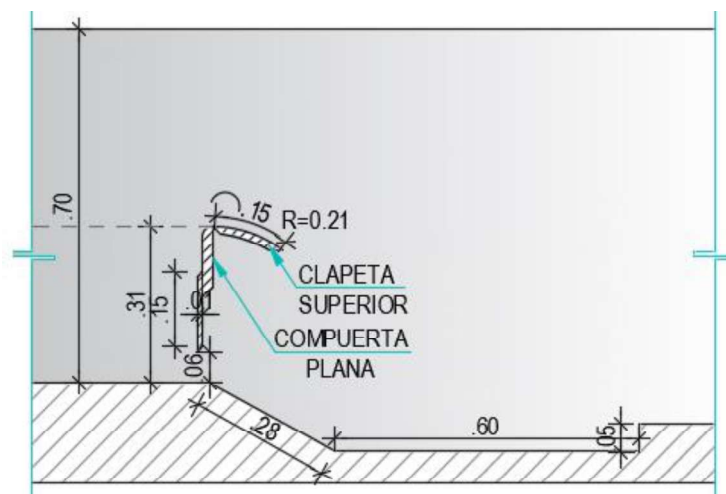
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Figura 3. 2: Modelo físico de Peissner-Corte longitudinal.



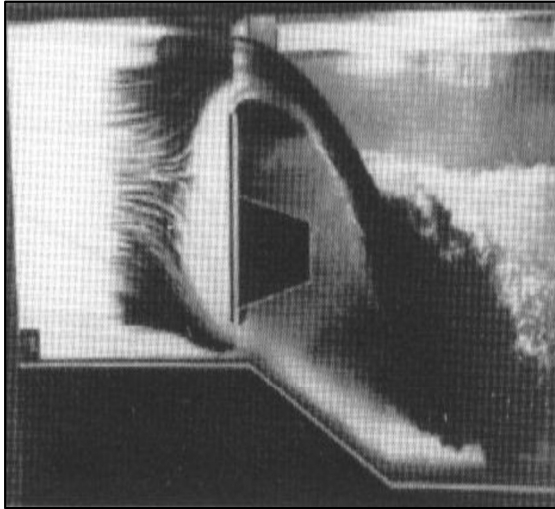
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Figura 3. 3: Modelo físico de Peissner-Detalle de compuerta-clapeta, cuenco-escalón.



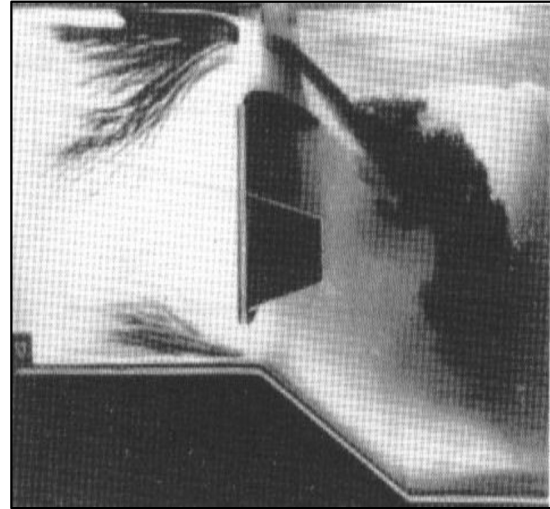
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Fotografía 3. 1: Modelo físico de Peissner-Detalle de compuerta-clapeta, cuenco-escalón.



Fuente: Abfluss - und Belastungskenngrößen bei gleichzeitig über- und unterströmten Wehrverschlüssen – Peissner, 1989.

Fotografía 3. 2: Modelo físico de Peissner-Detalle de compuerta-clapeta, cuenco-escalón.



Fuente: Abfluss - und Belastungskenngrößen bei gleichzeitig über- und unterströmten Wehrverschlüssen – Peissner, 1989.

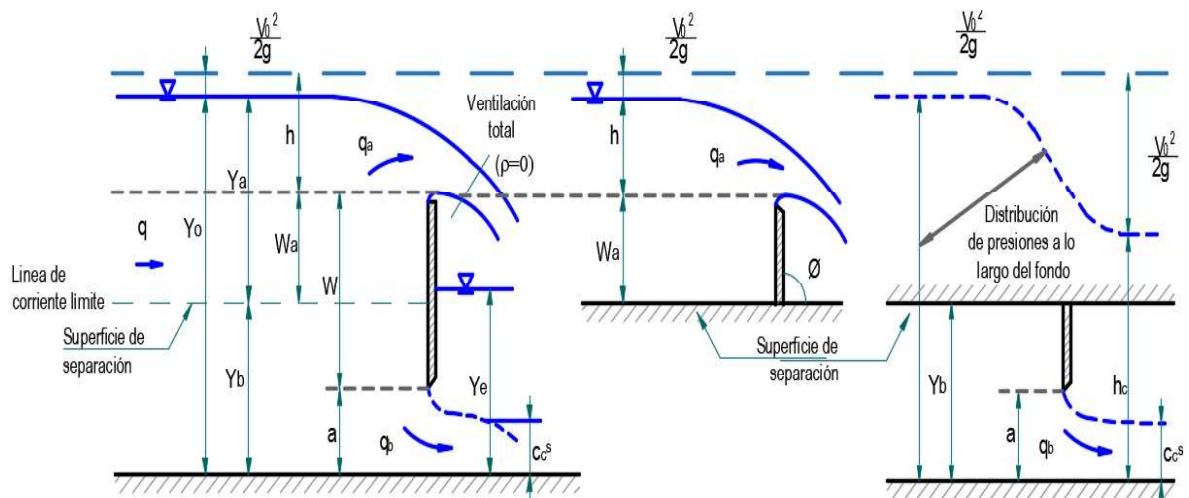
3.1.2. CONSIDERACIONES DEL MODELO FÍSICO.

Se propone la subdivisión del flujo de aproximación a la compuerta en dos partes:

- a) El caudal correspondiente al flujo libre superior de un vertedero de pared plana vertical.
- b) El caudal bajo una compuerta plana vertical, con flujo de aproximación bajo presión.

Según Castro e Hidalgo (2002), existe una superficie de separación del flujo de aproximación, la cual se manifiesta como un “fondo virtual”, que determinará una particularidad geométrica del vertedero, y permitirá caracterizar el flujo superior. Respecto a la descarga inferior, esta puede definirse a partir de la carga que genera el calado de aproximación a la estructura; de este modo, al identificar la superficie de separación, se pueden cuantificar las descargas simultáneas, sobre la clapa, y bajo la compuerta, respectivamente, en base a la teoría existente de compuertas y vertederos. La *figura 3.4*, muestra el esquema gráfico de solución conforme a lo expuesto.

Figura 3. 4: Esquema de solución flujo simultáneo superior e inferior y "repartición de caudales".



Fuente: Análisis experimental del flujo combinado superior e inferior en una compuerta plana vertical - Castro M.-Hidalgo X., 2002.

Donde:

a = abertura de la compuerta plana [m];

q = Caudal unitario [$m^3/s \cdot m$];

q_a = Caudal unitario del flujo superior sobre el vertedero [$m^3/s \cdot m$];

q_b = Caudal unitario del flujo inferior bajo la compuerta plana [$m^3/s \cdot m$];

Y_0 = Profundidad del flujo de aproximación hacia la estructura [m];

Y_a = Profundidad ficticia de agua para el flujo superior [m];

Y_b = Profundidad ficticia de agua para el flujo inferior bajo la compuerta [m];

Y_e = Profundidad de agua, aguas abajo de la compuerta [m];

V_0 = Velocidad media del flujo de aproximación hacia la estructura [m/s]

h = Carga sobre el vertedero [m];

W_a = Altura ficticia del vertedero con flujo superior [m];

W = Altura total de la compuerta plana vertical [m].

3.1.3. DIAGRAMA DE NAUDASCHER-CASTRO-PEISSNER.

El diagrama propuesto por Naudascher E., Castro M. y Peissner K., presentado en la figura 3.5, el cual ha sido desarrollado con base en los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en el modelo físico de Peissner (1989), permite obtener los

porcentajes de descarga simultanea superior e inferior, respectivamente, en la compuerta plana vertical estudiada por Peissner, y, al modelar numéricamente el flujo en la estación experimental estudiada por el autor en mención, el diagrama en mención constituye el medio de comprobación de los valores obtenidos numéricamente.

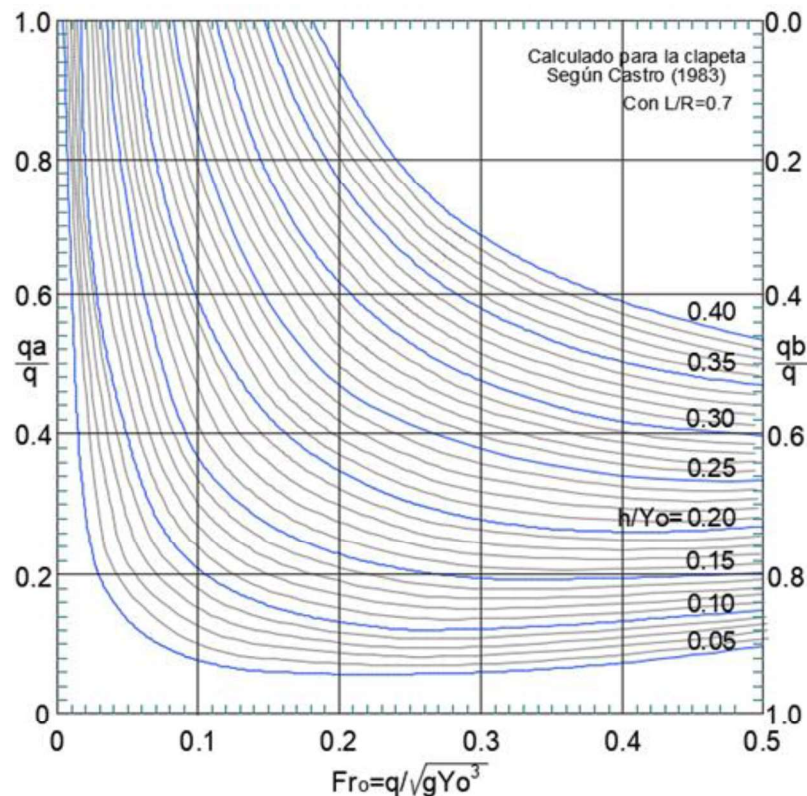
Para hacer uso del diagrama es necesario contar con las lecturas limnimétricas que dan cuenta de los siguientes valores en cada prueba de laboratorio: la profundidad del flujo de aproximación, y la carga sobre el vertedero, las cuales deben realizarse a una distancia de 75 cm aguas arriba del paramento, satisfaciendo la condición referida por Lázaro, Domínguez y Rocha, expuesta anteriormente (distancia de medición $\geq 4h$). Conocidos estos valores, se deben obtener los siguientes parámetros: Número de Froude (Fr_o) y relación entre la carga sobre el vertedero y el calado de aproximación (h/y_o).

$$Fr_o = \frac{q}{\sqrt{gy_o^3}} \quad (3.1)$$

Una vez obtenidos los parámetros referidos, se ingresa al diagrama desde el eje horizontal inferior, que representa el valor de Fr_o , trazando una línea perpendicular a este eje, hasta intersectar la curva correspondiente al valor de la relación h/y_o .

En el punto de intersección, se traza una línea horizontal hacia los ejes verticales izquierdo y derecho, respectivamente. La intersección en el eje vertical izquierdo del diagrama indica la relación entre el caudal unitario del flujo superior sobre el vertedero, y el caudal unitario del flujo de aproximación, en tanto que la intersección en el eje vertical derecho, corresponde a la relación entre el caudal unitario del flujo inferior bajo la compuerta plana vertical y el caudal unitario del flujo de aproximación, obteniéndose así los caudales de vertido correspondientes.

Figura 3. 5: Diagrama de Naudascher, Castro, Peissner.



Fuente: Análisis experimental del flujo combinado superior e inferior en una compuerta plana - Castro M.-Hidalgo X., 2002.

En el presente trabajo, se modeló numéricamente el flujo en la estación experimental estudiada por Peissner en su modelo físico (1989).

3.2. MODELO NUMÉRICO CFD.

3.2.1. DESCRIPCIÓN.

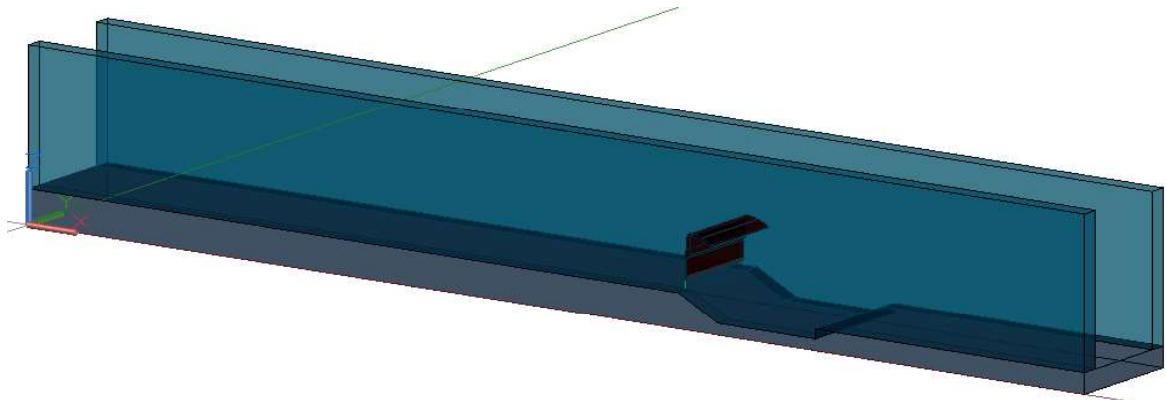
Un modelo numérico CFD, es una sintetización en ordenador de un determinado espacio físico donde se llevan a cabo fenómenos hidráulicos que requieren ser analizados, el cual permite representar de manera simplificada los eventos que se manifiestan en la realidad, permitiendo conocer el desarrollo y la variación espacial y temporal de las variables del flujo mediante la simulación numérica, proceso descrito en el numeral 2.1.10. (Descripción general de la dinámica de fluidos computacional). Para el caso de estudio, permite modelar los fenómenos locales que se desarrollan en la compuerta vertedero.

3.2.2. GEOMETRÍA TRIDIMENSIONAL.

La correcta caracterización geométrica es un aspecto muy importante de la modelación numérica, pues de su correcta definición, considerando todos y cada uno de los elementos que puedan incidir en el flujo, depende que los resultados sean satisfactorios.

Con base en los datos de la geometría del modelo físico ensayado por Peissner (1989), detallada en el numeral 3.1.1, se ha generado un modelo tridimensional computacional que representa informáticamente, las condiciones físicas establecidas en su estación experimental. Esta caracterización geométrica se llevó a cabo mediante el uso de herramientas de diseño asistido por computadora (CAD), y se muestra en la *figura 3.6*.

Figura 3. 6: Modelo tridimensional computacional generado mediante herramientas CAD.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

El programa Flow 3D, admite ficheros en formato STL (Standard Triangle Language) para generación de la geometría, que consisten en mallas de triángulos cerradas que definen la forma de objetos 3D. Para el efecto, desde la herramienta CAD se realizó la exportación hacia un formato STL de los componentes geométricos, de forma individual, con la finalidad de mostrarlos por separado en etapas posteriores, y así poder analizar detalladamente los fenómenos hidráulicos desarrollados en el dominio computacional durante la visualización de resultados, de tal manera que se han dividido los componentes del sistema hidráulico en los siguientes elementos:

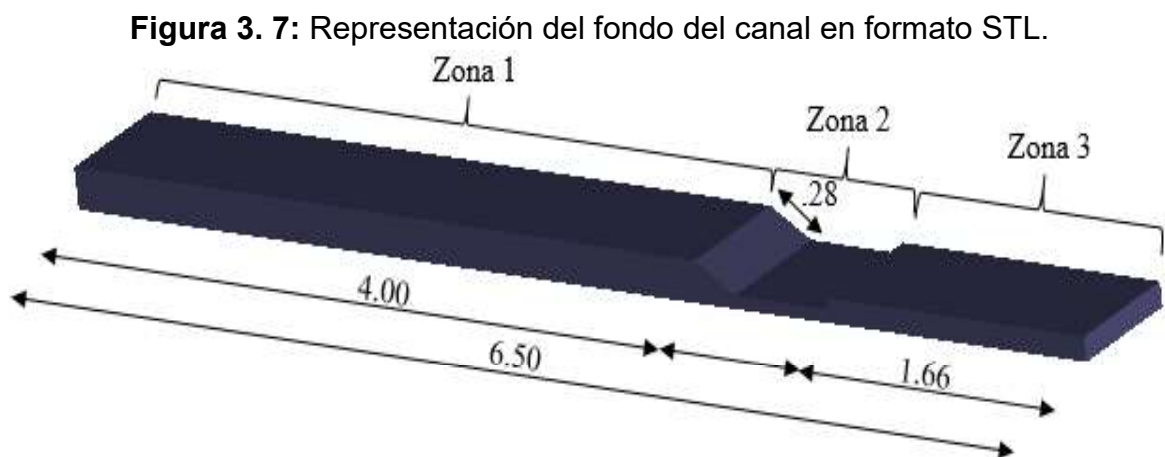
- Fondo del canal
- Paredes del canal
- Estructura de control

3.2.2.1. Fondo del canal.

Consiste en un objeto cuya longitud se desarrolla a lo largo del eje x, el cual constituye el límite inferior del dominio computacional, que posee 3 zonas, cuyas características geométricas se muestran en la *figura 3.7*.

La primera corresponde al tramo de aproximación a la compuerta vertedero; la segunda concierne al tramo comprendido entre la depresión del nivel a través de una pendiente del (55%) que se desarrolla en una longitud de 28 centímetros, y al cuenco de disipación generado por el escalón de 5 centímetros, que constituye el inicio del tercer tramo, correspondiente a la salida.

El material del que se encuentra construido este elemento, es el acrílico, cuya rugosidad tiene un valor de $1.5 * 10^{-6}m$.

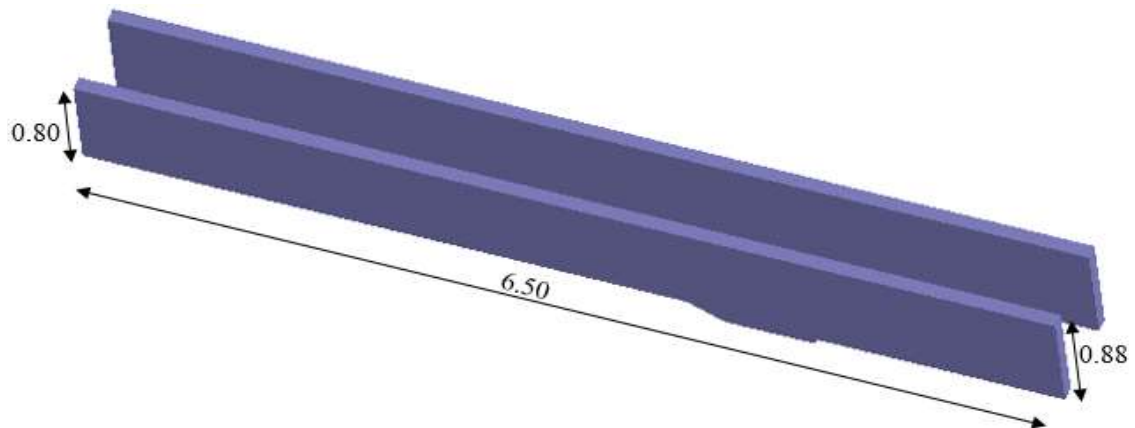


Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

3.2.2.2. Paredes del canal.

Se trata de dos paredes que confinan lateralmente el dominio computacional, las cuales se desarrollan a lo largo del canal, y se han proyectado con un ancho de 10 centímetros. Al igual que el fondo del canal, el material que las conforma es el acrílico, por lo tanto, el valor de la rugosidad en la superficie es de $1.5 * 10^{-6}m$.

Figura 3. 8: Esquema de las paredes del canal en formato STL.

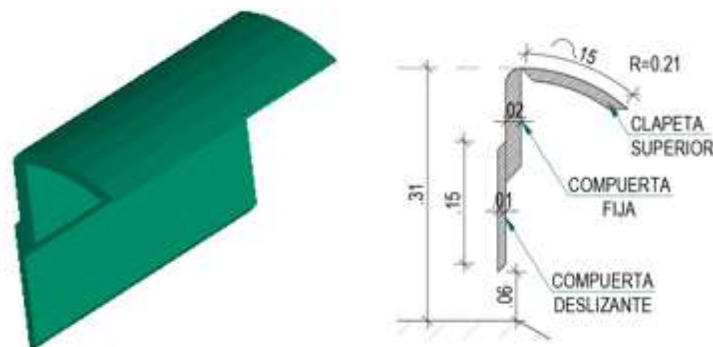


Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

3.2.2.3. Estructura de control.

Corresponde a la compuerta-vertedero, la cual también se ha construido en acrílico, por lo tanto, la rugosidad de la superficie de este elemento tiene un valor de $1.5 * 10^{-6}m.$, y cuenta con las características geométricas mostradas en la *figura 3.9.*

Figura 3. 9: Esquema de la estructura de control en formato STL – características geométricas.



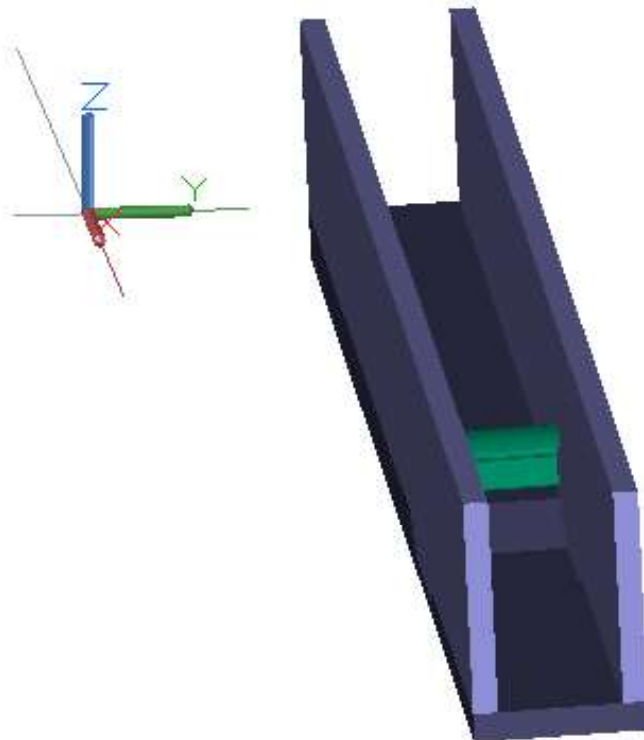
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Es necesario lograr un refinamiento de la geometría adecuado, de tal manera que se pueda definir con detalle la forma de los elementos. Ante este requerimiento, el programa Flow 3D posee una herramienta para el definir regiones geométricas generales dentro de una cuadrícula rectangular, de este modo, el algoritmo FAVOR (Fractional Area/Volume Obstacle Representation), es empleado para eliminar el efecto de “escalón” asociado a mallas rectangulares. Merecen especial atención los

elementos cuyas dimensiones son pequeñas, como es el caso del componente “estructura de control” del modelo numérico, pues su forma determina que algunas dimensiones en la dirección de los ejes x, z, respectivamente, puedan resultar difíciles de caracterizar, por tal razón se requiere pulir con el mayor detalle posible, la geometría elaborada en las herramientas tipo CAD.

Al insertar los tres elementos en al programa Flow 3D, se cuenta con la geometría sólida completa de la estación experimental, caracterizada digitalmente, cuya representación se muestra en la *figura 3.10*, conjuntamente con la ubicación de los ejes de coordenadas adoptados.

Figura 3. 10: Esquema de los componentes geométricos del modelo numérico en formato STL – ubicación de los ejes de coordenadas adoptadas.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

3.2.3. MALLADO.

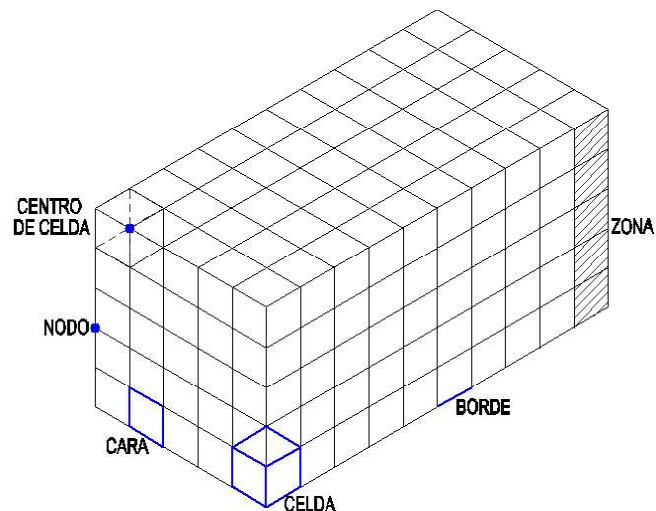
Una malla computacional es la representación discreta de la geometría que describe el dominio espacial de interés para la ejecución de una simulación numérica. El mallado consiste en la discretización (división) espacial de dicho dominio, en subdominios o celdas. Para el caso del programa Flow 3D la

discretización se realiza en elementos hexaédricos (malla estructurada), en cada uno de los cuales se resuelven las ecuaciones que gobiernan el movimiento de los fluidos, empleando el método de diferencias finitas. La correcta ejecución de este procedimiento permite garantizar una adecuada reproducción geométrica del modelo, la continuidad de los caudales y la modelación adecuada de las escalas de turbulencia. Todo lo indicado está estrictamente relacionado con el tamaño de los elementos que conforman el mallado, que a su vez tiene una incidencia directa en el tiempo requerido para la resolución numérica y la precisión de los resultados obtenidos. Por lo indicado, se debe considerar que un número excesivo de subdominios involucra un mayor costo computacional, generando el incremento en los tiempos de simulación; en tal virtud, debe haber un equilibrio entre los criterios: precisión de los resultados y tiempo de simulación.

3.2.3.1. Terminología.

Para la comprensión del procedimiento del mallado y los elementos que lo conforman, en la *figura 3.11*, se evidencian sus componentes.

Figura 3. 11: Esquema de elementos del mallado.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

- Celdas o subdominios (volúmenes de control) en los que se divide el dominio espacial;
- Nodo de malla;

- Centro de la celda;
- Borde o frontera de una celda
- Cara de una celda;
- Zona o conjunto de nodos, caras y celdas

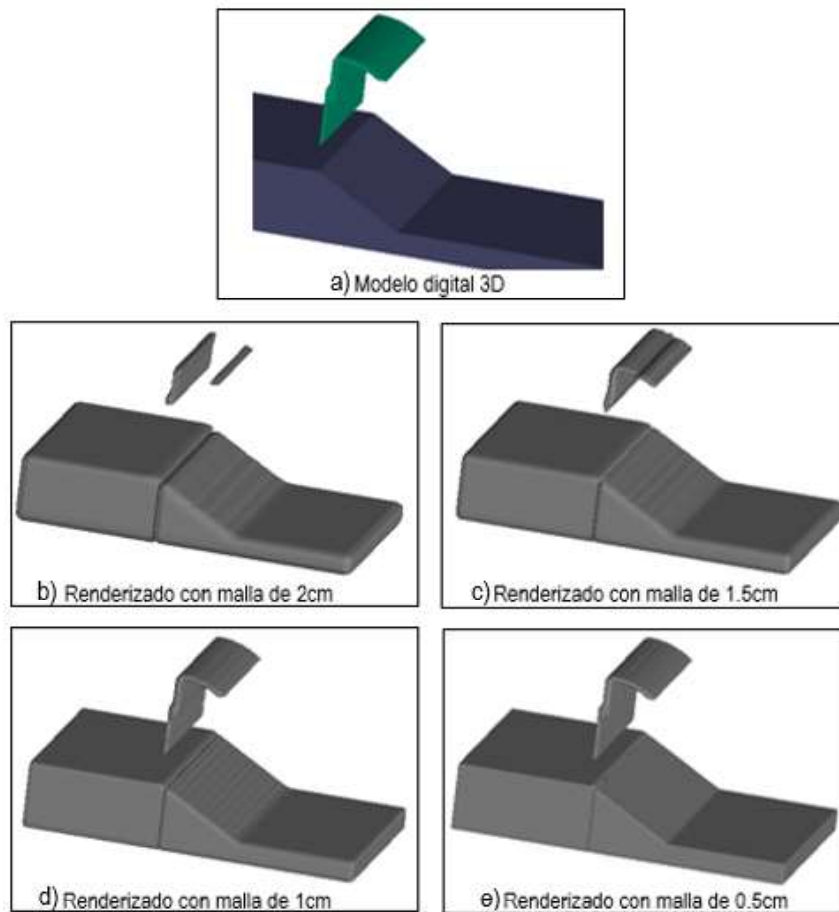
Seguidamente, se describen los elementos que pueden emplearse en el programa para para la ejecución del mallado:

- Mesh Block: Comprende un bloque prismático rectangular determinado por planos en las coordenadas x,y,z , en cuyo interior se agrupan celdas que poseen las mismas características en cuanto a su forma y tamaño. Pueden generarse varios bloques con particularidades diferentes, sin embargo, es necesario considerar que, la relación de tamaño de malla entre dos bloques adyacentes no debe ser mayor que 2, con la finalidad de no generar cambios de tamaño bruscos que pueden generar errores locales en las fronteras entre bloques. También se debe cuidar que el valor de la relación de aspecto de las celdas tienda a 1, o en casos extremos, no exceda el valor de 3.
- Plano de malla: se trata de una zona delimitada por un plano, en la cual, se pueden asignar características locales al grupo de elementos que la conforman.

3.2.3.2. Estrategia de mallado.

En el modelo de estudio se realizaron varios renderizados de la geometría, hasta obtener una correcta representación geométrica de los componentes del modelo, procedimiento realizado empleando bloques de diferentes tamaños de malla, procurando conformar con detalle las características geométricas del dominio computacional, particularmente la estructura de control, que es el elemento que cuenta con una geometría con mayor complejidad respecto a los demás, y corresponde a la zona de mayor interés en el análisis; adicionalmente, a continuación de este componente se desarrolla una fuerte depresión en el fondo del canal, por tal razón, en estos sectores se requiere un mallado más fino.

Figura 3. 12: Renderizado del dominio computacional con diferentes tamaños de malla.

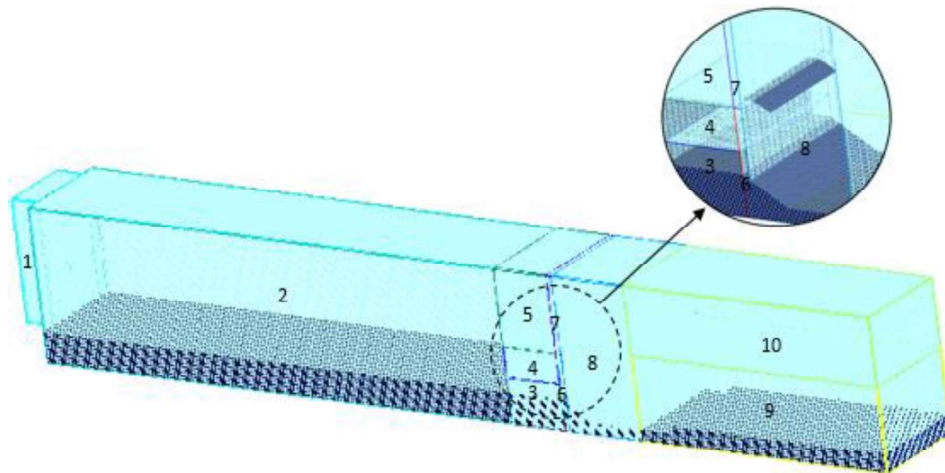


Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Como puede apreciarse en la *figura 3.12*, mientras menor es el tamaño de la malla, el renderizado representa con mayor detalle los componentes geométricos, sin embargo, teniendo en consideración que un mallado más fino incrementa el número de subdominios, y esto a su vez extiende los tiempos de simulación, se estableció la necesidad de emplear un mallado multi bloque, para poder asignar características de diferentes tamaños de malla a cada uno de ellos, en función del requerimiento de análisis de los fenómenos locales, considerando adicionalmente la incidencia de la capa límite.

Por lo indicado, y, con la finalidad caracterizar adecuadamente los parámetros hidráulicos en la estructura de control, que es motivo del presente estudio, sin extender demasiado los tiempos de simulación, se crearon 10 bloques de mallado, como se muestra en la *figura 3.13*.

Figura 3. 13: Bloques de mallado del dominio computacional.

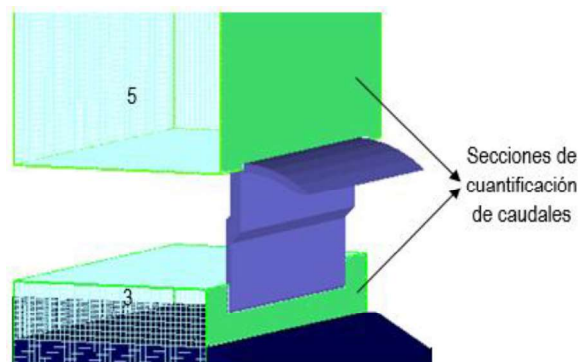


Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Los bloques 3, 4, 5, 6, 7 y 8, que abarcan el espacio donde se encuentra situada la compuerta-vertedero, se generaron con un tamaño de 1 centímetro, pues en él se desarrollarán los fenómenos hidráulicos que merecen especial atención; los demás bloques se crearon con un tamaño de malla de 2 centímetros.

Los bloques de mallado 3 y 5, respectivamente, se han proyectado de tal manera de contar con su última sección en el plano YZ, en los sectores donde deben determinarse los caudales superior e inferior; a estas las llamaremos **secciones de cuantificación de caudales**, mostradas en la *figura 3.14*, en las cuales se generará un registro histórico de los gastos que las atraviesan en cada instante de la simulación.

Figura 3. 14: Secciones de cuantificación de caudales.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Las coordenadas, y el número de elementos de los bloques de mallado se detallan en la *tabla 3.1*.

Tabla 3. 1: Coordenadas y número de elementos de los bloques de mallado del dominio computacional.

COORDENADAS Y NÚMERO DE ELEMENTOS DE LOS BLOQUES DEL MALLADO DEL DOMINIO COMPUTACIONAL								
ELEMENTO DE MALLADO	COORDENADAS						PROPIEDADES DE LAS CELDAS	
	xi	xf	yi	yf	zi	zf	TAMAÑO	CANTIDAD
Mesh block1	-0.20	0.00	0.10	0.60	0.20	1.00	0.02	10000
Mesh block2	0.00	3.60	0.00	0.70	0.00	1.00	0.02	315000
Mesh block3	3.60	4.01	0.00	0.70	0.00	0.30	0.01	86100
Mesh block4	3.60	4.01	0.00	0.70	0.30	0.50	0.01	57400
Mesh block5	3.60	4.01	0.00	0.70	0.50	1.00	0.01	143500
Mesh block6	4.01	4.05	0.00	0.70	0.00	0.50	0.01	14000
Mesh block7 ₃	4.01	4.05	0.00	0.70	0.50	1.00	0.01	14000
Mesh block8	4.05	4.60	0.00	0.70	0.00	1.00	0.01	385000
Mesh block9	4.60	6.50	0.00	0.70	0.00	0.55	0.02	93100
Mesh block10	4.60	6.50	0.00	0.70	0.55	1.00	0.02	73150
Total de elementos								1191250

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Con la finalidad de considerar los efectos de la capa límite, se realizó el cálculo del espesor de dicha capa en la distancia a la cual se encuentra ubicada la compuerta vertedero, conforme a los criterios expuestos en el numeral 2.1.7, como se muestra a continuación:

Tabla 3. 2: Cálculo del espesor de la capa límite a la distancia donde se encuentra ubicada la compuerta vertedero.

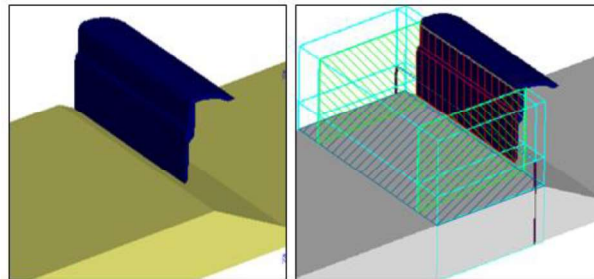
CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA CAPA LÍMITE - PRUEBAS ESCENARIO NORMAL						
PRUEBA	EN-1	EN-2	EN-3	EN-4	EN-5	EN-6
Qi [m³/s]	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15
ho	0.359	0.39	0.415	0.44	0.465	0.487
b	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
A	0.1795	0.195	0.2075	0.22	0.2325	0.2435
V	0.2790	0.3590	0.4340	0.5000	0.5590	0.6200
v	1.004E-06	1.004E-06	1.004E-06	1.004E-06	1.004E-06	1.004E-06
x Inicio zona de transición	0.72	0.559	0.463	0.402	0.359	0.324
Re x	2.00E+05	2.00E+05	2.00E+05	2.00E+05	2.00E+05	2.00E+05
δL	0.0075	0.0058	0.0048	0.0042	0.0037	0.0034
δT	0.0232	0.018	0.0149	0.0129	0.0116	0.0104
δ PROM	0.01535	0.0119	0.00985	0.00855	0.00765	0.0069

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Considerando lo anteriormente expuesto, se realizó un refinamiento local del mallado, en las superficies de contacto del flujo con la compuerta, y en las zonas próximas a las paredes y el fondo, empleando planos de malla cuyos elementos tienen un tamaño de 0.5 cm, dispuestos como se muestra en la *figura 3.15*, con la finalidad de resolver el flujo considerando los efectos de la capa límite.

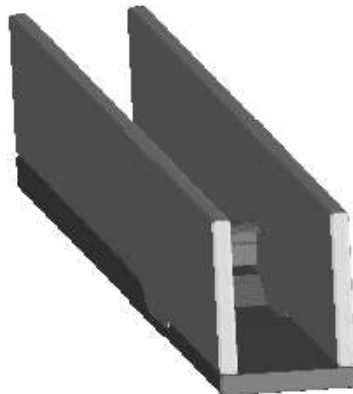
En el *anexo A1*, se exponen los gráficos del desarrollo de la capa límite, calculados a partir de las ecuaciones (2.41), y (2.42), con base en los caudales ensayados.

Figura 3. 15: Planos de malla para refinamiento local.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Figura 3. 16: Modelo 3D renderizado



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

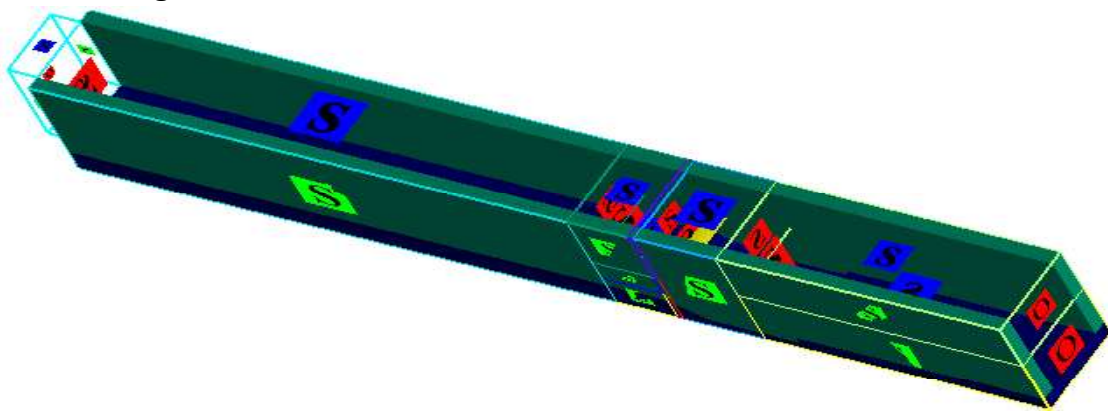
Las características de los elementos de los bloques de mallado que conforman el dominio computacional se muestran en el *anexo A2*.

3.2.4. CONDICIONES DE CONTORNO.

Para realizar la resolución numérica de las ecuaciones que gobiernan el movimiento de los fluidos, es necesario contar con datos iniciales, a partir de los cuales empezará el proceso iterativo, de este modo, las condiciones de contorno,

corresponden a los datos del estado inicial de las variables del fluido en el primer paso de la resolución numérica de las ecuaciones, es decir en el instante $t=0$. Estas deben ser especificadas en una parte del dominio computacional denominado contorno, que agrupa las caras de un grupo de celda, las cuales en el programa Flow 3D se muestran en las caras de los bloques de mallado que han sido generados previamente, como se detalla en la *figura 3.17*, en las que se pueden asignar las particularidades requeridas.

Figura 3. 17: Condiciones de contorno del modelo numérico.

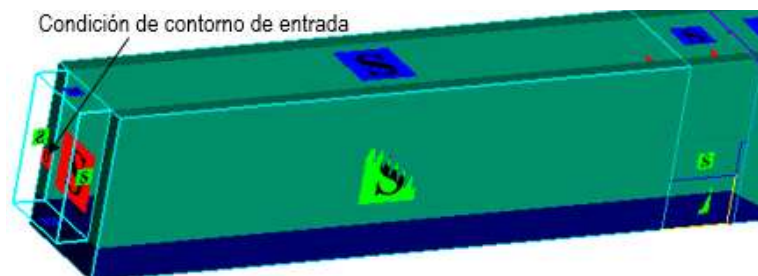


Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

3.2.4.1. Condición de contorno de entrada.

En la sección transversal del modelo numérico, por donde debe ingresar el fluido, se introduce un flujo de masa, por unidad de tiempo, que corresponde al caudal que ingresa al modelo. La *figura 3.18*, muestra la zona de asignación de esta condición de contorno en el modelo numérico, en la cual se establecerán los caudales a ser ensayados en cada una de las pruebas consideradas para el presente estudio.

Figura 3. 18: Condición de contorno de entrada del modelo numérico.

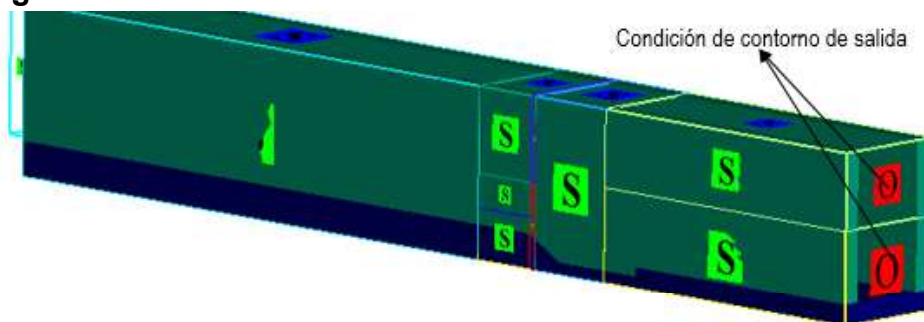


Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

3.2.4.2. Condición de contorno de salida del flujo.

En la sección transversal final del modelo en dirección del eje “x”, se asigna la condición “outflow”, cuya característica es permitir la libre salida del flujo a través de esta. Su asignación es imprescindible, pues se debe evacuar el agua para evitar que se embalse en el dominio computacional.

Figura 3. 19: Condición de contorno de salida del modelo numérico.

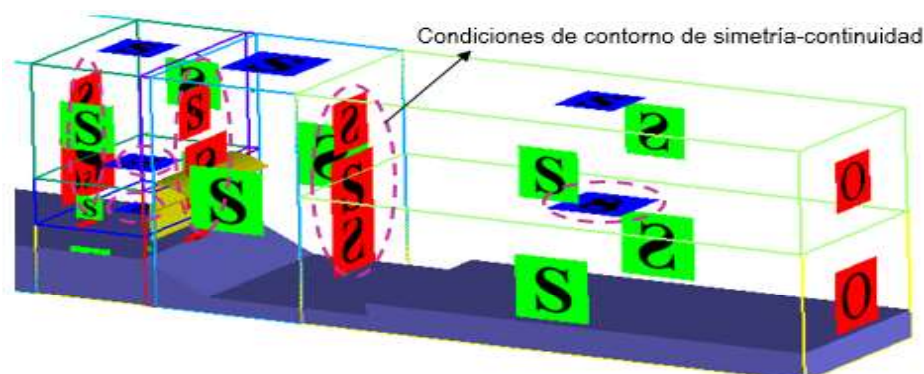


Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

3.2.4.3. Condición de contorno de simetría.

Esta condición la asigna por defecto el programa, en las caras de los bloques adyacentes, la cual da continuidad entre las caras mencionadas, mediante la compartición de datos a través de ellas, basadas en la condición de un gradiente de velocidad igual a cero en la transición de una cara a otra.

Figura 3. 20: Condiciones de contorno de simetría-continuidad del modelo numérico.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

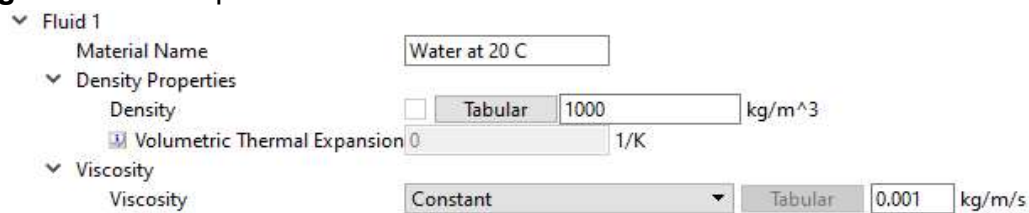
En los contornos sólidos o paredes, cuyas superficies se encuentran en contacto con el fluido, la condición de contorno de pared determina la frontera del espacio

que puede ocupar el líquido en el dominio computacional; en esta frontera el programa establece que el valor de velocidad es igual a cero.

3.2.5. PROPIEDADES DEL FLUIDO ANALIZADO EN EL MODELO NUMÉRICO.

Previa la ejecución de la simulación, se asignan los siguientes parámetros en cuanto a las propiedades del agua a una temperatura de 20 grados centígrados.

Figura 3. 21: Propiedades físicas del fluido analizado en el modelo numérico.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

3.3.CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS DEL MODELO NUMÉRICO CON BASE EN LA INFORMACIÓN DEL MODELO FÍSICO DE PEISSNER (1989).

El proceso de calibración es indispensable previo a la ejecución de pruebas en un modelo numérico, el cual se lleva a cabo con la finalidad de obtener condiciones semejantes a las de un modelo físico; en este último se generan los datos de comparación, los mismos que son obtenidos a partir de mediciones llevadas a cabo durante la ejecución de las pruebas de laboratorio.

Para realizar una modelación numérica, es imprescindible contar con datos tomados en un modelo físico, con la finalidad de comparar los obtenidos en el modelo numérico, y verificar su validez, en tal virtud, en el presente trabajo se han tomado como aspectos principales de calibración y validación de resultados los siguientes elementos:

- Geometría del modelo físico de Peissner descrita en el numeral 3.1.1;

- Diagrama de Naudascher-Castro-Peissner para la distribución de flujo simultáneo superior e inferior en el modelo físico de Peissner.

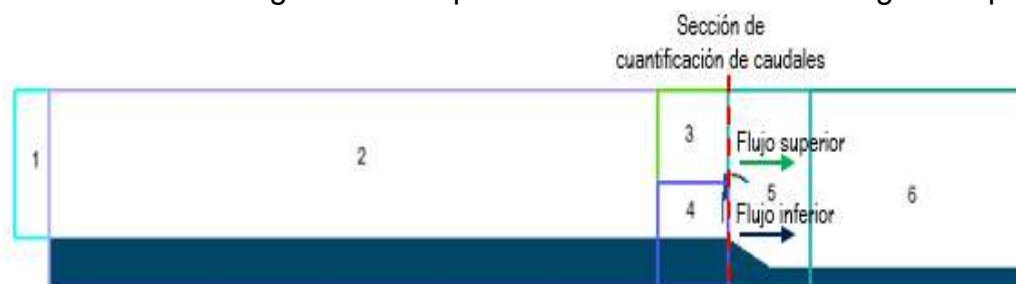
El diagrama de Naudascher-Castro-Peissner elemento fundamental para la validación de los datos obtenidos en el modelo numérico se basa en dos expresiones:

- Número de Froude del flujo en el canal de aproximación;
- Relación h/yo .

En las dos relaciones intervienen los parámetros fundamentales para la calibración del modelo en estudio: **calado del flujo de aproximación y carga sobre el vertedero**, procedentes de las mediciones realizadas en el modelo físico de Peissner, obtenidas a una distancia de 75 centímetros aguas arriba del paramento (Castro e Hidalgo 2002).

Se desarrolló un modelo digital geoméricamente igual a la estación experimental estudiada por Peissner (1989), cuyo corte longitudinal se evidencia en la *figura 3.22*.

Figura 3. 22: Corte longitudinal-bloques de mallado del modelo digital de partida.



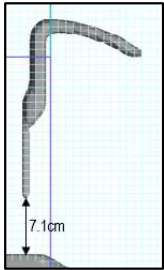
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

El mallado generado a partir de la geometría referida se conformó por 6 bloques, cuyas características se detallan en la *tabla 3.3*.

A partir de este modelo se generaron varios escenarios de calibración, realizando en cada uno de ellos las modificaciones en la geometría detalladas en las *tablas 3.3, 3.4 y 3.5*, particularmente en cuanto a la forma de la compuerta y la clapeta, y el fondo del canal en el tramo aguas abajo de la compuerta, así como también en

el tamaño de malla, con la finalidad de contar con similares condiciones respecto al modelo físico, al emplear la herramienta FAVOR (Fractional Area/Volume Representation) de generación de mallado y geometría del programa Flow-3D, aquella que predispone ciertas limitaciones en función del tamaño de celdas seleccionado para la representación de geometrías complejas.

Tabla 3. 3: Características de los bloques de mallado del modelo digital de partida.

CARACTERÍSTICAS DEL MALLADO									DETALLE DE LA COMPUERTA
ELEMENTO DE MALLADO	COORDENADAS						PROPIEDADES DE LAS CELDAS		
	xi	xf	yi	yf	zi	zf	TAMAÑO	CANTIDAD	
Mesh block1	-0.20	0.00	0.10	0.60	0.24	0.94	0.02	8750	
Mesh block2	0.00	3.60	0.00	0.70	0.00	0.94	0.02	296100	
Mesh block3	3.60	4.01	0.00	0.70	0.50	0.94	0.01	126280	
Mesh block4	3.60	4.01	0.00	0.70	0.00	0.50	0.01	143500	
Mesh block5	4.01	4.50	0.00	0.70	0.00	0.94	0.01	322420	
Mesh block6	4.50	5.76	0.00	0.70	0.00	0.94	0.02	103635	

OBSERVACIÓN: No se incluye el escalón existente aguas abajo de la compuerta.

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

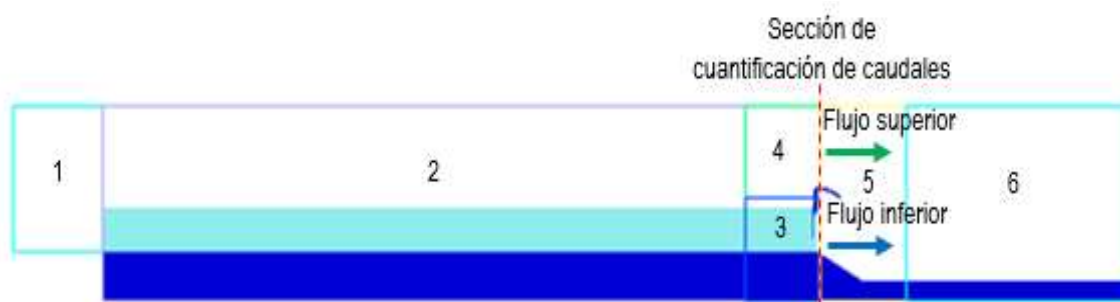
La finalidad de la ejecución de varios escenarios de calibración, es evaluar para cada uno de ellos, los caudales obtenidos, superior e inferior, respectivamente, generados en las secciones de cuantificación de caudales establecidas en el modelo numérico, los cuales han sido comparados con los caudales teóricos obtenidos a partir del diagrama de Naudascher-Castro-Peissner, empleando los calados de aproximación, y la carga sobre el vertedero obtenidos en el modelo numérico. Se generaron siete escenarios de calibración diferentes, antes de obtener resultados similares entre los generados en el modelo numérico y los obtenidos a partir del diagrama de Naudascher-Castro-Peissner. A continuación, se describen los escenarios que involucran las modificaciones más representativas efectuadas para la aceptación del modelo:

3.3.1. ESCENARIO DE CALIBRACIÓN A

Para la ejecución de las pruebas inherentes a este escenario, se incluyó un volumen de agua inicial con la finalidad de reducir el tiempo de llenado del embalse aguas arriba de la compuerta durante la simulación. El objetivo principal en esta

instancia fue determinar el caudal para el cual en la estructura se desarrolla el vertido superior- Luego de la simulación ejecutada, se determinó que dicho valor es igual a 0.05 [m³/s].

Figura 3. 23: Corte longitudinal - bloques de mallado del escenario de calibración A.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba

Tabla 3. 4: Características de los bloques de mallado escenario de calibración A.

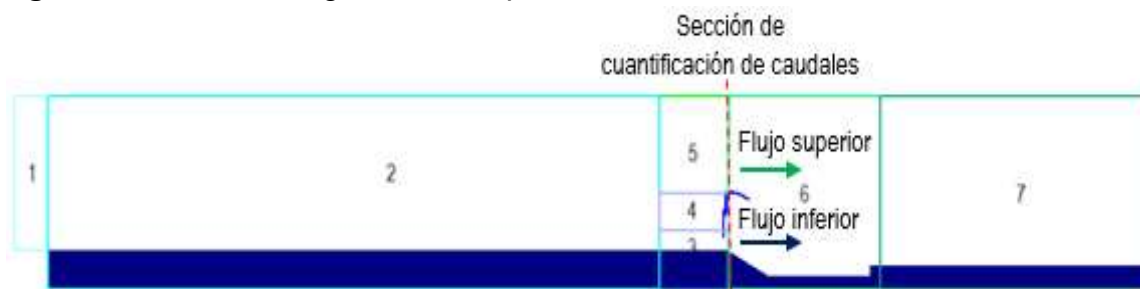
CARACTERÍSTICAS DE MALLADO									DETALLE DE LA COMPUERTA
ELEMENTO DE MALLADO	COORDENADAS						PROPIEDADES DE LAS CELDAS		
	x _i	x _f	y _i	y _f	z _i	z _f	TAMAÑO	CANTIDAD	
Mesh block1	-0.50	0.00	0.10	0.60	0.24	0.94	0.02	21875	
Mesh block2	0.00	3.60	0.00	0.70	0.00	0.94	0.02	296100	
Mesh block3	3.60	4.02	0.00	0.70	0.00	0.50	0.01	147000	
Mesh block4	3.60	4.02	0.00	0.70	0.50	0.94	0.01	129360	
Mesh block5	4.02	4.50	0.00	0.70	0.00	0.94	0.01	315840	
Mesh block6	4.50	5.76	0.00	0.70	0.00	0.94	0.02	103635	

OBSERVACIÓN: No se incluye el escalón existente aguas abajo de la compuerta.

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

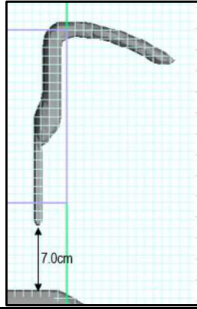
3.3.2. ESCENARIO DE CALIBRACIÓN B

Una vez obtenidas las condiciones de flujo simultaneo superior e inferior, se incluyó en la geometría el escalón aguas abajo de la estructura de control, con la finalidad de generar condiciones similares a las del modelo físico.

Figura 3. 24: Corte longitudinal-bloques de mallado del escenario de calibración B.

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla 3. 5: Características de los bloques de mallado escenario de calibración B.

CARACTERÍSTICAS DE MALLADO								DETALLE DE LA COMPUERTA	
ELEMENTO DE MALLADO	COORDENADAS						PROPIEDADES DE LAS CELDAS		
	xi	xf	yi	yf	zi	zf	TAMAÑO	CANTIDAD	
Mesh block1	-0.20	0.00	0.10	0.60	0.20	1.00	0.02	10000	
Mesh block2	0.00	3.60	0.00	0.70	0.00	1.00	0.02	315000	
Mesh block3	3.60	4.01	0.00	0.70	0.00	0.30	0.01	86100	
Mesh block4	3.60	4.01	0.00	0.70	0.30	0.50	0.01	57400	
Mesh block5	3.60	4.01	0.00	0.70	0.50	1.00	0.01	143500	
Mesh block6	4.01	4.90	0.00	0.70	0.00	1.00	0.02	623000	
Mesh block7	4.90	6.50	0.00	0.70	0.00	1.00	0.02	140000	
OBSERVACIONES:	Se ha incluido el escalón existente aguas abajo de la compuerta. Se generó un bloque de mallado adicional con la finalidad de aislar las secciones de cuantificación de caudales								

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Al momento de emplear la herramienta FAVOR, se evidenció que el labio inferior de la compuerta plana vertical no era correctamente caracterizado, pues se omitía un tramo de 1.1 cm, lo que ocasionó que la compuerta tenga una abertura de 7.0 cm. Considerando que el modelo numérico fue analizado con una abertura de la compuerta de 6 cm, fue necesario realizar un refinamiento de la geometría digital en ese sector.

3.3.3. ESCENARIO DE CALIBRACIÓN C

En esta etapa se generaron bloques adicionales de mallado, con el propósito de contar con secciones adicionales de cuantificación de caudales, para evaluar la variación de los mismos en secciones separadas 4 cm entre sí, y establecer si existe similitud entre las cuantificaciones realizadas.

Figura 3. 25: Corte longitudinal-bloques de mallado del escenario de calibración C.

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba

Tabla 3. 6: Características de los bloques de mallado-escenario de calibración C.

CARACTERÍSTICAS DE MALLADO								DETALLE DE LA COMPUERTA	
ELEMENTO DE MALLADO	COORDENADAS						PROPIEDADES DE LAS CELDAS		
	xi	xf	yi	yf	zi	zf	TAMAÑO	CANTIDAD	
Mesh block1	-0.20	0.00	0.10	0.60	0.20	1.00	0.02	10000	
Mesh block2	0.00	3.60	0.00	0.70	0.00	1.00	0.02	315000	
Mesh block3	3.60	4.01	0.00	0.70	0.00	0.30	0.01	86100	
Mesh block4	3.60	4.01	0.00	0.70	0.30	0.50	0.01	57400	
Mesh block5	3.60	4.01	0.00	0.70	0.50	1.00	0.01	143500	
Mesh block6	4.01	4.05	0.00	0.70	0.00	0.50	0.01	14000	
Mesh block7	4.01	4.05	0.00	0.70	0.50	1.00	0.01	14000	
Mesh block8	4.05	4.60	0.00	0.70	0.00	1.00	0.01	385000	
Mesh block9	4.60	6.50	0.00	0.70	0.00	0.55	0.02	93100	
Mesh block10	4.60	6.50	0.00	0.70	0.55	1.00	0.02	73150	
OBSERVACIONES:	Se ha incluido el escalón existente aguas abajo de la compuerta. Se generó un bloque de mallado adicional con la finalidad de aislar las secciones de cuantificación de caudales								

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

En cada uno de los escenarios se realizaron pruebas con caudales diferentes, en estas se cuantificaron los parámetros fundamentales para la calibración del modelo, a partir de los cuales, se calcularon los valores de las dos expresiones en las que se basa el diagrama de Naudascher-Castro-Peissner, para la obtención de los porcentajes de descarga superior, e inferior, respectivamente, a los que nos referiremos como valores teóricos de descarga.

Adicionalmente, en el modelo numérico se realizó la cuantificación de los caudales que fluyen por las secciones de interés: sobre la clapeta, y bajo la compuerta, respectivamente, a los que llamaremos valores numéricos de descarga.

Una vez conseguidos los valores de descarga (teóricos y numéricos) para cada prueba ejecutadas en cada uno de los escenarios de calibración, se realizó la comparación de los mismos, identificando cuáles de ellos tienen menores diferencias porcentuales entre ellos. En las *tablas 3.7 a 3.10*, se evidencian los resultados obtenidos:

Tabla 3. 7: Resultados de pruebas realizadas en el modelo digital de partida.

RESULTADOS MODELO NUMÉRICO DE BOHÓRQUEZ-MODELO DIGITAL DE PARTIDA										
Prueba	Q	Qa	Qb	q	qa	qb	h	yo	h/yo	Fr
[-]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]/m	[m ³ /s]/m	[m ³ /s]/m	[m]	[m]	[-]	[-]
MP-A	0.075	0.0135	0.0622	0.1514	0.0269	0.1245	0.0604	0.3704	0.163	0.214
MP-B	0.100	0.0343	0.0671	0.2027	0.0686	0.1341	0.0915	0.4015	0.228	0.254
MP-C	0.145	0.0714	0.0697	0.2823	0.1429	0.1395	0.1382	0.4482	0.308	0.300

RESULTADOS CALCULADOS MEDIANTE EL DIAGRAMA DE NAUDASCHER-CASTRO-PEISSNER

FLUJO SUPERIOR			
Prueba	qa/q (num)	qa/q (teor)	Diferenc
[-]	[-]	[-]	[%]
MP-A	0.178	0.250	40.6%
MP-B	0.338	0.358	5.8%
MP-C	0.506	0.393	-22.3%

FLUJO INFERIOR			
Prueba	qb/q (num)	qb/q (teor)	Diferenc
[-]	[-]	[-]	[%]
MP-A	0.822	0.750	-8.8%
MP-B	0.662	0.642	-3.0%
MP-C	0.494	0.607	22.9%

Valores calculados con base en las cuantificaciones del modelo numérico (h, Yo)

COMPARACIÓN RESULTADOS MODELO NUMÉRICO VS MODELO FÍSICO

Prueba	Q	FLUJO SUPERIOR			Prueba	Q	FLUJO INFERIOR		
		Qa (num)	Qa (teor)	Diferenc			Qb (num)	Qb (teor)	Diferenc
[-]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	[%]	[-]	[l/s]	[l/s]	[%]	
MP-A	80.00	13.458	18.926	40.63%	MP-A	80.00	62.245	56.778	-0.088
MP-B	100.00	34.276	36.281	5.85%	MP-B	100.00	67.068	65.063	-0.03
MP-C	145.00	71.436	55.48	-22.34%	MP-C	145.00	69.736	85.691	0.228

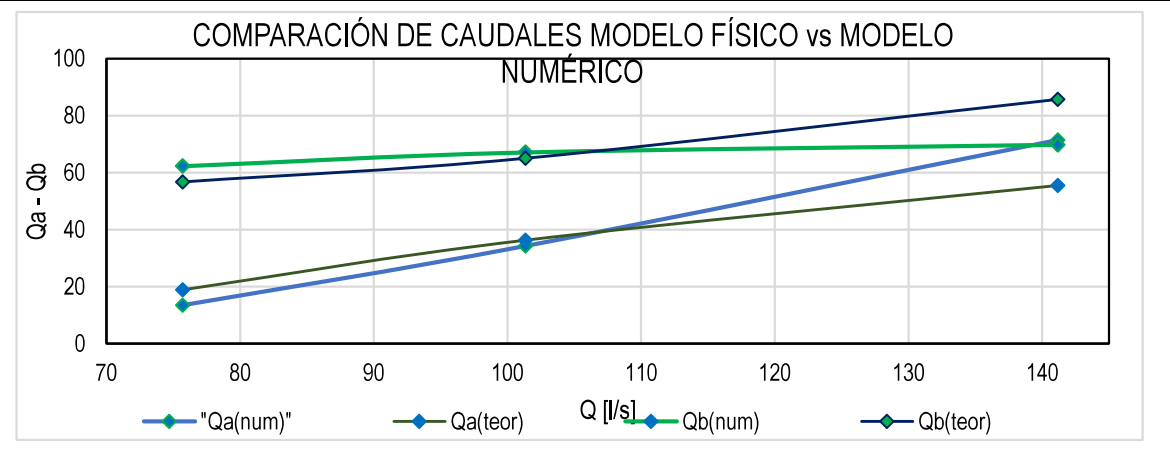
Q = Sumatoria Qa+Qb

(num) Valores cuantificados en el modelo numérico

Qa = Caudal flujo superior

(teor) Valores calculados con el Diagrama N-C-P

Qb = Caudal flujo inferior

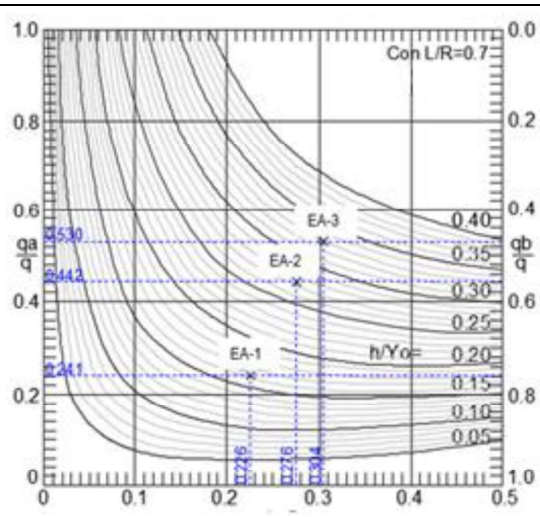
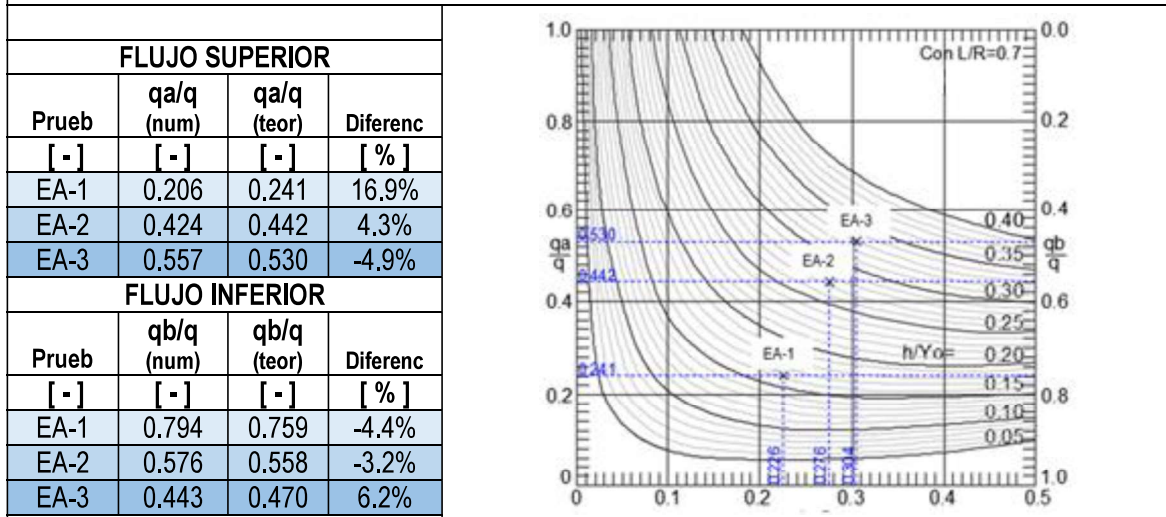


Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla 3. 8: Resultados de pruebas realizadas en el modelo del escenario de calibración A.

RESULTADOS MODELO NUMÉRICO DE BOHÓRQUEZ - ESCENARIO DE CALIBRACIÓN A										
Prueb	Q	Qa	Qb	q	qa	qb	h	yo	h/yo	Fr
[-]	[m3/s]	[m3/s]	[m3/s]	[m3/s]/m	[m3/s]/m	[m3/s]/m	[m]	[m]	[-]	[-]
EA-1	0.080	0.016	0.063	0.159	0.033	0.1264	0.06	0.37	0.162	0.226
EA-2	0.120	0.051	0.069	0.241	0.102	0.1390	0.117	0.427	0.274	0.276
EA-3	0.150	0.083	0.066	0.299	0.167	0.1326	0.152	0.462	0.329	0.304

RESULTADOS CALCULADOS MEDIANTE EL DIAGRAMA DE NAUDASCHER-CASTRO-PEISSNER



Valores calculados con base en las cuantificaciones del modelo numérico (h, Yo)

COMPARACIÓN RESULTADOS MODELO NUMÉRICO VS MODELO FÍSICO

Prueba	Q	FLUJO SUPERIOR			Prueba	Q	FLUJO INFERIOR		
		Qa (num)	Qa (teor)	Diferenc			Qb (num)	Qb (teor)	Diferenc
[-]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	[%]	[-]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	[%]
EA-1	80.00	16.430	19.20	16.87%	EA-1	80.00	63.24	60.47	-4.38%
EA-2	120.00	51.088	53.31	4.35%	EA-2	120.00	69.52	67.30	-3.20%
EA-3	150.00	83.486	79.40	-4.89%	EA-3	150.00	66.32	70.41	6.16%

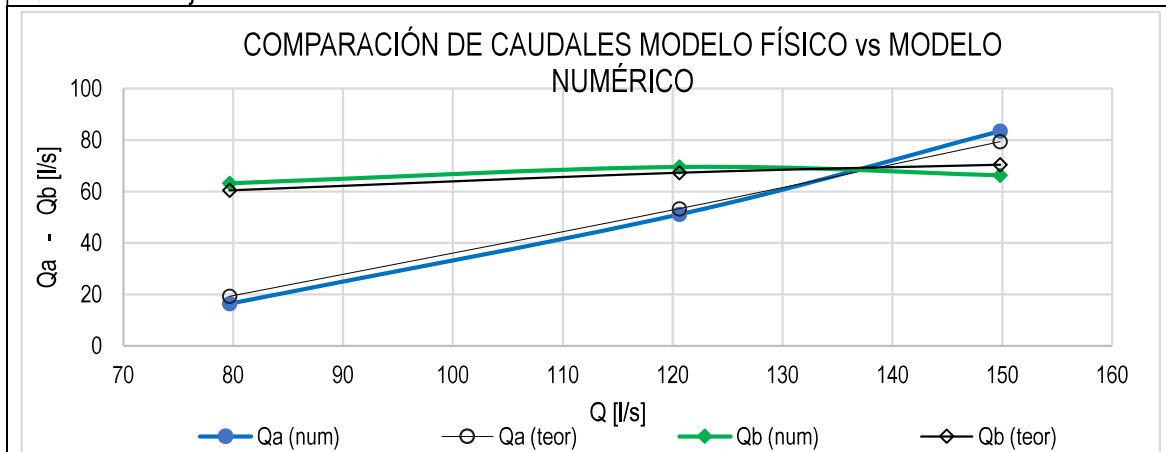
Q = Sumatoria Qa+Qb

(num): Valores cuantificados en el modelo numérico

Qa = Caudal flujo superior

(teor): Valores calculados con el Diagrama N-C-P

Qb = Caudal flujo inferior



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla 3. 9: Resultados de pruebas realizadas en el modelo del escenario de calibración B.

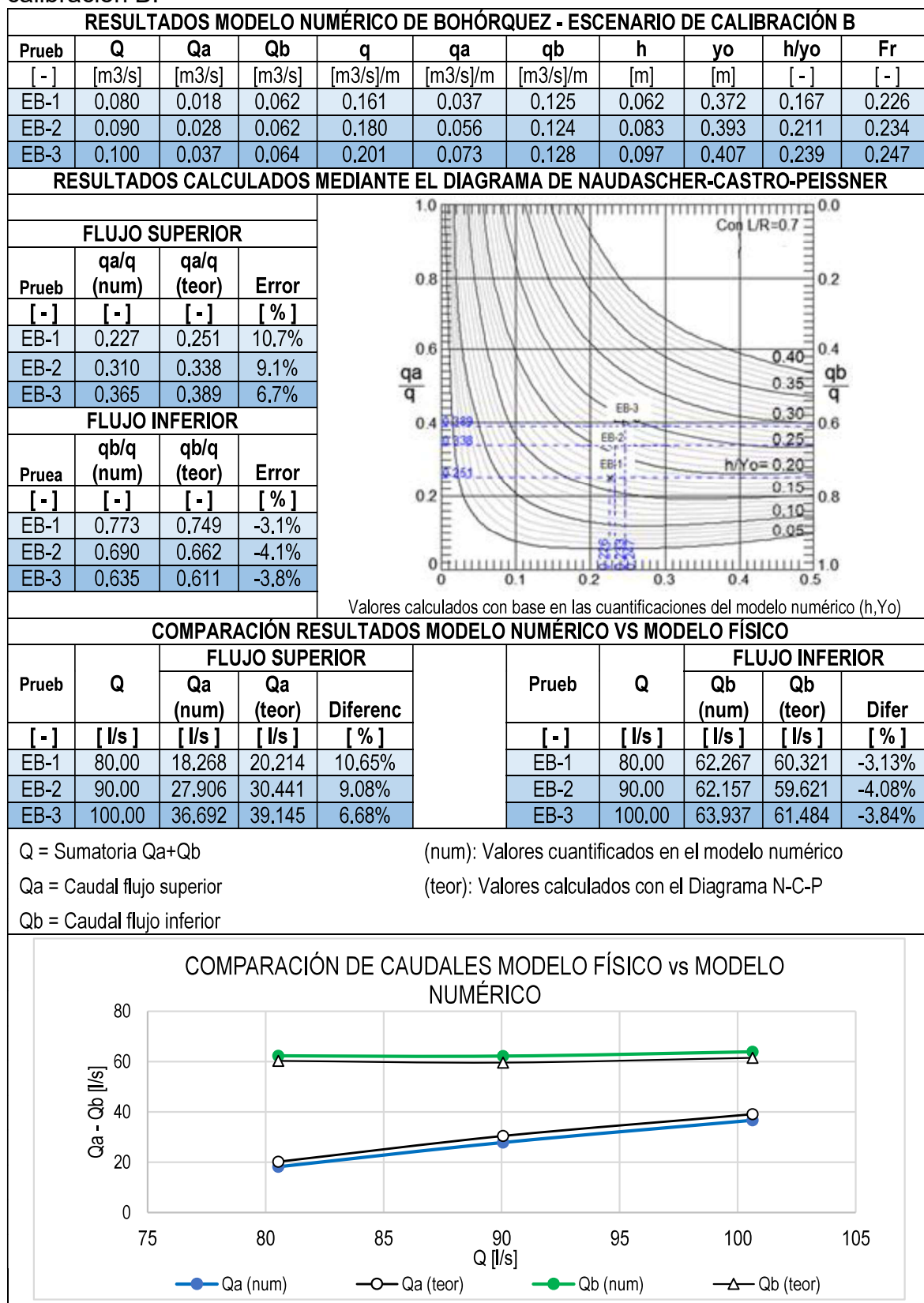


Tabla 3. 10: Resultados de pruebas realizadas en el modelo del escenario de calibración C.

RESULTADOS MODELO NUMÉRICO DE BOHÓRQUEZ - ESCENARIO DE CALIBRACIÓN C										
Prueb	Q	Qa	Qb	q	qa	qb	h	yo	h/yo	Fr
[-]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]/m	[m ³ /s]/m	[m ³ /s]/m	[m]	[m]	[-]	[-]
EC-1	0.080	0.029	0.051	0.160	0.057	0.103	0.086	0.396	0.218	0.205
EC-2	0.130	0.075	0.055	0.260	0.151	0.109	0.155	0.465	0.333	0.262
EC-3	0.150	0.096	0.054	0.300	0.191	0.108	0.177	0.487	0.364	0.282
RESULTADOS CALCULADOS MEDIANTE EL DIAGRAMA DE NAUDASCHER-CASTRO-PEISSNER										
FLUJO SUPERIOR										
Prueb	qa/q (num)	qa/q (teor)	Error							
[-]	[-]	[-]	[%]							
EC-1	0.359	0.384	7.0%							
EC-2	0.580	0.588	1.4%							
EC-3	0.638	0.632	-1.0%							
FLUJO INFERIOR										
Prueb	qb/q (num)	qb/q (teor)	Error							
[-]	[-]	[-]	[%]							
EC-1	0.641	0.616	-3.9%							
EC-2	0.420	0.412	-1.9%							
EC-3	0.362	0.368	1.7%							
COMPARACIÓN RESULTADOS MODELO NUMÉRICO VS MODELO FÍSICO										
Prueb	Q	FLUJO SUPERIOR			Prueb	Q	FLUJO INFERIOR			
		Qa (num)	Qa (teor)	Diferen c			Qb (num)	Qb (teor)	Dif	
[-]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	[%]	[-]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	[%]	
EC-1	80.00	28.70	30.72	-3.93%	EC-1	80.00	51.30	49.277	-3.93%	
EC-2	130.0	75.44	76.46	-1.87%	EC-2	130.0	54.60	53.574	-1.87%	
EC-3	150.0	95.68	94.75	1.72%	EC-3	150.0	54.23	55.170	1.72%	
Q = Sumatoria Qa+Qb					(num): Valores cuantificados en el modelo numérico					
Qa = Caudal flujo superior					(teor): Valores calculados con el Diagrama N-C-P					
Qb = Caudal flujo inferior										
COMPARACIÓN DE CAUDALES MODELO FÍSICO vs MODELO NUMÉRICO										

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

En la *tabla 3.11*, se resumen los resultados obtenidos en los escenarios de calibración, los cuales muestran la diferencia entre los generados en el modelo numérico comparados con los obtenidos en el modelo físico de Peissner (1989), en base al diagrama de Naudascher-Peissner-Castro.

Tabla 3. 11: Resumen de resultados obtenidos en los escenarios de calibración.

RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ESCENARIOS DE CALIBRACIÓN								
PRUEBA	Q[m³/s]	q	qa/q (num)	qa/q (teor)	Diferencia	qb/q (num)	qa/q (teor)	Diferencia
	[m ³ /s]	[m ³ /s]/m	[-]	[-]	[%]	[-]	[-]	[%]
MODELO DIGITAL DE PARTIDA								
MP -A	0.075	0.1514	0.178	0.25	40.60%	0.822	0.75	-8.80%
MP -B	0.100	0.2027	0.338	0.358	5.80%	0.662	0.642	-3.00%
MP -C	0.145	0.2823	0.506	0.393	-22.30%	0.494	0.607	22.90%
ESCENARIO DE CALIBRACIÓN 1								
EA-1	0.080	0.159	0.206	0.241	16.90%	0.794	0.759	-4.40%
EA-2	0.120	0.241	0.424	0.442	4.30%	0.576	0.558	-3.20%
EA-3	0.150	0.299	0.557	0.53	-4.90%	0.443	0.47	6.20%
ESCENARIO DE CALIBRACIÓN 2								
EB-1	0.080	0.161	0.227	0.251	10.70%	18.268	20.214	10.65%
EB-2	0.090	0.18	0.31	0.338	9.10%	27.906	30.441	9.08%
EB-3	0.100	0.201	0.365	0.389	6.70%	36.692	39.145	6.68%
ESCENARIO DE CALIBRACIÓN 3								
EC-1	0.080	0.16	0.359	0.384	7.00%	0.641	0.616	-3.90%
EC-2	0.130	0.26	0.58	0.588	1.40%	0.42	0.412	-1.90%
EC-3	0.150	0.3	0.638	0.632	-1.00%	0.362	0.368	1.70%

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba

Se evidencia que, las modificaciones realizadas en la geometría y en el mallado, descritas anteriormente, han permitido contar con una diferencia máxima del 7% en el escenario de calibración C, por lo tanto, se concluye que las condiciones generadas en el modelo numérico, son similares a las obtenidas por Peissner en su modelo físico, en tal virtud, se adoptan las condiciones geométricas y de mallado des escenario de calibración C, para la ejecución de las pruebas posteriores.

3.3.4. SELECCIÓN DEL MODELO DE TURBULENCIA

Una vez establecidas las características definitivas del modelo numérico, previa la selección de los modelo de turbulencia, se realizaron simulaciones empleando de manera independiente, dos modelos cuyas características descritas en el numeral 2.1.9.3, permiten obtener una representación más precisa de los fenómenos turbulentos en el flujo cercano a las paredes, como es el caso que se manifiesta en

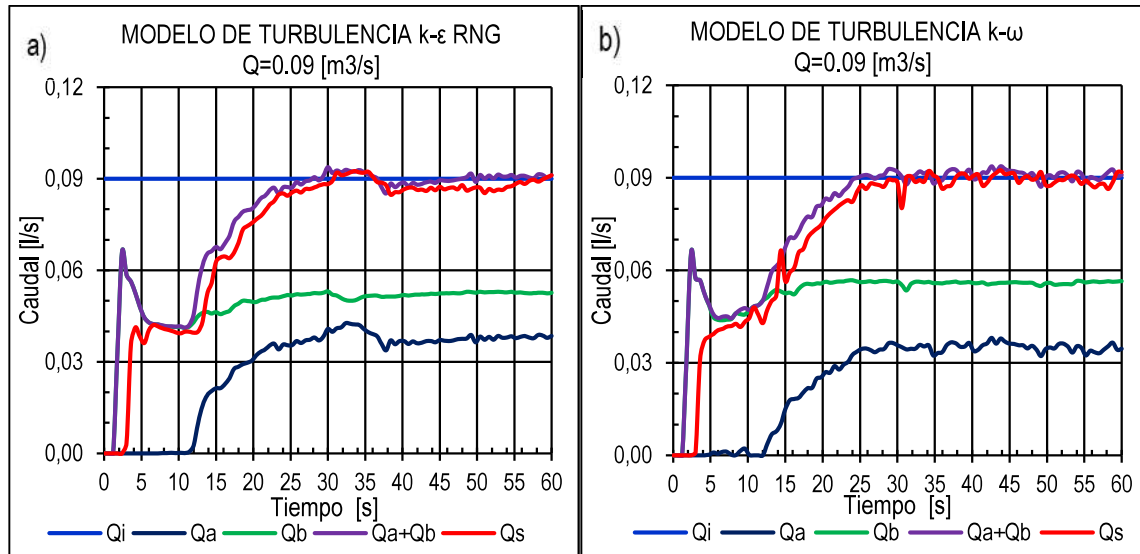
el modelo numérico objeto del presente estudio, y logran representar adecuadamente los flujos turbulentos de menor intensidad, lo cual los convierte en modelos más robustos, respecto a otros existentes, para la solución del modelo numérico estudiado: el modelo $k-\varepsilon$ RNG y el modelo $k-\omega$. Lo indicado se realizó con la finalidad de comparar los resultados conseguidos con los dos modelos, al aplicarlos de manera independiente, con los calculados en base al diagrama de Naudascher-Castro-Peissner, que como se indicó en el numeral 3.1.3, permite obtener los caudales de descarga superior e inferior, respectivamente en el modelo físico de Peissner (1989), por lo tanto constituye la herramienta fundamental de validación de resultados obtenidos en el modelo numérico, los cuales se resumen en las tablas 3.12 y 3.13.

En los *gráficos 3.1 a 3.3*, respectivamente, se evidencian los gastos que ingresan al dominio computacional, las variaciones de los gastos que atraviesan las secciones de cuantificación de caudales y el caudal que sale del dominio, para cada instante de las simulaciones realizadas, las cuales se llevaron a cabo empleando dos modelos de turbulencia diferentes para un mismo caudal de ingreso: el modelo $k-\varepsilon$ RNG, y el modelo $k-\omega$. En estos gráficos se evidencia que los caudales producto de las simulaciones realizadas con el modelo $k-\varepsilon$ RNG, presentan menos oscilaciones que los generados con el modelo $k-\omega$. Los registros en base a los que fueron elaborados los *gráficos 3.1 a 3.3*, se exponen en el *anexo B*.

Adicionalmente, en las *tablas 3.12, y 3.13*, respectivamente, se detallan los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas con los dos modelos de turbulencia referidos.

De los datos tabulados se desprende que el modelo de turbulencia $k-\varepsilon$ RNG entrega resultados semejantes respecto a los calculados con el diagrama de Naudascher-Castro-Peissner, cuyos valores difieren en máximo 7%, en base a los parámetros “h”, “yo” obtenidos en la simulación numérica, no así el modelo de turbulencia $k-\omega$, cuyos valores difieren en mayores porcentajes. Por lo indicado, se selecciona el modelo $k-\varepsilon$ RNG para la ejecución de la modelación numérica de las pruebas posteriores.

Gráfico 3. 1: Registro histórico de Caudales en el dominio computacional para selección del modelo de turbulencia – Prueba $Q = 0.9$ [m³/s].



Q_i = Caudal de ingreso al dominio computacional (a través de la condición de contorno de entrada).

Q_a = Caudal de descarga superior (sobre la clapeta).

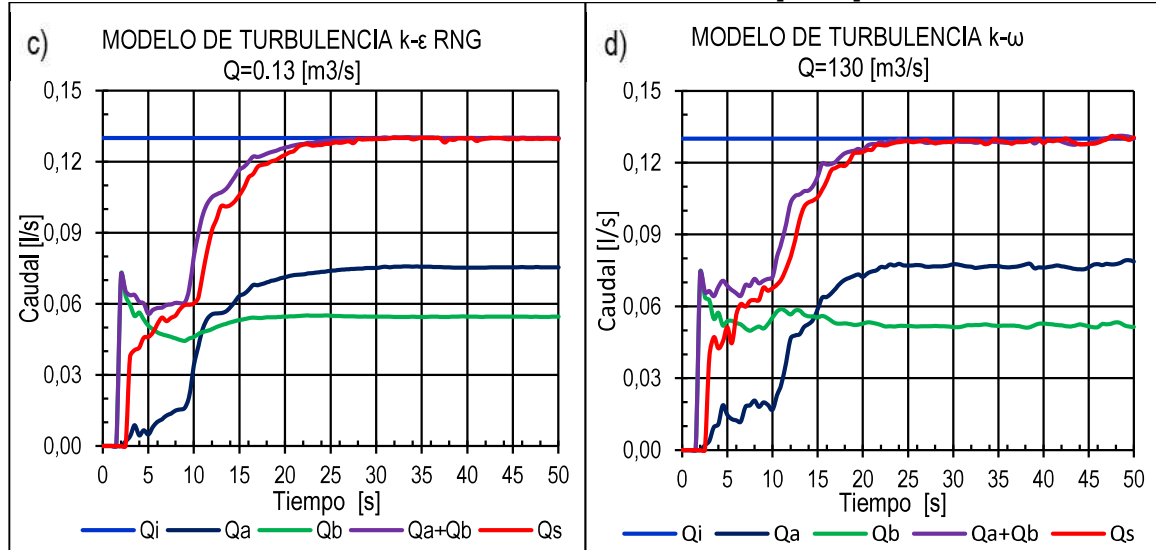
Q_b = Caudal de descarga inferior (bajo la compuerta).

Q_a+Q_b = Sumatoria de los caudales de descarga superior e inferior.

Q_o = Caudal de salida del dominio computacional (a través de la condición de contorno de salida).

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 3. 2: Registro histórico de Caudales en el dominio computacional para selección del modelo de turbulencia – Prueba $Q = 0.13$ [m³/s].



Q_i = Caudal de ingreso al dominio computacional (a través de la condición de contorno de entrada).

Q_a = Caudal de descarga superior (sobre la clapeta).

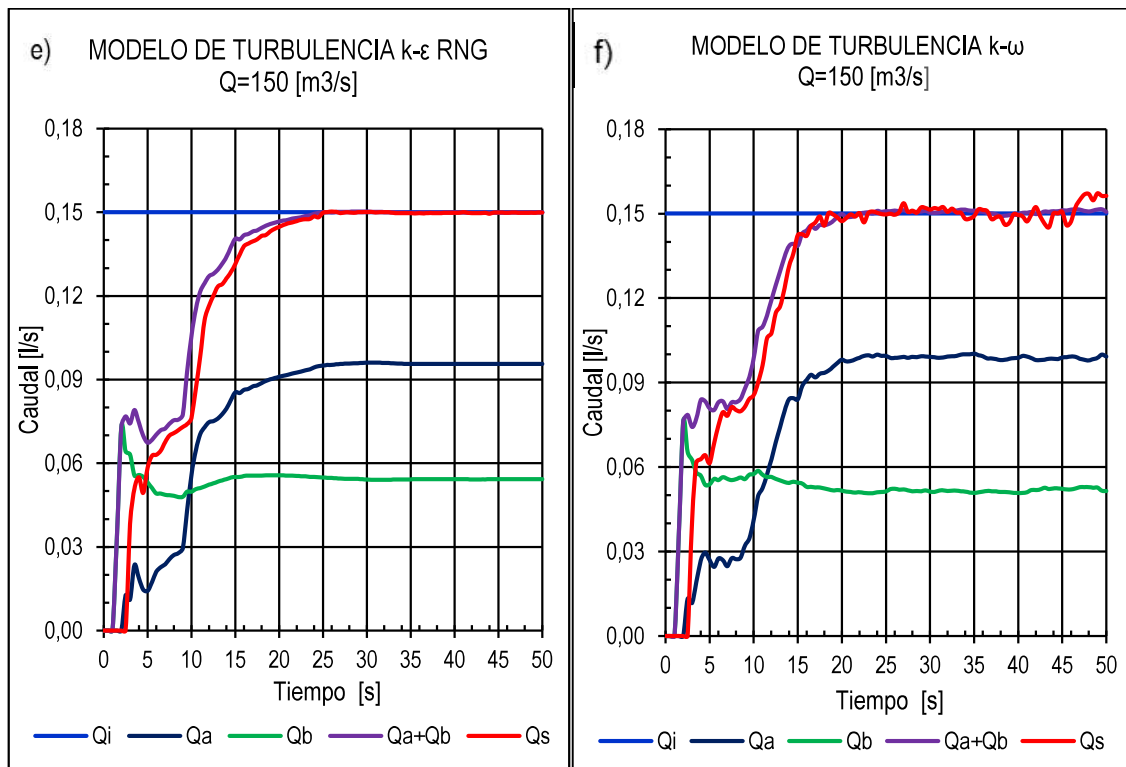
Q_b = Caudal de descarga inferior (bajo la compuerta).

Q_a+Q_b = Sumatoria de los caudales de descarga superior e inferior.

Q_o = Caudal de salida del dominio computacional (a través de la condición de contorno de salida).

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 3. 3: Registro histórico de Caudales en el dominio computacional para selección del modelo de turbulencia - Prueba $Q = 0.15$ [m³/s].



Qi= Caudal de ingreso al dominio computacional (a través de la condición de contorno de entrada).
 Qa= Caudal de descarga superior (sobre la clapeta).
 Qb= Caudal de descarga inferior (bajo la compuerta).
 Qa+Qb= Sumatoria de los caudales de descarga superior e inferior.
 Qo= Caudal de salida del dominio computacional (a través de la condición de contorno de salida).

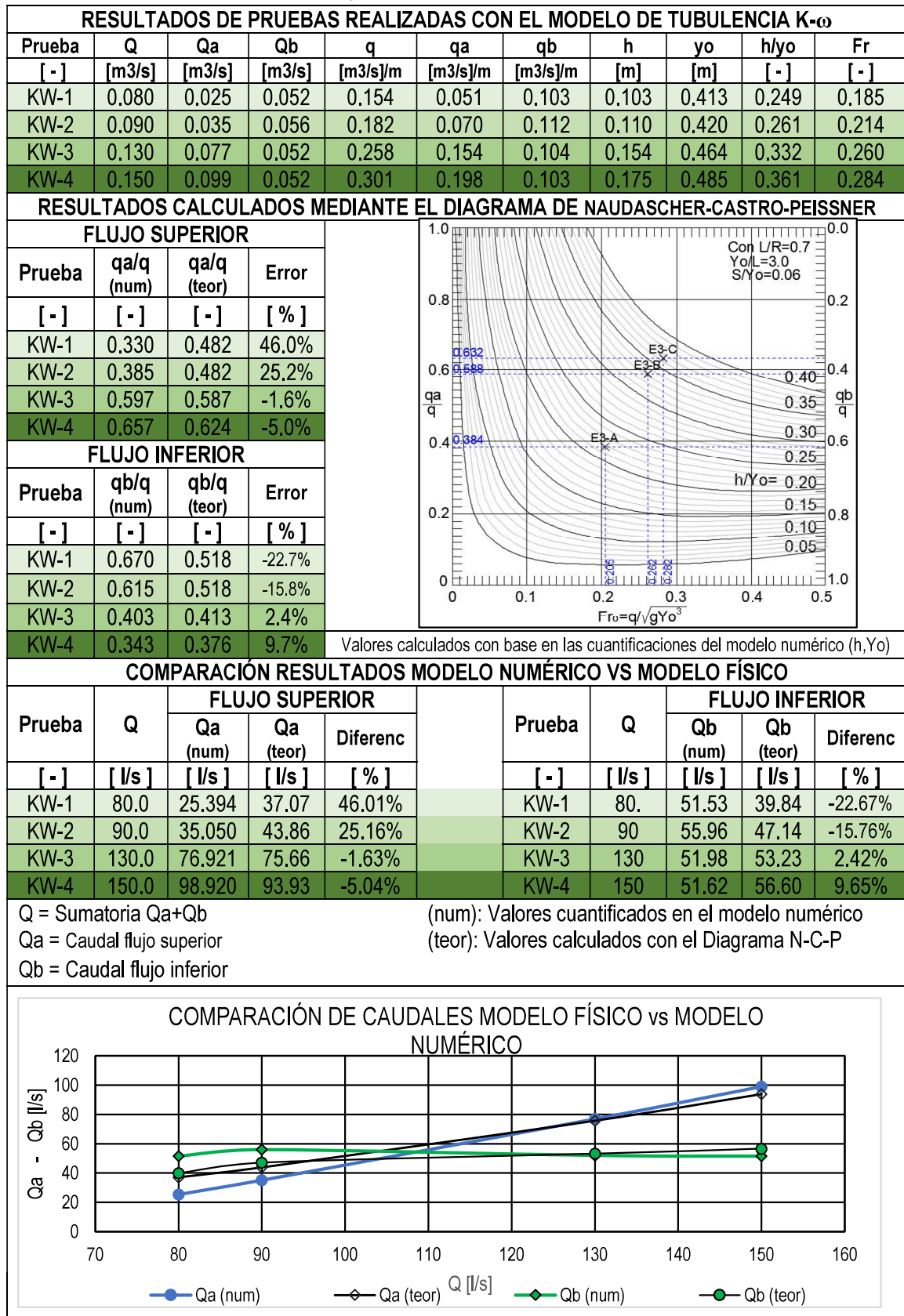
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla 3. 12: Resultados de pruebas realizadas con el modelo de turbulencia k-ε RNG.

RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS CON EL MODELO DE TUBULENCIA K-ε RNG										
Prueb	Q	Qa	Qb	q	qa	qb	h	yo	h/yo	Fr
[-]	[m3/s]	[m3/s]	[m3/s]	[m3/s/m]	[m3/s/m]	[m3/s/m]	[m]	[m]	[-]	[-]
KE-1	0.080	0.029	0.051	0.160	0.057	0.103	0.086	0.396	0.218	0.205
KE-2	0.090	0.037	0.053	0.180	0.075	0.105	0.103	0.413	0.250	0.217
KE-3	0.130	0.075	0.055	0.260	0.151	0.109	0.155	0.465	0.333	0.262
KE-4	0.150	0.096	0.054	0.300	0.191	0.108	0.177	0.487	0.364	0.282
RESULTADOS CALCULADOS MEDIANTE EL DIAGRAMA DE NAUDASCHER-CASTRO-PEISSNER										
FLUJO SUPERIOR										
Prueb	qa/q (num)	qa/q (teor)	Error							
[-]	[-]	[-]	[%]							
KE-1	0.359	0.384	7.0%							
KE-2	0.416	0.446	7.1%							
FLUJO INFERIOR				Valores calculados con base en las cuantificaciones del modelo numérico (h, Yo)						
Prueb	qb/q (num)	qb/q (teor)	Error							
[-]	[-]	[-]	[%]							
KE-1	0.641	0.616	-3.9%							
KE-2	0.584	0.554	-5.1%							
KE-3	0.420	0.412	-1.9%							
KE-4	0.362	0.368	1.7%							
COMPARACIÓN RESULTADOS MODELO NUMÉRICO VS MODELO FÍSICO										
Prueb	Q	FLUJO SUPERIOR			Prueb	Q	FLUJO INFERIOR			
		Qa (num)	Qa (teor)	Diferenc			Qb (num)	Qb (teor)	Diferenc	
[-]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	[%]	[-]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	[%]	
KE-1	79.99	28.70	30.72	7.03%	KE-1	79.99	51.29	49.27	-3.93%	
KE-2	130.03	75.44	76.46	7.09%	KE-2	90.02	52.53	49.87	-5.06%	
KE-3	130.03	75.44	76.46	1.36%	KE-3	130.03	54.59	53.57	-1.87%	
KE-4	149.92	95.68	94.75	-0.98%	KE-4	149.92	54.23	55.17	1.72%	
Q = Sumatoria Qa+Qb Qa = Caudal flujo superior Qb = Caudal flujo inferior					(num): Valores cuantificados en el modelo numérico (teor): Valores calculados con el Diagrama N-C-P					
COMPARACIÓN DE CAUDALES MODELO FÍSICO vs MODELO NUMÉRICO										

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla 3. 13: Resultados de las pruebas realizadas con el modelo de turbulencia k- ω .



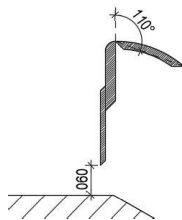
3.4. ESCENARIOS DE OPERACIÓN

Conforme a lo indicado en el numeral 1.2.3 (alcance), para el planteamiento de los escenarios de operación, se consideraron únicamente modificaciones en las condiciones de abertura de la compuerta inferior, y la clapeta superior, respectivamente, y, en cada uno de ellos se realizaron simulaciones con varios caudales, que están comprendidos entre los 0.05 [m³/s], y los 0.200 [m³/s].

3.4.1. ESCENARIO NORMAL DE OPERACIÓN

Al escenario normal le corresponden las condiciones de la sección de control analizada por Peissner (1989), en la cual la compuerta inferior tiene una abertura de 6 centímetros, medidos desde el fondo del canal, y la clapeta superior se encuentra abierta totalmente, como se exhibe en la *figura 3.26*.

Figura 3. 26: Condiciones de abertura de la sección de control - escenario normal de operación



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba

Se realizaron seis simulaciones (pruebas), cuya variante única es el caudal de ingreso al dominio computacional (Q_i), conforme a lo indicado en la *tabla 3.14*, con la finalidad de evaluar los valores de las descargas simultáneas superior e inferior que se presentan en cada una de ellas, respectivamente.

Tabla 3. 14: Caudales ensayados en las simulaciones efectuadas en el escenario de operación normal.

CAUDALES ENSAYADOS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL	
PRUEBA	Q_i [m ³ /s]
EN-1	0.05
EN-2	0.07
EN-3	0.09
EN-4	0.11
EN-5	0.13
EN-6	0.15

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba

Los escenarios posteriores han sido desarrollados bajo la premisa de que, estableciendo condiciones propicias en el modelo numérico: al realizar una correcta caracterización geométrica del sistema, conjuntamente con un adecuado proceso de mallado, y la selección de un modelo de turbulencia apropiado, se puede generar una muy buena representación de los fenómenos hidráulicos que se desarrollan en el sistema.

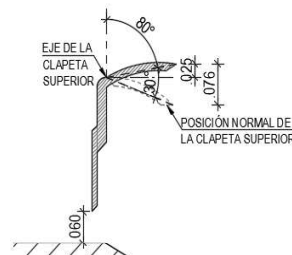
De este modo, al haber determinado que las consideraciones al respecto, adoptadas en el modelo numérico que caracteriza las condiciones de operación normales, estudiadas por Peissner (1989), se asume que al desarrollar modelos numéricos de similares características, se obtendrán resultados suficientemente representativos.

Esta afirmación se realiza en virtud de que, como se verá posteriormente, los resultados obtenidos en escenario normal de operación, han sido debidamente validados mediante el cálculo de caudales de descarga obtenidos del diagrama de Naudascher-Castro-Peissner, sin embargo, no se cuenta con datos de comparación procedentes de una modelación física con condiciones como las descritas en los escenarios posteriores.

3.4.2. ESCENARIO DE OPERACIÓN “A”.

La condición general de este escenario, es la variación de la abertura de la clapeta superior de la compuerta-vertedero, la cual se ha rotado 30° alrededor de su eje de sujeción, como se observa en la *figura 3.27*. La abertura de la compuerta inferior se mantiene en 6 centímetros, medidos desde el fondo del canal.

Figura 3. 27: Condiciones de abertura de la sección de control - escenario de operación “A”.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

En este escenario también se realizaron 6 simulaciones, variando el caudal de ingreso al dominio computacional, como se muestra en la tabla 3.15. Se han descartado escenarios con caudales de ingreso menores, en virtud de que, al contar con caudales inferiores, no se produce la descarga simultánea superior e inferior.

Tabla 3. 15: Caudales ensayados en las simulaciones efectuadas en el escenario de operación “A”.

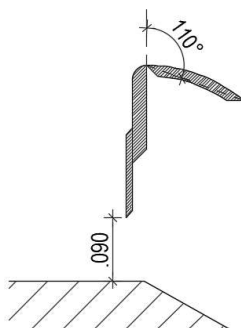
CAUDALES ENSAYADOS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN A.	
PRUEBA	Qi [m3/s]
EA-1	0.075
EA-2	0.100
EA-3	0.125
EA-4	0.150
EA-5	0.175
EA-6	0.200

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

3.4.3. ESCENARIO DE OPERACIÓN “B”.

En este escenario, se modificó la abertura de la compuerta inferior, la cual tiene un valor de 9 centímetros medidos desde el fondo del canal, mientras que, la clapeta superior se mantuvo en su posición normal (totalmente abierta). Las características de abertura de la compuerta-vertedero para este escenario de operación, se muestran en la *figura 3.28*.

Figura 3. 28: Condiciones de abertura de la sección de control - escenario de operación “B”



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

En este escenario igualmente se realizaron 6 simulaciones, con variaciones en el caudal de ingreso al dominio computacional, como se muestra en la tabla 3.16. Del

mismo modo que en el escenario previo, se descartaron caudales de ingreso menores que 0.75 m³/s, puesto que no generan descarga simultánea superior e inferior.

Tabla 3. 16: Caudales ensayados en las simulaciones efectuadas en el escenario de operación “B”.

CAUDALES ENSAYADOS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN B	
PRUEBA	Qi [m³/s]
EB-1	0.075
EB-2	0.100
EB-3	0.125
EB-4	0.150
EB-5	0.175
EB-6	0.200

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

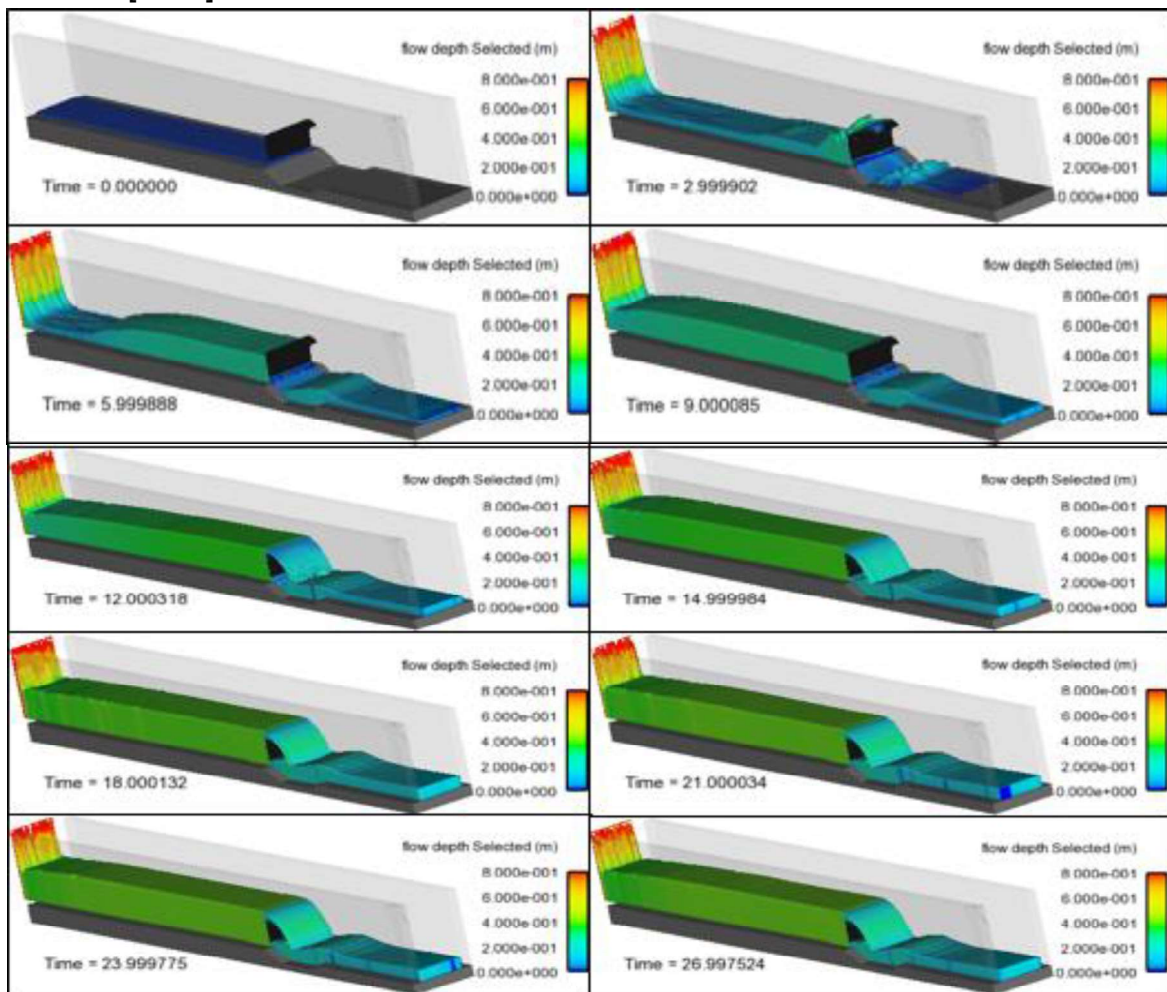
3.5. PARÁMETROS REFERIDOS EN EL ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ESCENARIOS DE OPERACIÓN.

3.5.1. CONSIDERACIONES PREVIAS.

Las simulaciones se realizaron con duraciones variables, considerando que, al tener una zona de aproximación de 4 metros de longitud (ver numeral 3.2.2.1), es necesario que transcurra un tiempo hasta que se produzca el vertido superior, tiempo que varía en función del caudal que ingresa al dominio computacional.

Adicionalmente, se requiere que el vertido se estabilice, es decir, que las fluctuaciones del calado de aproximación, y los caudales de vertido superior, e inferior, respectivamente, no presenten valores altos, de tal manera que el flujo alcance un comportamiento de régimen permanente. Esta condición puede evidenciarse en el *gráfico 3.4*, el cual muestra el desarrollo del flujo en los intervalos de tiempo de simulación indicados.

Gráfico 3. 4: Desarrollo del flujo en el dominio computacional – Escenario normal $Q=0.150[m^3/s]$.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

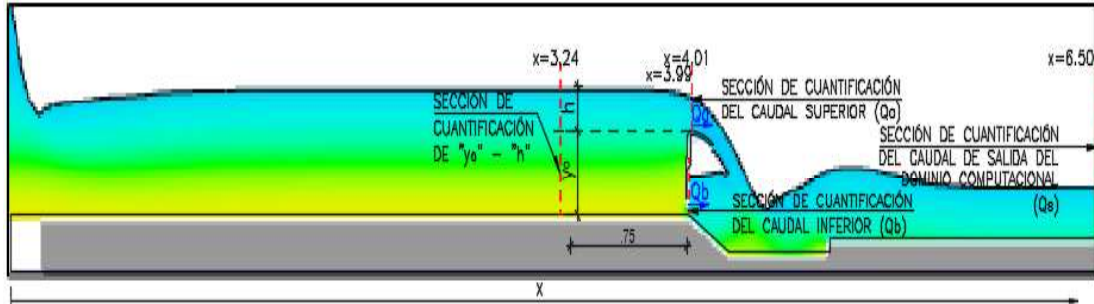
Para evaluar la evolución de las variables del flujo, y determinar las condiciones del mismo, es preciso conocer los valores que van obteniendo las variables en el dominio computacional, a lo largo del tiempo de simulación, por lo tanto es necesario visualizarlos mediante el uso de las herramientas que dispone Flow 3D para este fin.

3.5.2. REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES.

Mediante el uso de la herramienta Mesh dependent history, que permite crear un registro histórico de los valores de caudales que atraviesan las secciones transversales, inicial, y final, respectivamente de cada uno de los bloques de malla del dominio computacional, se han generado los datos de los gastos que atraviesan

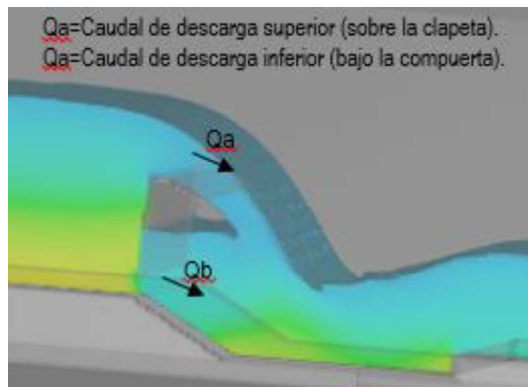
las secciones de interés para la cuantificación de caudales que se señalan en la figura 3.29, los cuales permiten conocer la variación temporal de las descargas superior, e inferior, respectivamente de la estructura.

Figura 3. 29: Secciones de interés para la cuantificación de variables del flujo.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Figura 3. 30: Nomenclatura para las descargas superior e inferior en la compuerta-vertedero.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Figura 3. 31: Historial dependiente de la malla - Flow 3D.

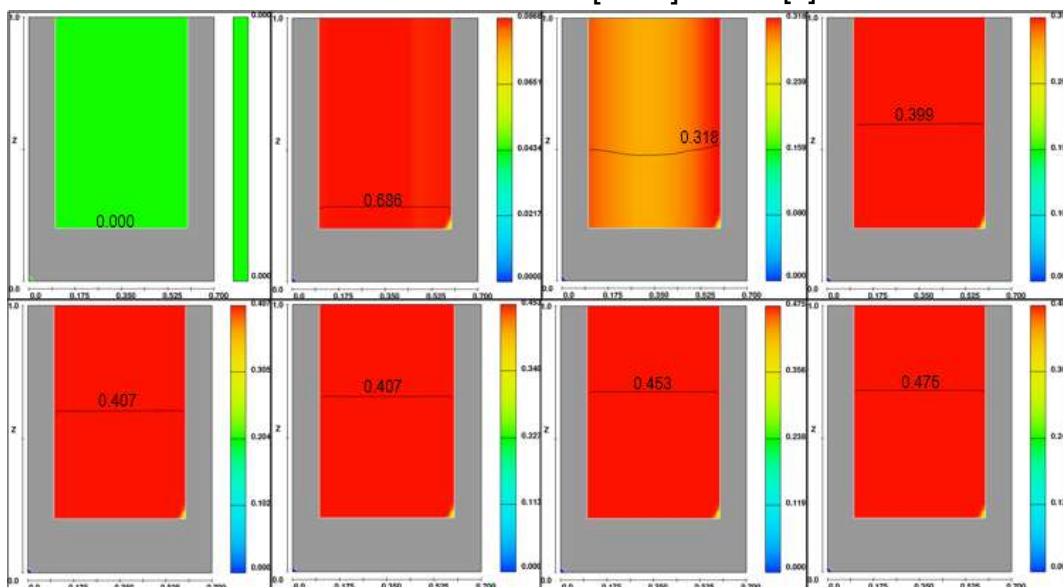
Probe	Caudales de ingreso al bloque de mallado		Caudales de salida del bloque de mallado	
Mesh Block 5	Block 5: printing mfb, mfb			
1 101	1.000E-03	5.000E+01		
time	mfb	1	mfb	2
1.0000000E-03	0.0000000E+00		0.0000000E+00	
4.9906614E-01	0.0000000E+00		0.0000000E+00	
1.0001791E+00	0.0000000E+00		0.0000000E+00	
1.5000308E+00	0.0000000E+00		0.0000000E+00	
2.0001423E+00	0.0000000E+00		0.0000000E+00	
2.4996388E+00	0.0000000E+00		1.2886775E+01	
2.9997926E+00	-6.6040988E-01		1.1410789E+01	
3.4997542E+00	-4.2568402E+00		2.4101851E+01	
3.9996538E+00	-9.8933401E+00		1.9102207E+01	
4.4998288E+00	-1.1517779E+01		1.5100037E+01	
5.0000215E+00	-6.6023493E+00		1.4582421E+01	
5.4998813E+00	-3.2330683E-01		1.7844988E+01	
6.0000939E+00	4.9715896E+00		2.1563591E+01	
6.5000024E+00	8.9035931E+00		2.3249628E+01	
7.0001750E+00	1.1742596E+01		2.4381800E+01	

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

3.5.3. VISUALIZACIÓN DEL CALADO DE APROXIMACIÓN HACIA LA ESTRUCTURA DE CONTROL.

Considerando que en el modelo analizado, se requiere conocer el calado de aproximación a una distancia de distancia de 75 centímetros aguas arriba del paramento de la compuerta vertedero, para hacer uso del diagrama de Naudascher-Castro-Peissner, se empleó la herramienta de visualización 2D, que sirve para realizar impresiones de gráficos bidimensionales, en los cuales se pueden observar los valores de las variables de flujo en un plano seleccionado, en cualquier instante de la simulación. Para el efecto se creó un plano en la sección de interés, a la distancia referida, que muestra la variación temporal de la variable “profundidad del flujo” en el plano “yz”, (*gráfico 3.5*).

Gráfico 3. 5: Visualización 2D -Variación temporal de la profundidad del flujo en la sección de interés Escenario normal $Q=0.15$ [m³/s] – $\Delta t=2$ [s].

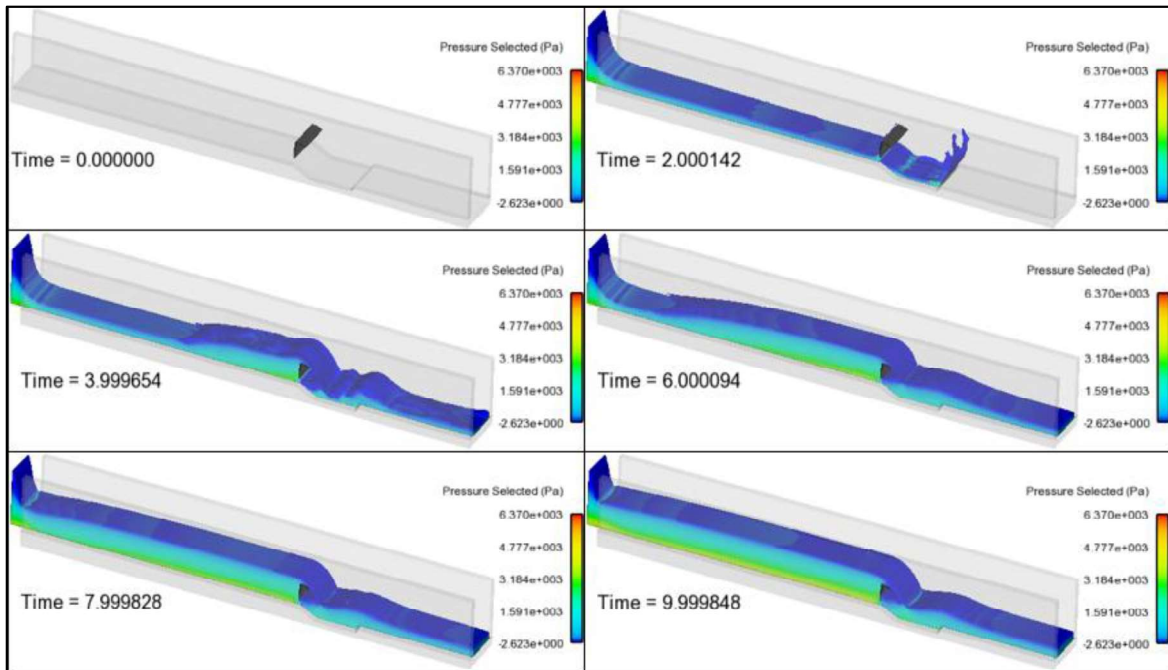


Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

3.5.4. VARIACIÓN TEMPORAL DE LOS PARÁMETROS DEL FLUJO.

Con la finalidad de conocer y evidenciar la variación temporal de los parámetros del flujo en el dominio computacional, se empleó la herramienta de visualización 3D, que permite crear impresiones tridimensionales del modelo numérico, las cuales muestran la evolución de los parámetros de interés del flujo, como se muestra en el *gráfico 3.6*.

Gráfico 3. 6: Visualización 3D- Variación temporal de la profundidad del flujo en el dominio computacional - Escenario normal $Q=0.15$ [m³/s] – $\Delta t=2$ [s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Las herramientas descritas han sido utilizadas para desplegar los resultados de los siguientes parámetros cuantificados en las secciones de interés, que se muestran en la *figura 3.29*, para cada uno de los escenarios de simulación, cuyos datos han sido tabulados para generar gráficos que permiten sintetizar su interpretación:

- Caudal de descarga superior (Q_a);
- Caudal de descarga inferior (Q_b);
- Caudal de salida del dominio computacional (Q_s);
- Calado de aproximación (y_o);
- Carga sobre el vertedero (h).

CAPÍTULO 4:

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DEL ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL.

4.1.1. CAUDALES OBTENIDOS EN EL MODELO NUMÉRICO.

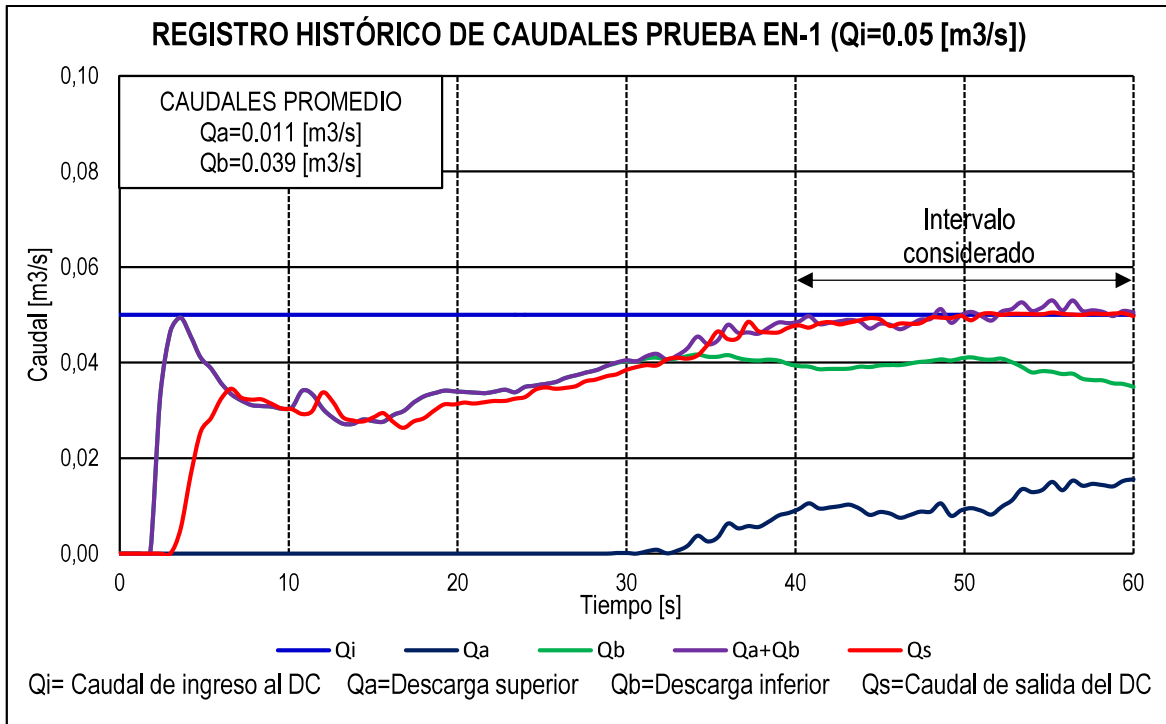
Con base en los datos tabulados en los registros históricos de caudales que atraviesan las secciones de cuantificación, de cada simulación, que se exponen en el *anexo C*, se han desarrollado gráficos, en los que se evidencia la variación temporal de los siguientes parámetros:

- Caudales de descarga superior “Qa” (sobre la clapeta);
- Caudales de descarga inferior “Qb” (bajo la compuerta);
- Sumatoria de caudales de descarga superior e inferior “Qa+Qb”;
- Caudal de salida del dominio computacional “Qs”.

En cada uno de los gráficos se especifican los intervalos de tiempo, en los cuales el flujo se ha estabilizado, conforme al criterio expuesto respecto al desarrollo del régimen permanente.

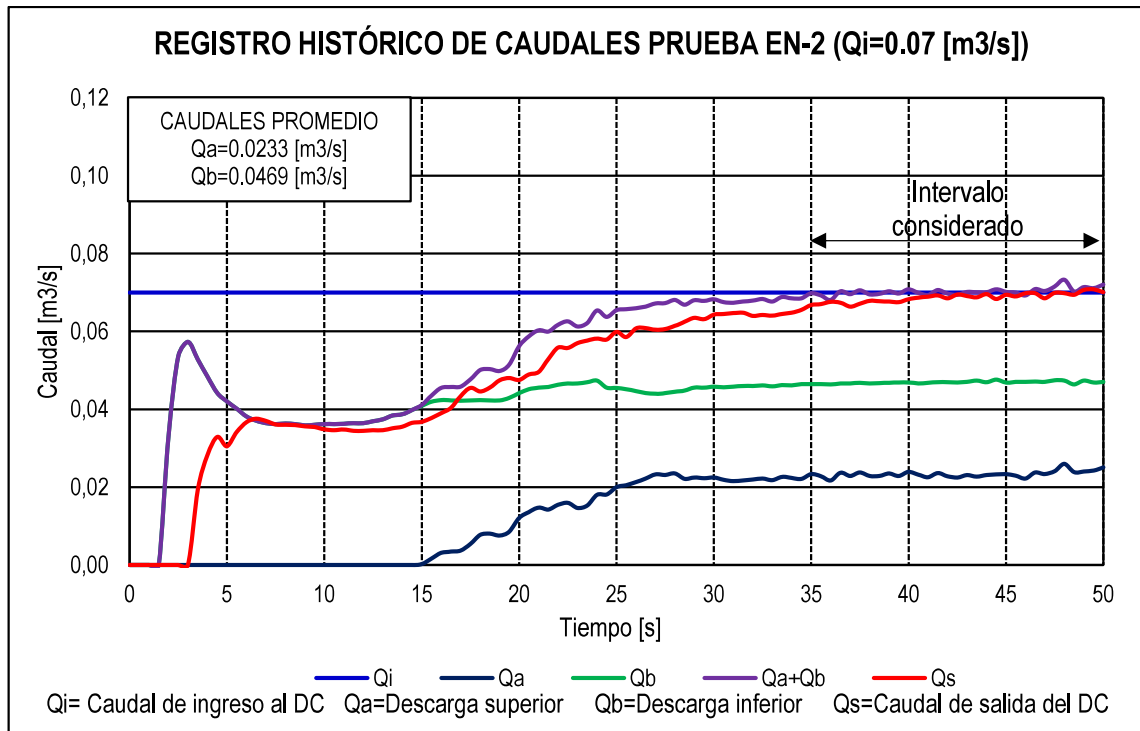
Cabe aclarar que en adelante, únicamente se consideran los valores comprendidos en dichos intervalos para la cuantificación de los valores de descarga promedio, para cada prueba, respectivamente.

Gráfico 4. 1: Variación temporal de caudales en las secciones de interés - Prueba EN-1 $Q_i=0.05$ [m³/s].



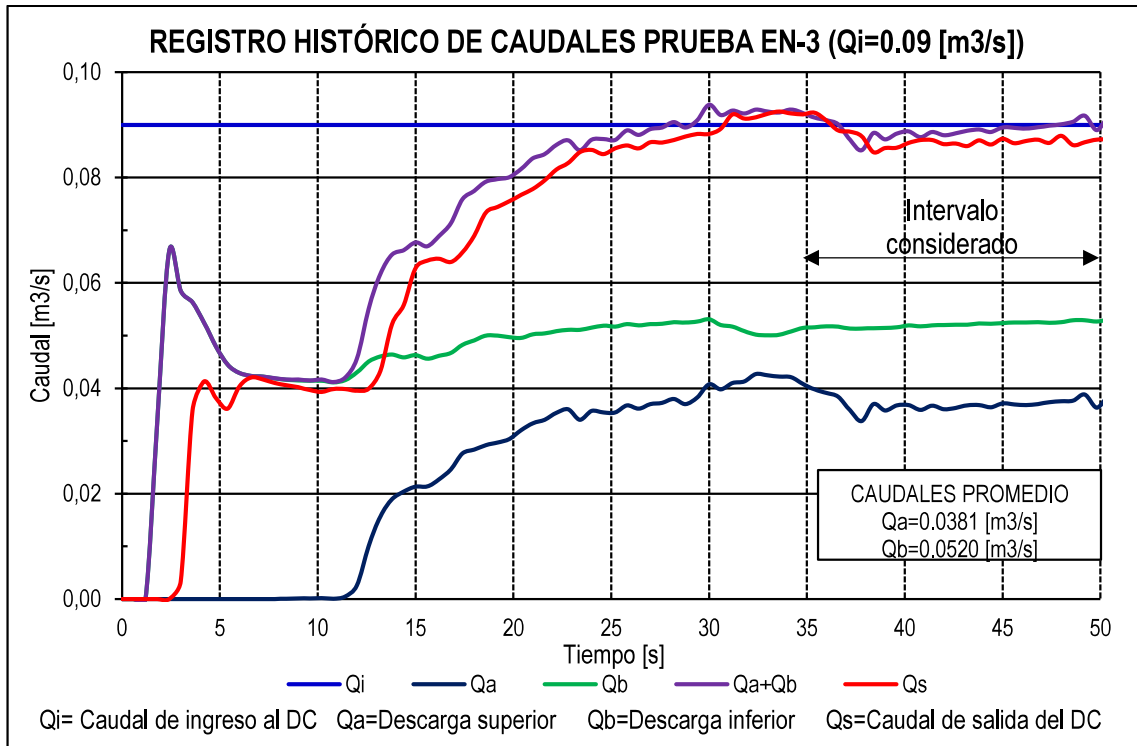
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 2: Variación temporal de caudales en las secciones de interés - Prueba EN-2



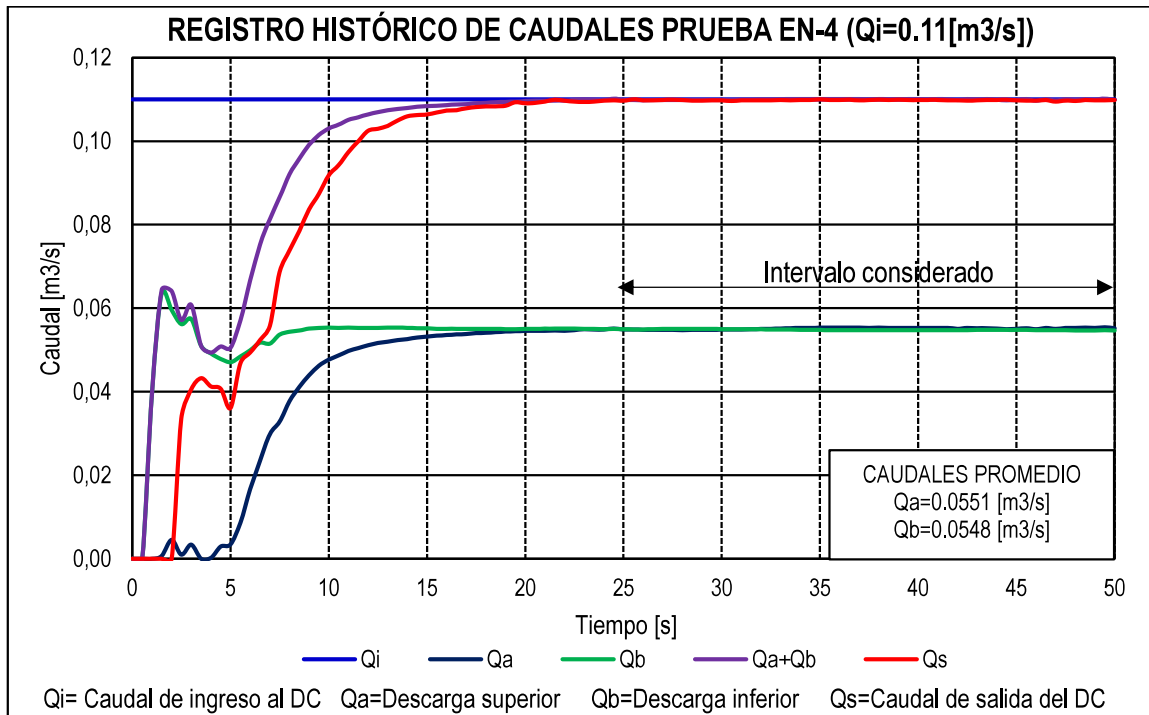
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 3: Variación temporal de caudales en las secciones de interés - Prueba EN-3



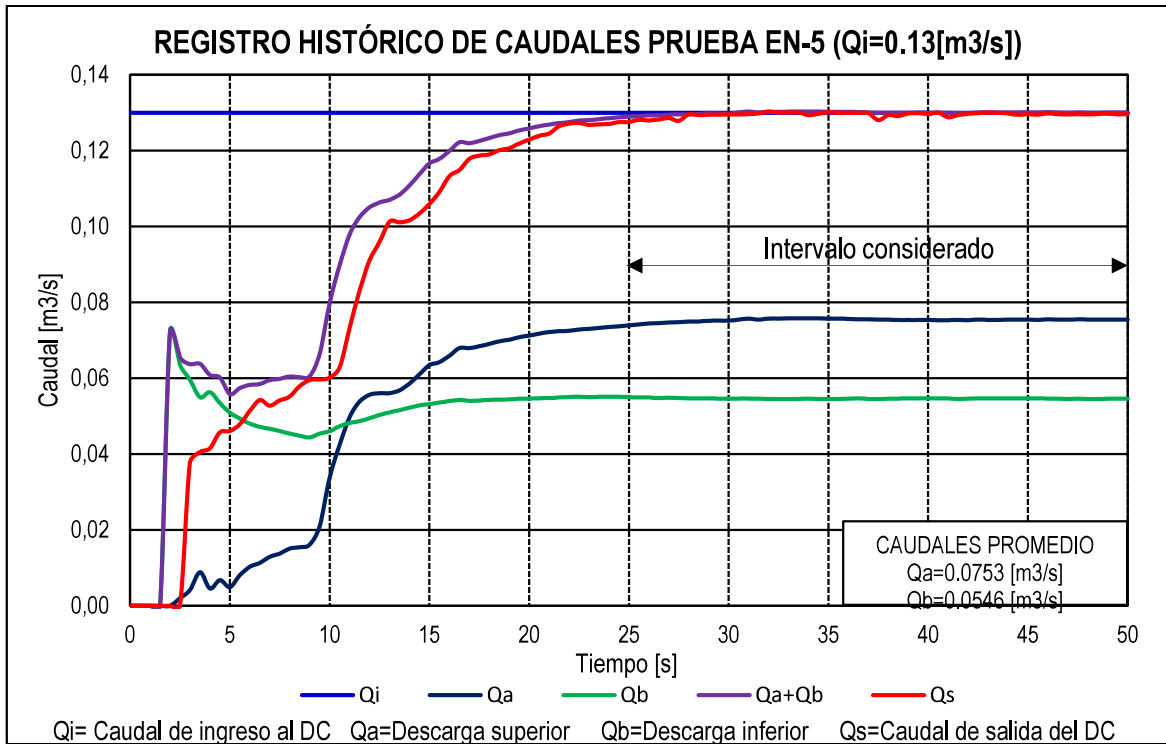
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 4: Variación temporal de caudales en las secciones de interés - Prueba EN-4



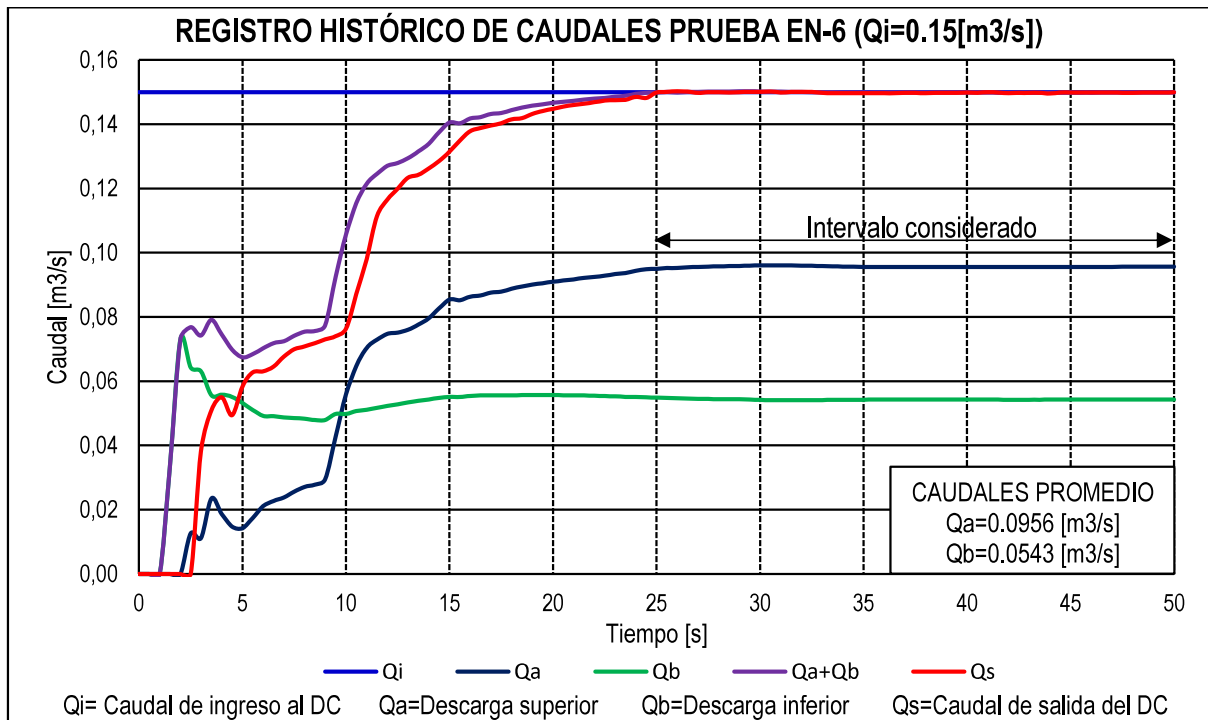
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 5: Variación temporal de caudales en las secciones de interés - Prueba EN-5.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 6: Variación temporal de caudales en las secciones de interés - Prueba EN-6.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

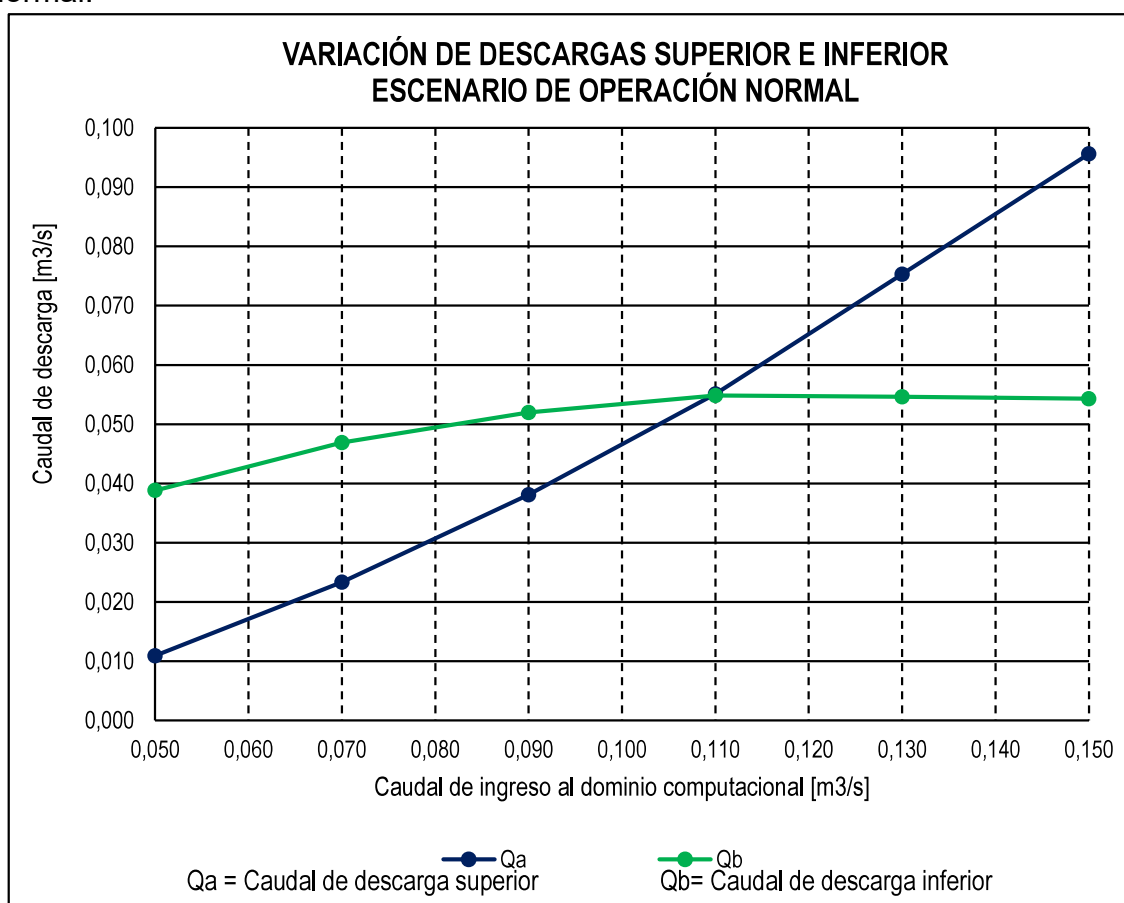
Los caudales de descarga superior, e inferior, respectivamente, obtenidos en cada prueba realizada en el modelo numérico, para el escenario de operación normal se resumen en la *tabla 4.1*.

Tabla 4. 1: Caudales de descarga superior e inferior - Escenario de operación normal.

CAUDALES DE DESCARGA SUPERIOR E INFERIOR ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL			
Prueba	Qi	Qa	Qb
[-]	[m3/s]	[m3/s]	[m3/s]
EN-1	0.05	0.011	0.039
EN-2	0.07	0.023	0.047
EN-3	0.09	0.038	0.052
EN-4	0.110	0.055	0.055
EN-5	0.130	0.075	0.055
EN-6	0.150	0.096	0.054

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba

Gráfico 4. 7: Variación de descargas superior e inferior - Escenario de operación normal.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Como puede observarse en los *gráficos 4.1 a 4.6*, la sumatoria de los caudales de descarga superior e inferior, y el caudal de salida del dominio computacional, una vez alcanzado el régimen permanente, tienden a los valores que ingresan al dominio, cuyos promedios se muestran en la *tabla 4.2*, los cuales dan cuenta de que, la diferencia entre el flujo másico que ingresa al dominio computacional, respecto al flujo másico de salida, en cada prueba, no supera el 5%, que es el valor máximo aceptable de pérdidas en una simulación realizada empleando la dinámica de fluidos computacional.

Tabla 4. 2: Evaluación de la continuidad del flujo en el dominio computacional.

CAUDALES PROMEDIO EN LAS SECCIONES DE INTERÉS PARA EVALUACIÓN DE CONTINUIDAD							
Ubicación de la sección transversal	x=0	x=4.0	x=3.99	x=4.00		x=6.50	
Prueba [-]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Diferencia [%]	Qs [m3/s]	Diferencia [%]
EN-1	0.05	0.0109	0.0388	0.0497	-0.513%	0.0493	-1.467%
EN-2	0.07	0.0233	0.0469	0.0703	0.357%	0.0687	-1.882%
EN-3	0.09	0.0381	0.0520	0.0901	0.111%	0.0879	-2.333%
EN-4	0.11	0.0551	0.0548	0.1100	-0.031%	0.1098	-0.178%
EN-5	0.13	0.0753	0.0546	0.1300	-0.035%	0.1295	-0.407%
EN-6	0.15	0.0956	0.0543	0.1499	-0.055%	0.1498	-0.106%

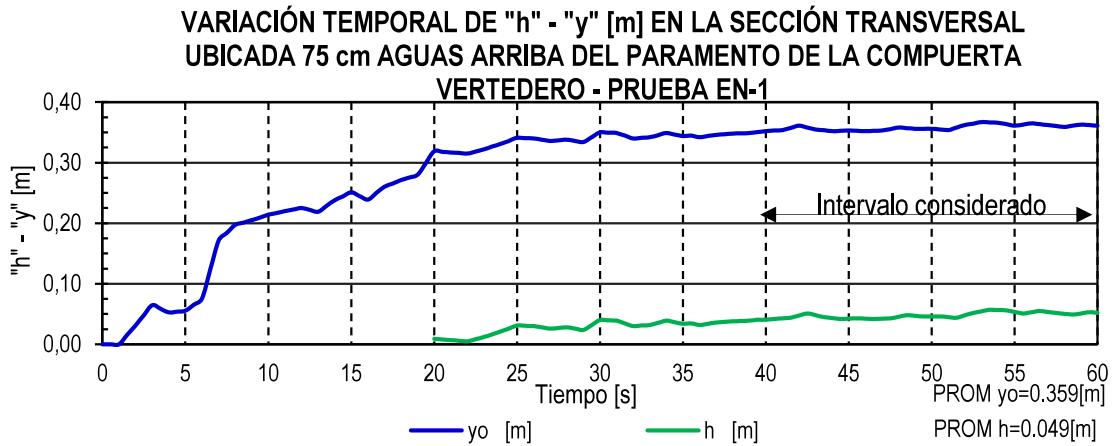
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba

4.1.2. CALADOS DE APROXIMACIÓN Y CARGA SOBRE EL VERTEDERO.

Los valores de los calados, aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero, respectivamente, han sido obtenidos promediando los valores que se presentan en el intervalo de tiempo en el cual el flujo se ha estabilizado, en cada simulación. Para el efecto, se ha elaborado un registro histórico de la variación temporal del calado de aproximación, y de la carga sobre el vertedero en una sección transversal ubicada 75 cm aguas arriba del paramento de la compuerta vertedero, el cual se evidencia en el *anexo D*.

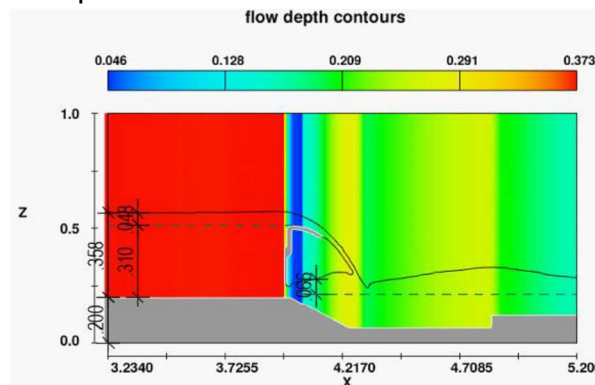
En los *gráficos 4.8 a 4.20*, se muestra la variación temporal de los valores referidos, y sus promedios obtenidos en los intervalos considerados.

Gráfico 4. 8: Variación temporal del calado en la sección transversal ubicada 75cm aguas arriba del paramento de la compuerta vertedero – Prueba EN-1 $Q_i=0.05$ [m³/s].



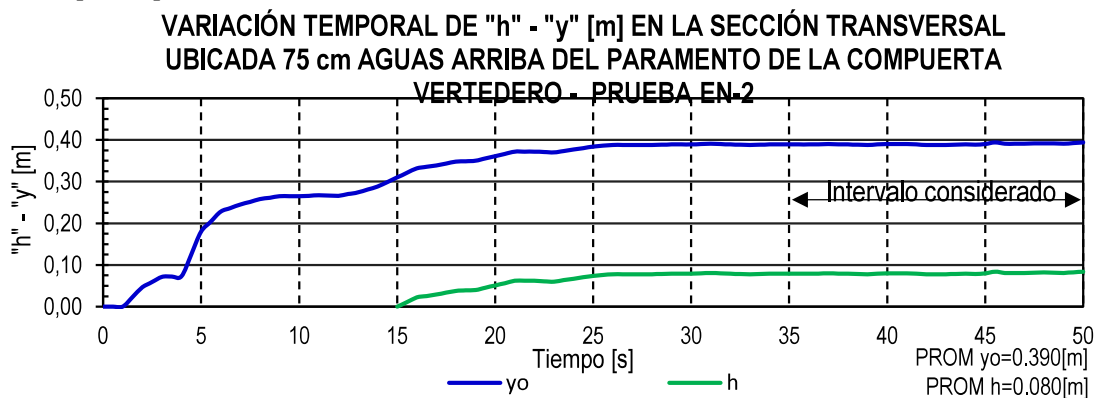
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 9: Calados promedio aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero Escenario de operación normal / Prueba EN- 1 / $Q_i=0.05$ m³/s.



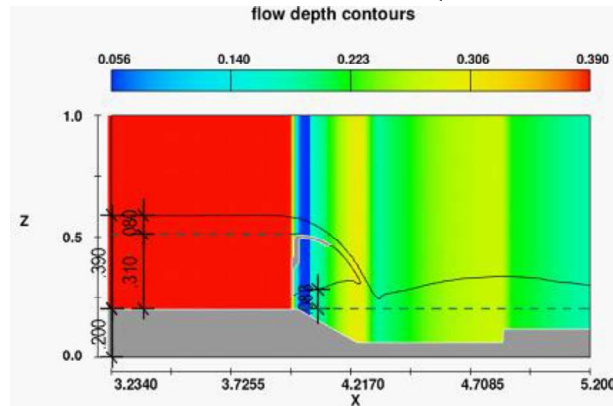
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 10: Variación temporal del calado en la sección transversal ubicada 75cm aguas arriba del paramento de la compuerta vertedero – Prueba EN-2 $Q_i=0.07$ [m³/s].



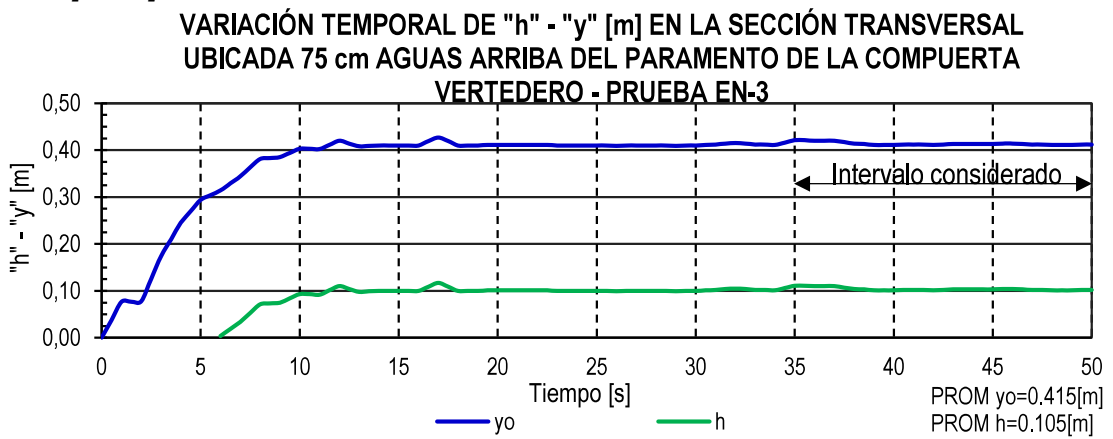
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 11: Calados aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero Escenario de operación normal / Prueba EN- 2 / $Q_i=0.07 \text{ m}^3/\text{s}$.



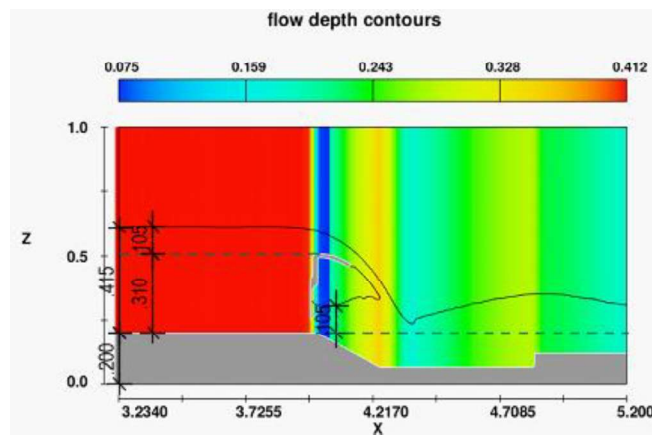
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 12: Variación temporal del calado en la sección transversal ubicada 75cm aguas arriba del paramento de la compuerta vertedero – Prueba EN-3 $Q_i=0.09 \text{ [m}^3/\text{s]}$.



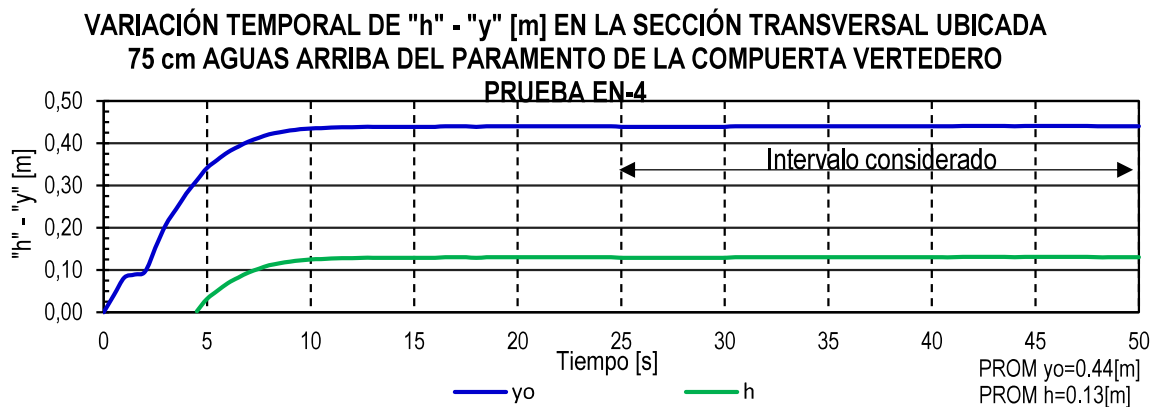
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba

Gráfico 4. 13: Calados aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero Escenario de operación normal / Prueba EN- 3 / $Q_i=0.09 \text{ m}^3/\text{s}$.



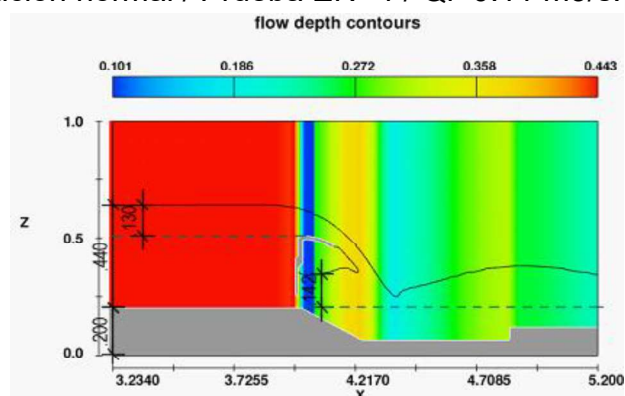
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 14: Variación temporal del calado en la sección transversal ubicada 75cm aguas arriba del paramento de la compuerta vertedero – Prueba EN-4 $Q_i=0.11$ [m³/s].



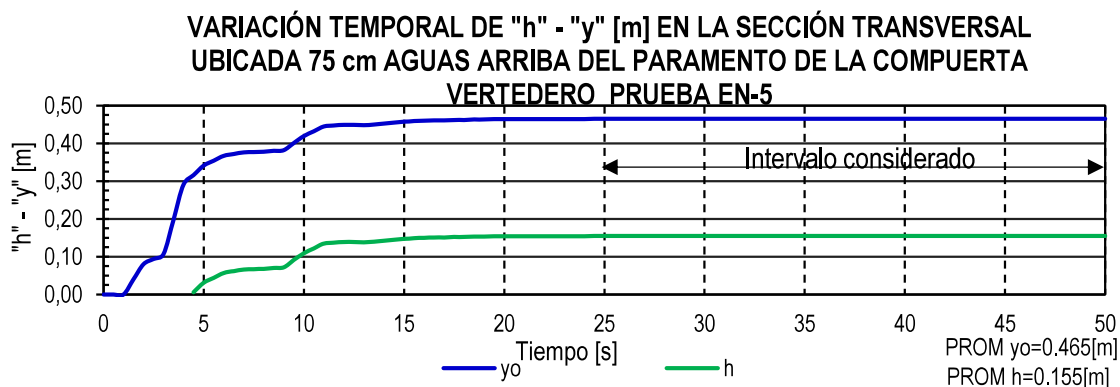
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 15: Calados aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero Escenario de operación normal / Prueba EN- 4 / $Q_i=0.11$ m³/s.



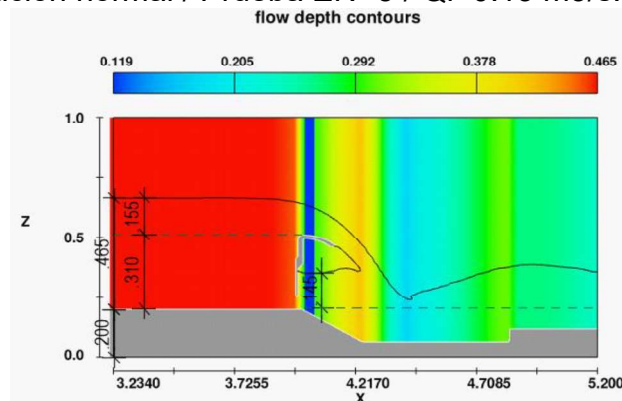
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 16: Variación temporal del calado en la sección transversal ubicada 75cm aguas arriba del paramento de la compuerta vertedero – Prueba EN-5 $Q_i=0.13$ [m³/s].



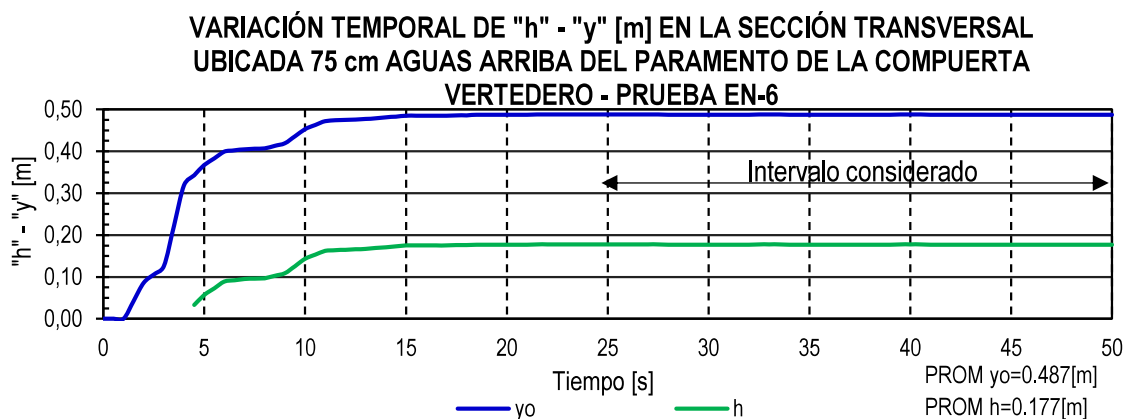
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 17: Calados aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero - Escenario de operación normal / Prueba EN- 5 / $Q_i=0.13 \text{ m}^3/\text{s}$.



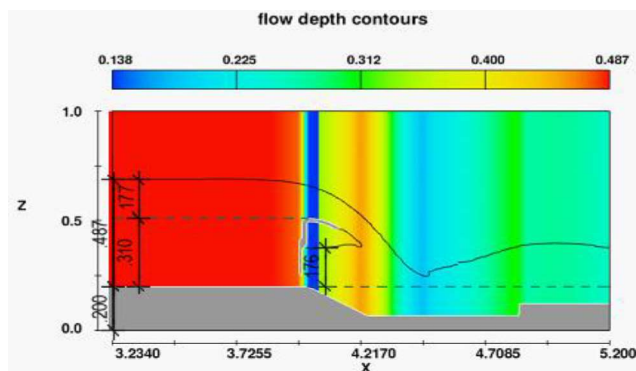
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 18: Variación temporal del calado en la sección transversal ubicada 75cm aguas arriba del paramento de la compuerta vertedero – Prueba EN-6 $Q_i=0.15 \text{ [m}^3/\text{s]}$.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 19: Calados aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero Escenario de operación normal / Prueba EN- 6 / $Q_i=0.15 \text{ m}^3/\text{s}$



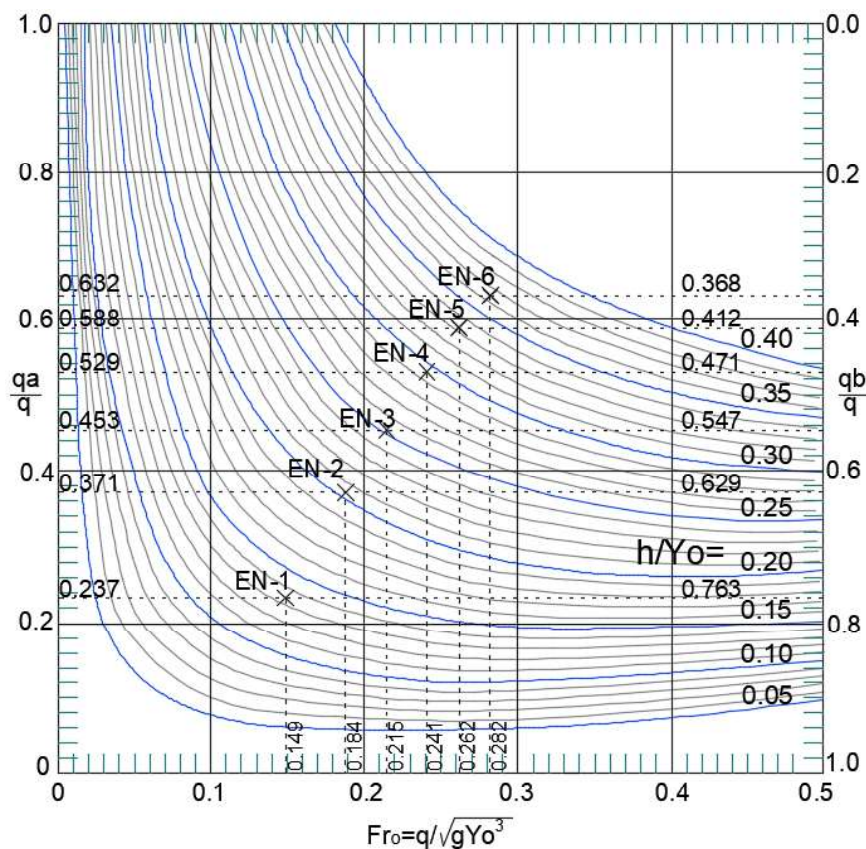
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Los calados referidos, se emplearán para realizar la cuantificación teórica de los caudales, mediante el diagrama de Naudascher-Castro-Peissner, y mediante las ecuaciones generales de descarga bajo compuertas, y sobre vertederos, respectivamente, referidas en el numeral 2.1.

4.1.3. CÁLCULO DE CAUDALES DE DESCARGA MEDIANTE EL DIAGRAMA DE NAUDASCHER-CASTRO-PEISSNER.

Los caudales de descarga fueron calculados mediante el diagrama de Naudascher-Castro-Peissner (*figura 3.5*), tomando como base los parámetros: profundidad del flujo de aproximación, y la carga sobre el vertedero, cuantificados en cada simulación realizada en el modelo numérico (numeral 4.1.2). Los resultados obtenidos, se detallan en la *tabla 4.3*.

Gráfico 4. 20: Cálculo de caudales de descarga superior e inferior mediante el diagrama de Naudascher-Castro-Peissner.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla 4. 3: Caudales de descarga superior e inferior cuantificados mediante el diagrama de Naudascher-Castro-Peissner.

CAUDALES DE DESCARGA SUPERIOR E INFERIOR CUANTIFICADOS MEDIANTE EL DIAGRAMA DE NAUDASCHER-CASTRO-PEISSNER												
Prueba	Qi	q	h	yo	h/yo	Fr	qa/q (teor)	qa	Qa	qb/q (teor)	qb	Qb
[-]	[m ³ /s]	[m ³ /s]/m	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[m ³ /s]/m	[m ³ /s]	[-]	[m ³ /s]/m	[m ³ /s]
EN-1	0.05	0.10	0.048	0.358	0.134	0.149	0.237	0.024	0.012	0.763	0.076	0.038
EN-2	0.07	0.14	0.080	0.390	0.205	0.184	0.371	0.052	0.026	0.629	0.088	0.044
EN-3	0.09	0.18	0.105	0.415	0.253	0.215	0.453	0.082	0.041	0.547	0.098	0.049
EN-4	0.11	0.22	0.130	0.440	0.295	0.241	0.529	0.116	0.058	0.471	0.104	0.052
EN-5	0.13	0.26	0.155	0.465	0.333	0.262	0.588	0.153	0.076	0.412	0.107	0.054
EN-6	0.15	0.30	0.177	0.487	0.364	0.282	0.632	0.190	0.095	0.368	0.110	0.055

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

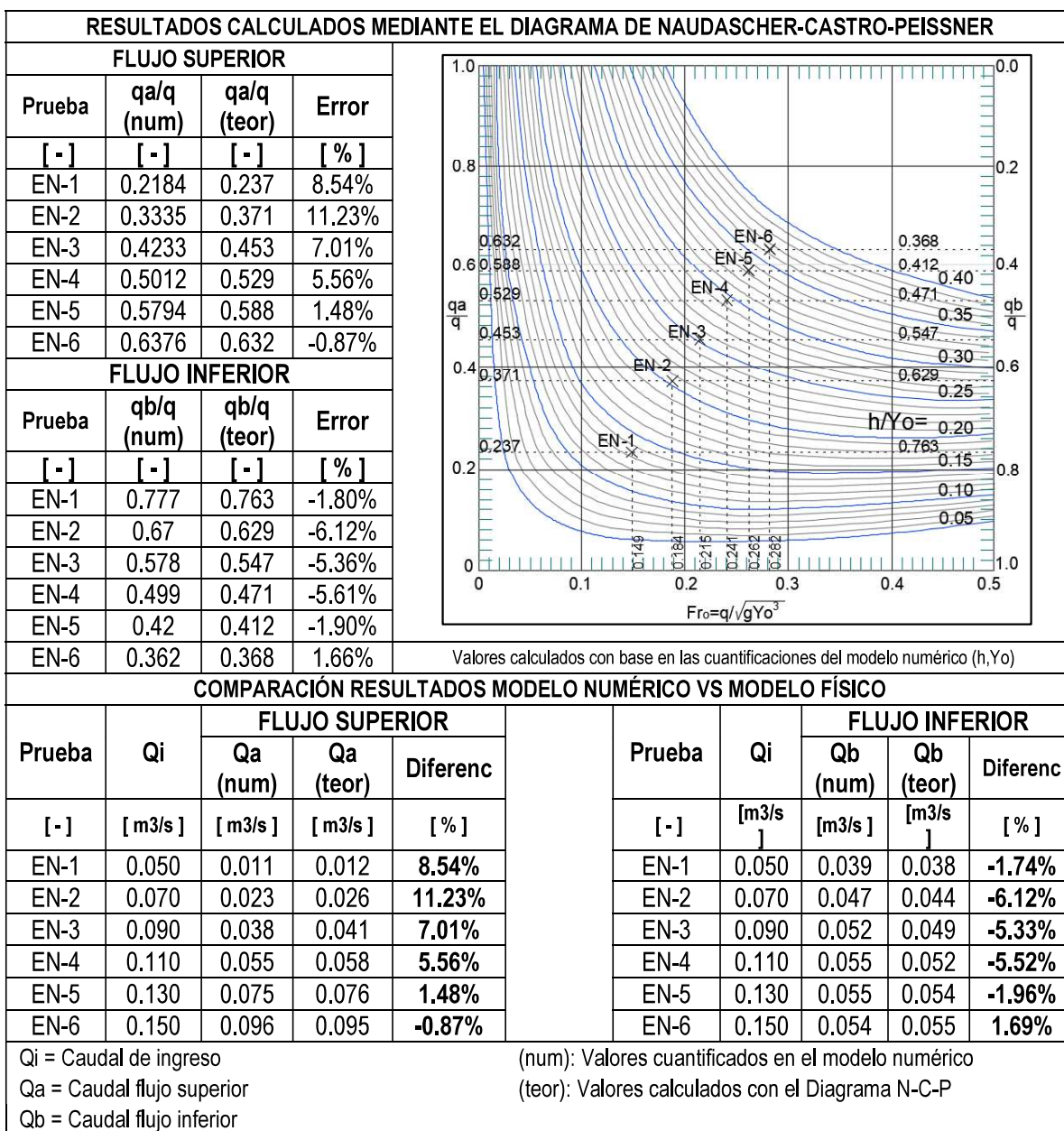
4.1.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS DEL MODELO FÍSICO Y DEL MODELO NUMÉRICO.

En la *tabla 4.4*, se resumen los siguientes resultados obtenidos para el escenario de operación normal:

- Caudales de descarga cuantificados en el modelo numérico (numéricos);
- Caudales de descarga calculados mediante el diagrama de Naudascher-Castro-Peissner (teóricos);
- Comparación de los resultados numéricos versus resultados teóricos.

Tabla 4. 4: Resumen y comparación de resultados numéricos versus resultados teóricos.

RESULTADOS MODELO NUMÉRICO DE BOHÓRQUEZ - ESCENARIO NORMAL										
Prueba	Qi	Qa	Qb	q	qa	qb	h	yo	h/yo	Fr
[-]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]/m	[m ³ /s]/m	[m ³ /s]/m	[m]	[m]	[-]	[-]
EN-1	0.05	0.011	0.039	0.100	0.022	0.078	0.048	0.358	0.134	0.149
EN-2	0.07	0.023	0.047	0.140	0.047	0.094	0.080	0.390	0.205	0.184
EN-3	0.09	0.038	0.052	0.180	0.076	0.104	0.105	0.415	0.253	0.215
EN-4	0.110	0.055	0.055	0.220	0.110	0.110	0.130	0.440	0.295	0.241
EN-5	0.130	0.075	0.055	0.260	0.151	0.109	0.155	0.465	0.333	0.262
EN-6	0.150	0.096	0.054	0.300	0.191	0.109	0.177	0.487	0.364	0.282



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Al contar con resultados de caudales de descarga superior, e inferior, respectivamente, que son similares a los obtenidos mediante el diagrama de Naudascher-Castro-Peissner, y por lo evidenciado respecto a la adecuada continuidad de masa en el sistema analizado, se establece que los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en el modelo numérico son válidos, por lo tanto, se concluye que el modelo representa adecuadamente los fenómenos hidráulicos que se desarrollan en el modelo físico de Peissner 1989.

Como puede evidenciarse, la diferencia entre los resultados numéricos (aquellos obtenidos mediante la simulación numérica) respecto a los resultados teóricos (calculados con el diagrama de Naudascher-Castro-Peissner), es menor cuanto mayor es el caudal ensayado. Para entender estas diferencias, es necesario remitirnos a una comparación llevada a cabo en función al número de Reynolds, en virtud de que, conforme a lo expuesto en el numeral 2.1.9.3.2, los modelos de turbulencia k- ϵ , incluido el modelo k- ϵ RNG (el empleado en el moldeo numérico), se desempeñan mejor cuando se analizan fenómenos que involucran números de Reynolds altos.

Para el efecto, en la *tabla 4.5*, se exponen los números de Reynolds del flujo de aproximación a la estructura de control, y los parámetros hidráulicos requeridos para su determinación, que han sido cuantificados a partir de los resultados del modelo numérico.

Tabla 4. 5: Números de Reynolds del flujo de aproximación de las pruebas realizadas para el escenario de operación normal.

NÚMERO DE REYNOLDS DEL FLUJO DE APROXIMACIÓN – ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL						
PRUEBA	EN-1	EN-2	EN-3	EN-4	EN-5	EN-6
Qi [m3/s]	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15
ho	0.359	0.39	0.415	0.44	0.465	0.487
b	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
A	0.1795	0.195	0.2075	0.22	0.2325	0.2435
P	1.218	1.28	1.33	1.38	1.43	1.474
R	0.1474	0.1523	0.1560	0.1594	0.1626	0.1652
V	0.2786	0.3590	0.4337	0.5000	0.5591	0.6160
v	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06
Re	163549.41	217878.49	269598.30	317570.30	362187.61	405433.90

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Los valores mostrados en la *tabla 4.4* y la *tabla 4.5*, muestran que, cuanto mayor es el número de Reynolds, los resultados del modelo numérico difieren en menor porcentaje respecto a los resultados teóricos calculados mediante el diagrama de Naudascher-Castro-Peissner, por lo tanto se concluye que efectivamente, el modelo k- ϵ RNG tiene un mejor desempeño cuando se trata de flujos con números de Reynolds altos.

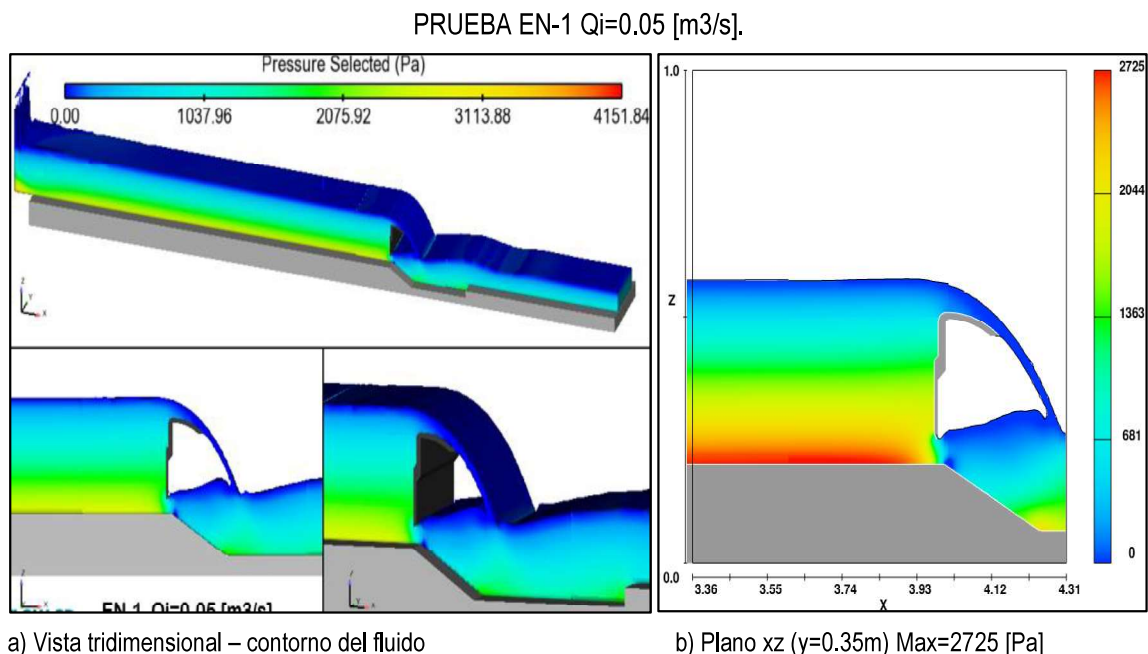
4.1.5. PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL.

En el *anexo E*, se exhiben los gráficos que muestran las presiones en el dominio computacional, en diferentes instantes de las simulaciones realizadas en el escenario de operación normal. Para poder realizar una breve descripción de este parámetro del flujo, a continuación se muestran gráficos tridimensionales que permiten visualizar las presiones en el contorno del dominio computacional, en un determinado instante.

Se hace énfasis en la visualización de este parámetro, en la estructura de control analizada, y su entorno, para lo cual, también se muestra la variación de la presión en el plano “xz”, en el centro del eje “y”.

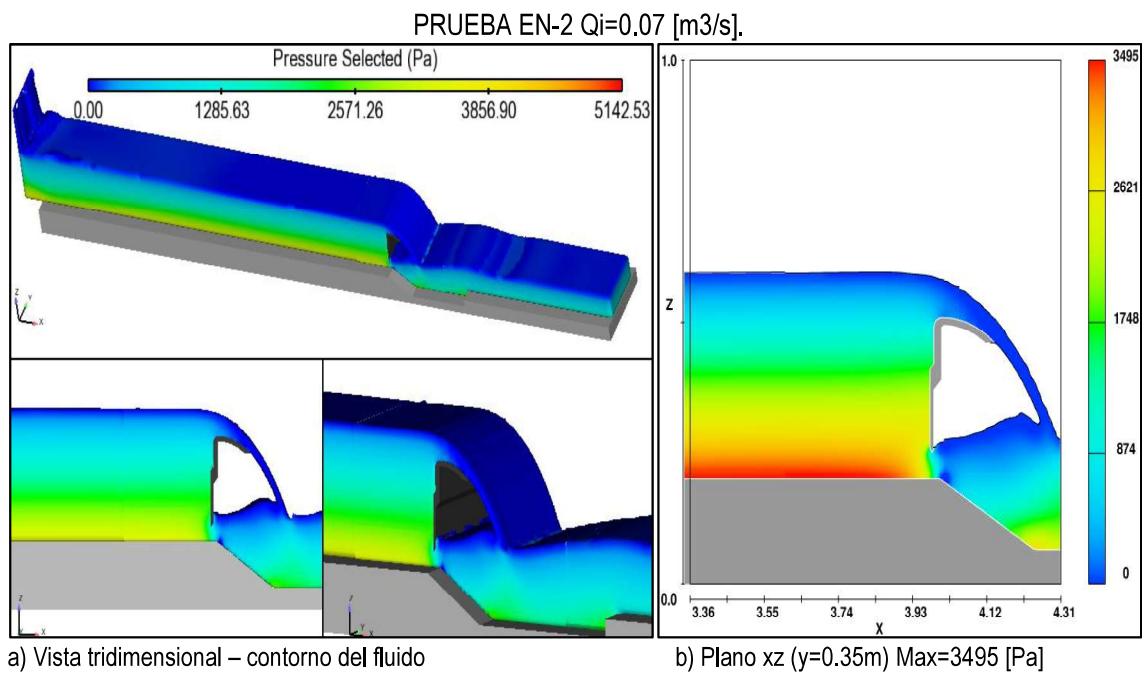
Cabe aclarar que los gráficos en mención corresponden a la presión relativa.

Gráfico 4. 21: Presiones en el dominio computacional – Prueba EN-1.



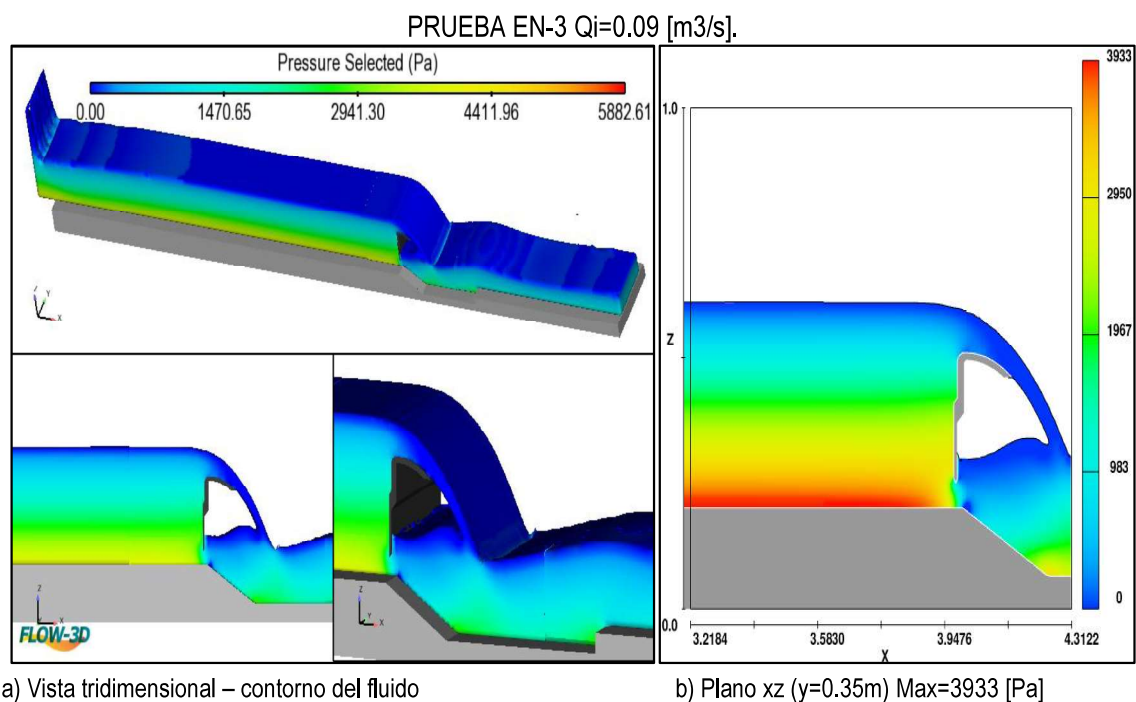
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 22: Presiones en el dominio computacional – Prueba EN-2.



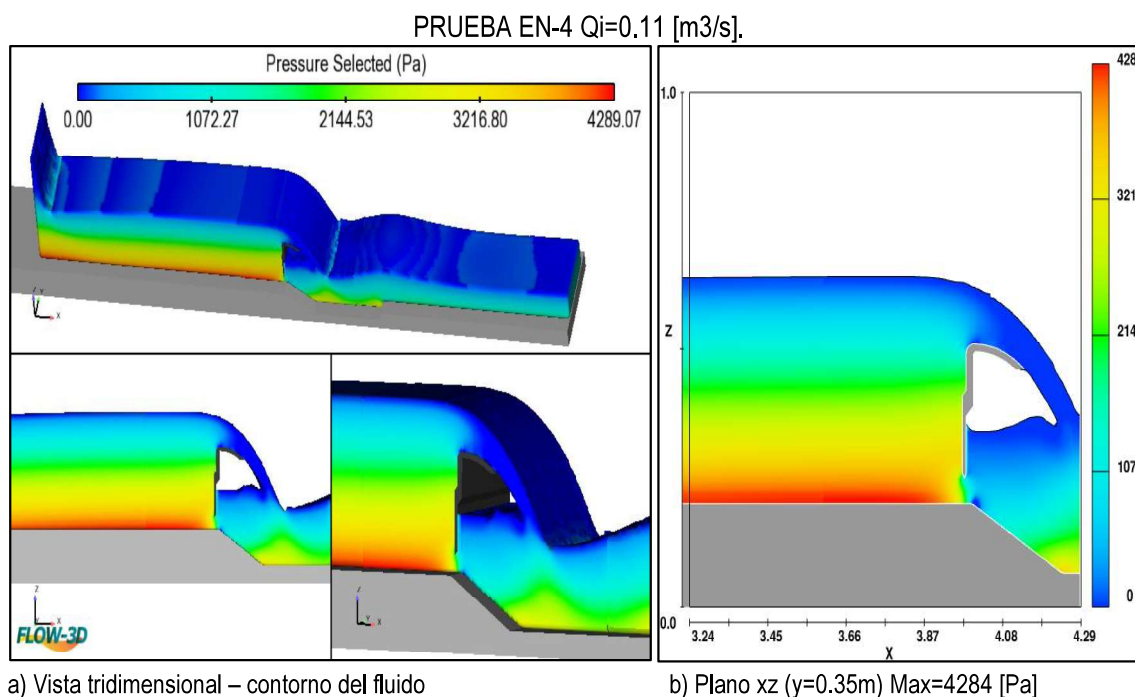
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 23: Presiones en el dominio computacional – Prueba EN-3.



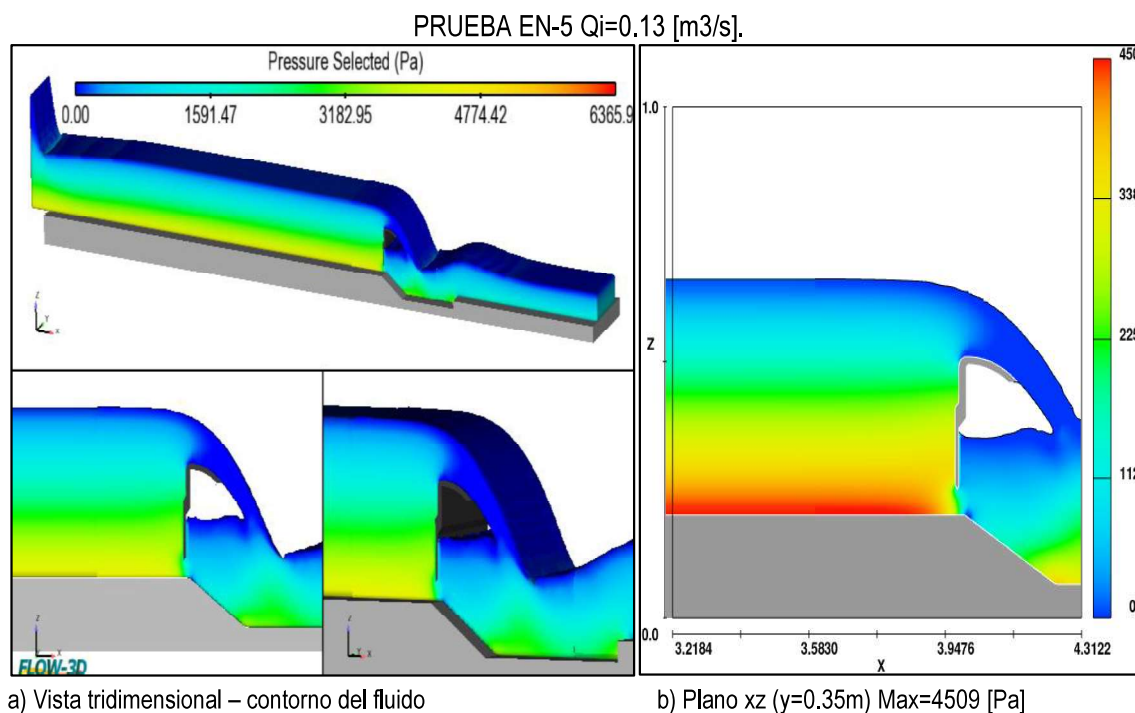
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 24: Presiones en el dominio computacional – Prueba EN-4.



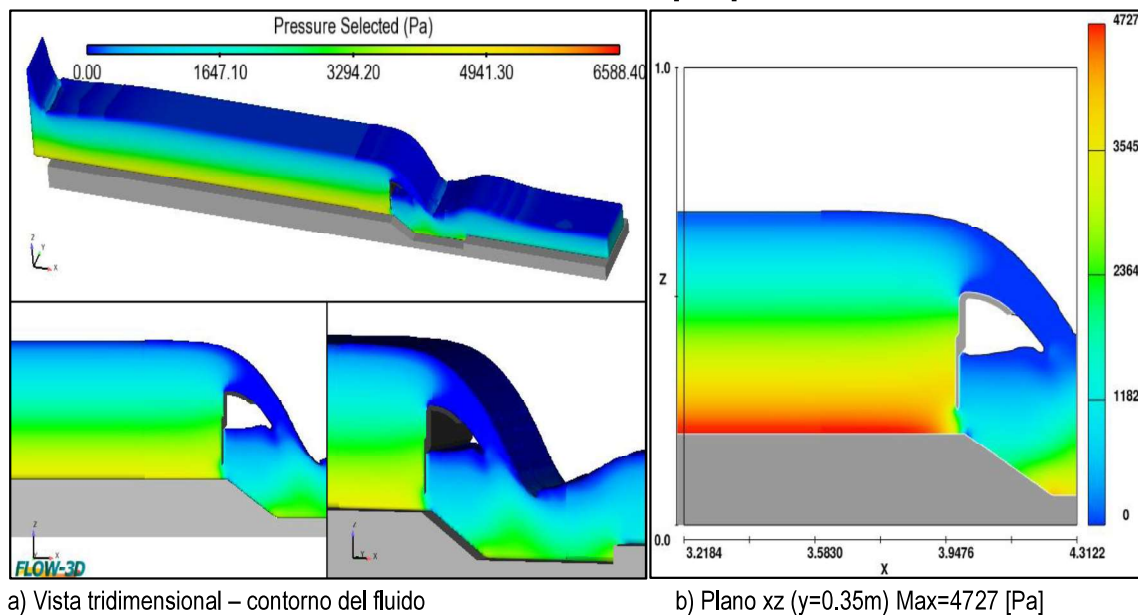
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 25: Presiones en el dominio computacional – Prueba EN-5.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 26: Presiones en el dominio computacional – Prueba EN-6.
PRUEBA EN-6 $Q_i=0.15$ [m³/s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

En los gráficos precedentes, puede evidenciarse que la presión hidrodinámica varía desde cero [Pa], en la superficie del fluido, aumentando su valor conforme incrementa la profundidad.

El contorno del fluido que vierte sobre el vertedero, también tiene una presión relativa de cero [Pa], es decir, tiene un valor igual a la presión atmosférica, del mismo modo que todo el contorno del fluido que se encuentra en contacto con la atmósfera.

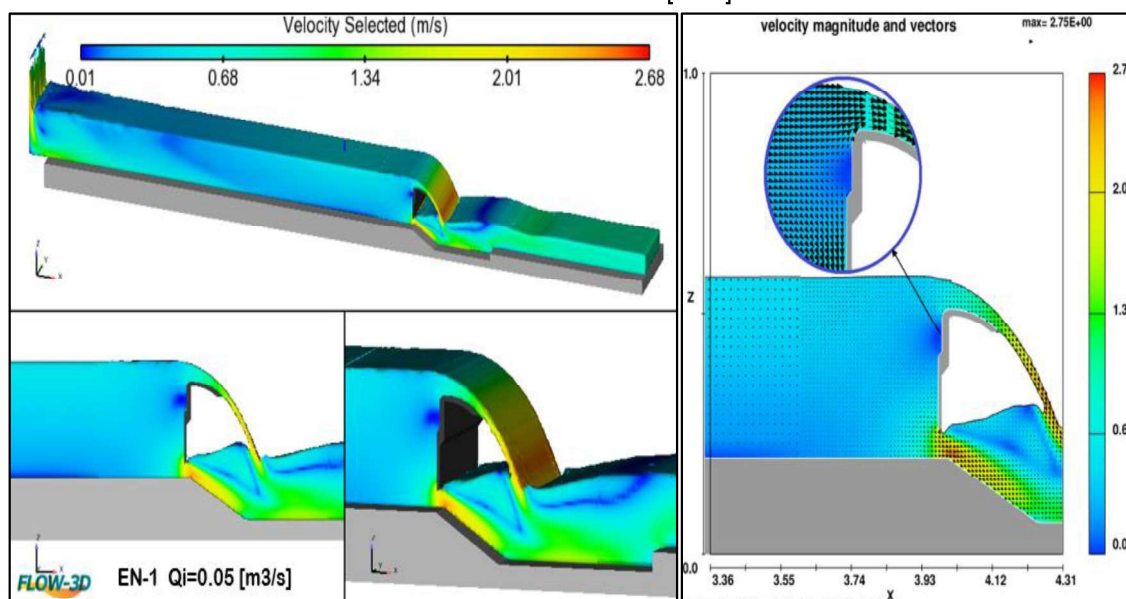
Se evidencia una presión baja, inferior a cero [Pa] en el vértice del fondo del canal, inmediatamente aguas abajo de la compuerta vertedero, donde se inicia la depresión de dicho fondo.

4.1.6. VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL.

Se han generado gráficos tridimensionales para evidenciar las variaciones de velocidad en el dominio computacional, en diferentes instantes, para cada una de las simulaciones realizadas, destacando las zonas cercanas a la compuerta vertedero, los cuales constan en el *anexo F*. Para caracterizar esta variable del flujo, a continuación se presentan gráficos que muestran la variación de la velocidad en las zonas de interés del dominio computacional.

Gráfico 4. 27: Velocidades en el dominio computacional – Prueba EN-1.

PRUEBA EN-1 $Q_i=0.05$ [m³/s].



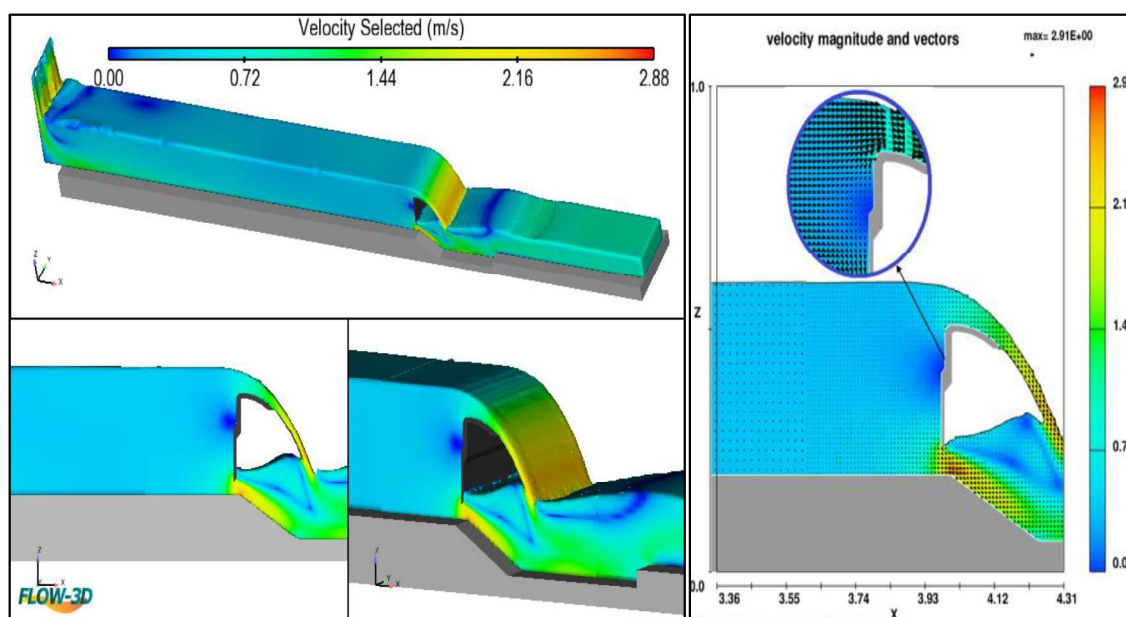
a) Vista tridimensional – contorno del fluido

b) Plano xz ($y=0.35$ m) Max=2.75 [m/s]

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 28: Velocidades en el dominio computacional – Prueba EN-2.

PRUEBA EN-2 $Q_i=0.07$ [m³/s].

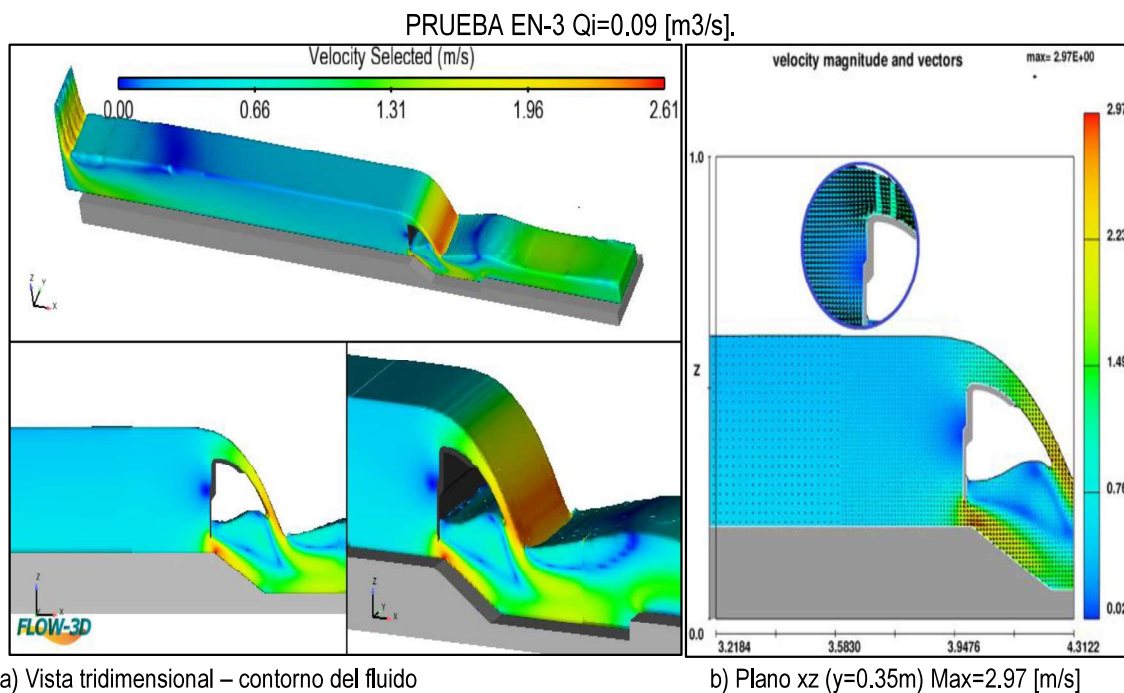


a) Vista tridimensional – contorno del fluido

b) Plano xz ($y=0.35$ m) Max=2.91 [m/s]

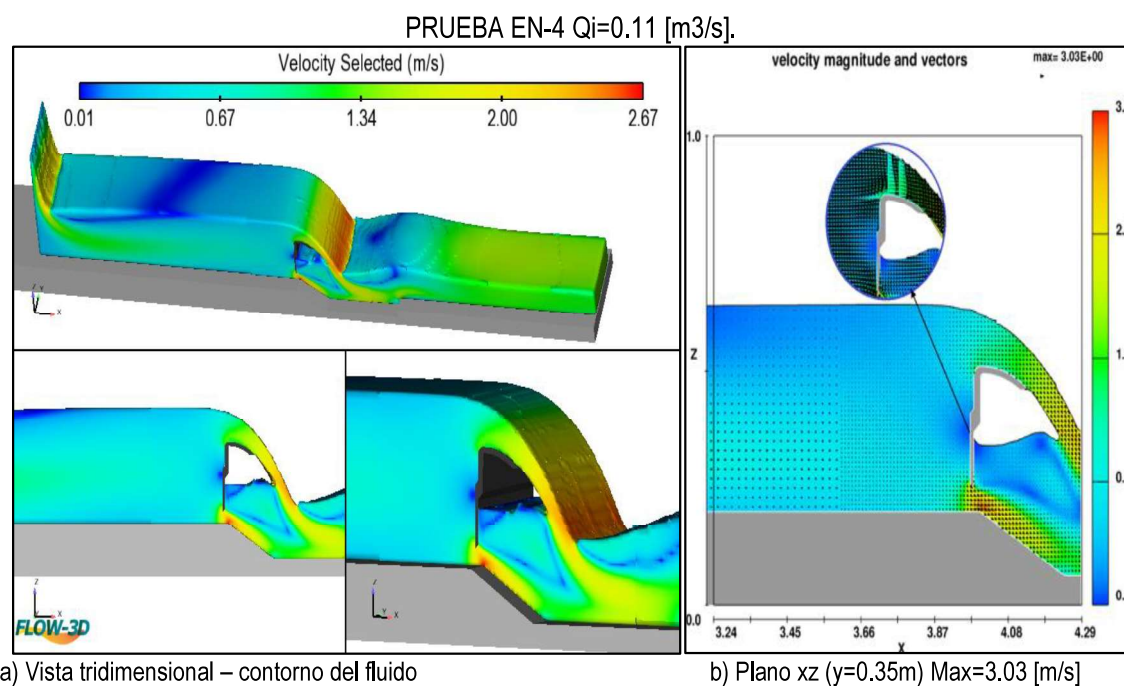
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 29: Velocidades en el dominio computacional – Prueba EN-3.



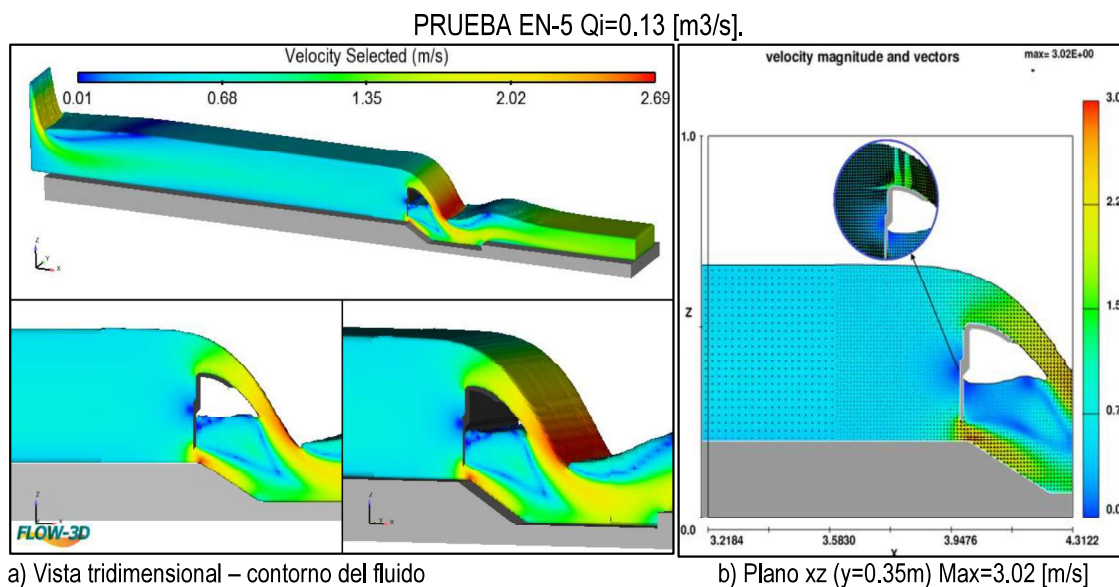
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 30: Velocidades en el dominio computacional – Prueba EN-4.



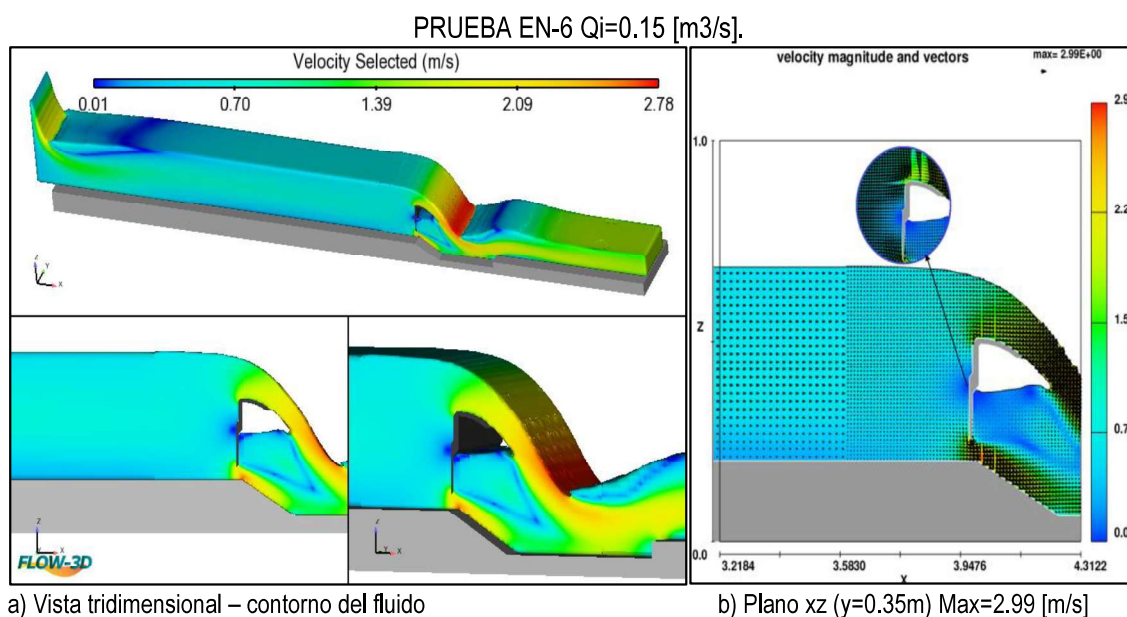
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 31: Velocidades en el dominio computacional – Prueba EN-5.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 32: Velocidades en el dominio computacional – Prueba EN-6

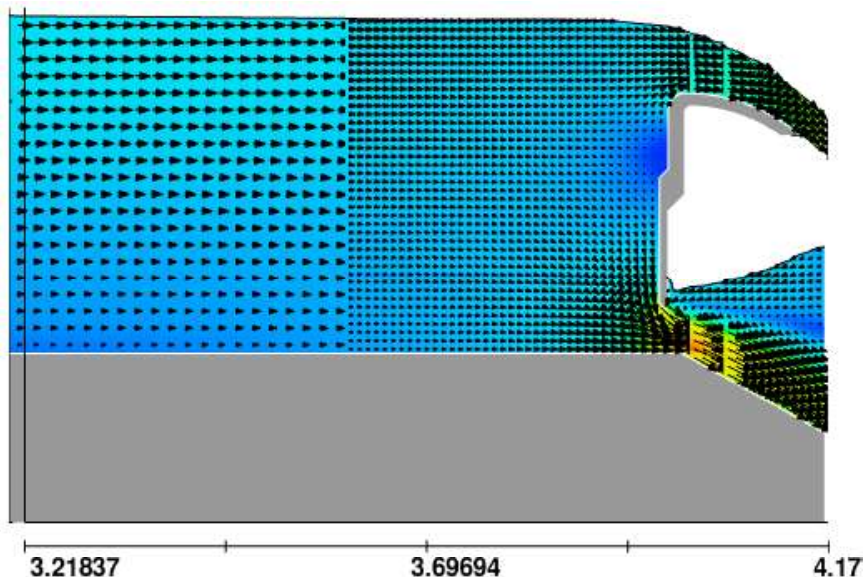


Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

En los gráficos bidimensionales generados en el plano “xz”, de cada prueba, puede distinguirse que, los vectores velocidad en dicho plano, siguen una trayectoria definida en la dirección del eje x, hasta una distancia muy próxima a la compuerta vertedero, donde es notorio que dichos vectores cambian de dirección, de tal manera que se evidencia que existe una separación del flujo de aproximación en

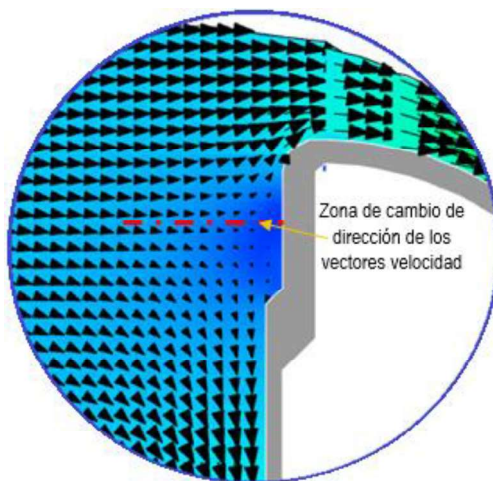
dos partes, las cuales generan los flujos superior, e inferior, respectivamente, fenómeno que puede apreciarse en el *gráfico 4.34*.

Gráfico 4. 33: Dirección de los vectores velocidad.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 34: Cambio de dirección de los vectores velocidad.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Puede apreciarse además, que, a partir del paramento vertical de la compuerta vertedero, la velocidad del flujo aumenta hacia aguas abajo, cuyo mayor incremento se desarrolla a continuación de la cresta del vertedero, a raíz de la disminución de la sección de flujo, llegando a obtener sus valores máximos en el sector de contacto del chorro que descarga sobre el vertedero, y la superficie del agua existente en el cuenco de disipación.

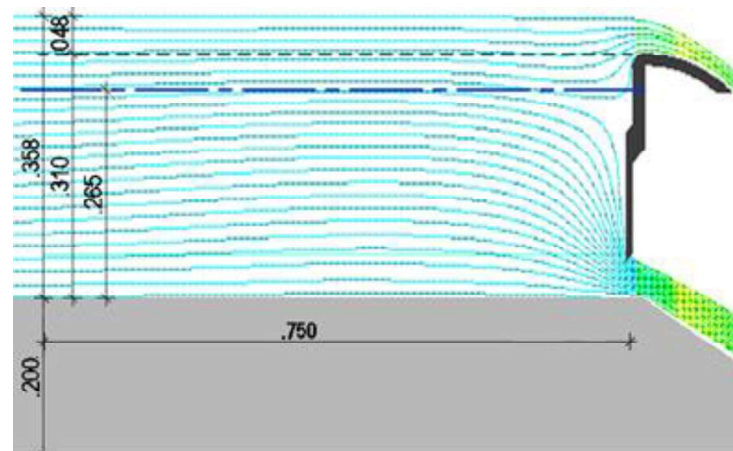
Respecto a las velocidades en la descarga bajo la compuerta, se evidencia que inmediatamente aguas arriba de su labio inferior, se desarrolla un incremento de la velocidad del flujo, llegando a obtener un valor máximo en el vértice donde empieza la depresión del fondo del canal. A partir de este vértice, la velocidad gradualmente disminuye a lo largo de la pendiente.

4.1.7. IDENTIFICACIÓN DE LA UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN ENTRE LOS FLUJOS SUPERIOR E INFERIOR.

Mediante la visualización de los vectores velocidad, en el plano “xz”, se logró determinar que efectivamente, existe un sector donde se produce la separación del flujo de aproximación. Para identificar la ubicación de la línea de separación entre los flujos superior e inferior, de la compuerta-vertedero, se realizó la visualización 2D, del plano “xz”, en el centro del eje transversal “y”, en la cual se desplegaron las líneas de corriente, que muestran las trayectorias que siguen las partículas del fluido.

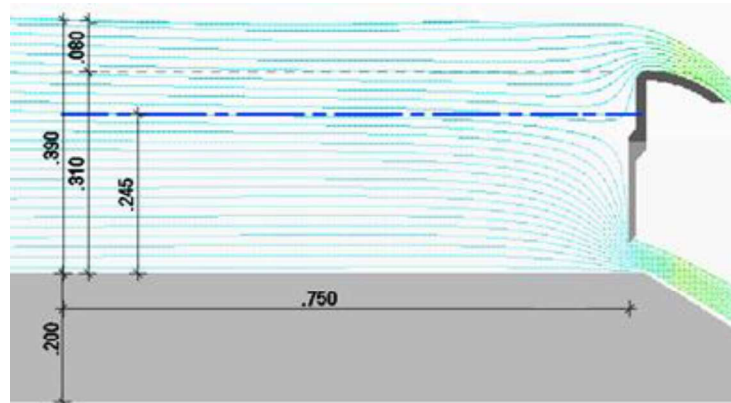
En los *gráficos* 35 al 40, se exponen las visualizaciones referidas, en las que se identifica la distancia desde el fondo del canal, donde se produce la división del flujo de aproximación.

Gráfico 4. 35: Ubicación de la línea de separación de la corriente - Prueba EN-1. $Q_i=0.05[m^3/s]$.



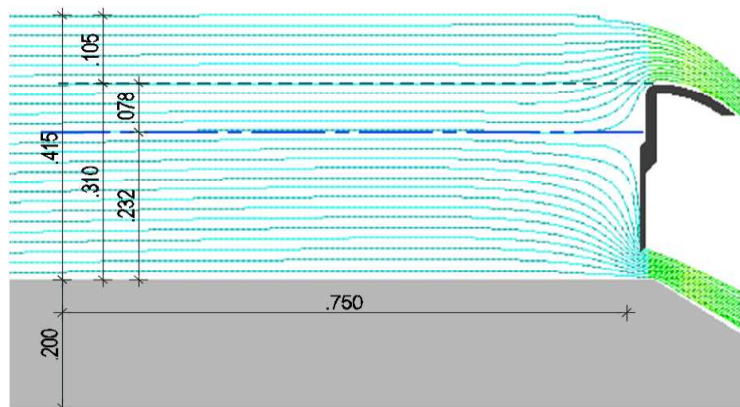
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 36: Ubicación de la línea de separación de la corriente - Prueba EN-2.
 $Q_i=0.07[m^3/s]$.



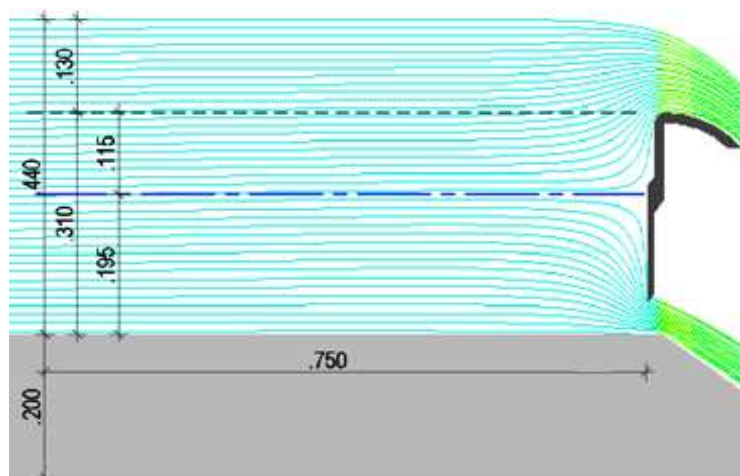
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 37: Ubicación de la línea de separación de la corriente - Prueba EN-3.
 $Q_i=0.09[m^3/s]$.



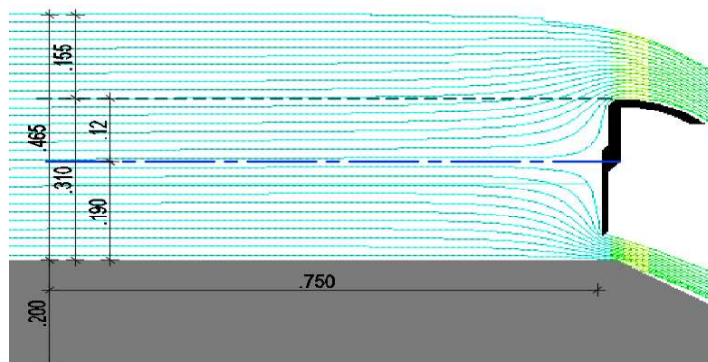
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 38: Ubicación de la línea de separación de la corriente - Prueba EN-4.
 $Q_i=0.11[m^3/s]$.



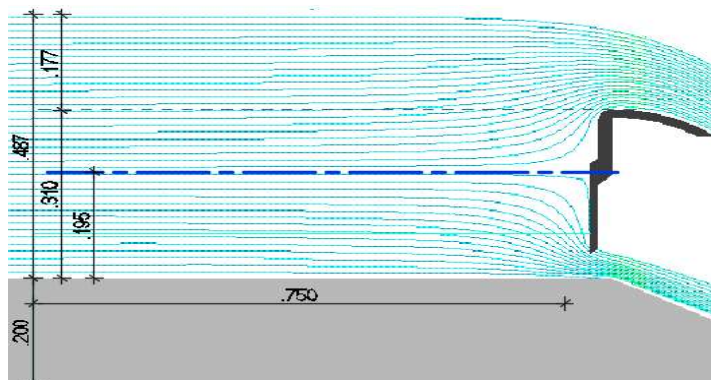
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 39: Ubicación de la línea de separación de la corriente - Prueba EN-5. $Q_i=0.13[m^3/s]$.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 40: Ubicación de la línea de separación de la corriente - Prueba EN-6. $Q_i=0.15[m^3/s]$.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

En los gráficos anteriores, puede evidenciar que, conforme incrementa el calado aguas arriba de la compuerta-vertedero, disminuye la profundidad a la que se ubica la superficie de separación del flujo de aproximación.

4.1.8. CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES MEDIANTE LAS ECUACIONES DE DESCARGA BAJO COMPUERTAS Y SOBRE VERTEDEROS.

Con base en la información extraída de los gráficos anteriores, y, empleando los criterios de Swamme (1992) respecto al coeficiente de descarga, expuestos en el numeral 2.1.1.2, al hacer uso de la ecuación (2.3), de la descarga bajo compuertas, se calcularon los valores teóricos de la descarga inferior (Q_b), que se resumen en la *tabla 4.6*, los mismos que fueron comparados con los caudales obtenidos en el modelo numérico, y los calculados mediante el diagrama de Naudascher-Castro-

Peissner. En la tabla indicada, además se resumen los valores de los calados aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero, empleados para los cálculos referidos.

Tabla 4. 6: Cuantificación de caudales de descarga inferior por medio de la ecuación de la descarga bajo compuertas (cd criterios de Swamee) del Escenario de operación normal – Comparación respecto a los caudales obtenidos en el modelo numérico.

CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES EN BASE A LA ECUACIÓN DE LA DESCARGA BAJO COMPUERTAS (CRITERIO DE SWAMEE)- COMPARACIÓN RESPECTO A LOS CAUDALES OBTENIDOS EN EL MODELO NUMÉRICO						
PRUEBA	EN-1	EN-2	EN-3	EN-4	EN-5	EN-6
Qi [m3/s]	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15
b = L	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
a	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
yo	0.359	0.39	0.415	0.44	0.465	0.487
y2	0.066	0.088	0.105	0.142	0.145	0.176
Condición de descarga libre (Swamee)	0.057	0.093	0.127	0.214	0.221	0.309
Tipo de Descarga	Libre	Libre	Libre	Libre	Libre	Libre
yo/a	5.983	6.500	6.917	7.333	7.750	8.117
cd	0.551	0.554	0.556	0.558	0.56	0.561
Qb teórico(Swamee) [m3/s]	0.043	0.0455	0.049	0.05	0.051	0.052
Qb teórico [m3/s]	0.0382	0.0440	0.0492	0.0518	0.0536	0.0552
(DIAGRAMA N-C-P)	11.28%	3.23%	-0.47%	-3.62%	-5.02%	-6.15%
Qb numérico [m3/s]	0.0388	0.0469	0.0520	0.0548	0.0546	0.0543
(Bohórquez)	9.71%	-3.08%	-6.12%	-9.68%	-7.12%	-4.39%

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

La comparación de resultados teóricos, versus los resultados obtenidos en el modelo numérico, muestra que los valores son semejantes, pues se tienen diferencias porcentuales con un valor máximo de 9.71%, que se ha obtenido en la prueba ejecutada con el menor caudal, a la cual le corresponde un menor número de Reynolds. Dichas diferencias porcentuales son aceptables, teniendo en consideración que las ecuaciones propuestas en la literatura, consideran que el flujo se desarrolla en un plano, lo cual supone que el flujo no varía en la tercera dirección, es decir, se asume una componente de velocidad constante, igual a cero en el tercer eje de coordenadas, por lo tanto, la representación simplificada de las variables de interés se lleva a cabo en únicamente dos direcciones espaciales, en

tanto que en el modelo numérico se ha realizado una caracterización del flujo en 3 dimensiones.

En lo que respecta a la cuantificación de los caudales de descarga superior, se consideraron los valores de la ubicación de la superficie de separación del flujo de aproximación a la compuerta vertedero (y_b), medidos desde el fondo del canal, que se muestran en los *gráficos desde el 4.35 al 4.40*. Lo indicado, con la finalidad de emplear los criterios expuestos en el numeral 3.1.2, respecto a la presencia del fondo virtual, generado debido a la subdivisión del flujo de aproximación. Se utilizó la ecuación (2.6), de la descarga sobre vertederos, cuyos coeficientes de descarga, para cada caso, fueron calculados mediante la expresión propuesta para el efecto, por Swamee (1988), ecuación (2.7).

Los valores calculados, y su comparación respecto a los obtenidos en el modelo numérico, se resumen en la *tabla 4.7*.

Tabla 4. 7: Cuantificación de caudales de descarga superior por medio de la ecuación de la descarga sobre vertederos (cd criterios de Swamee) – basados en el criterio de subdivisión del flujo de aproximación - Comparación respecto a los caudales obtenidos en el modelo numérico.

CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES POR MEDIO DE LA ECUACIÓN GENERAL DE DESCARGA SOBRE VERTEDEROS (CRITERIOS DE SWAMEE) COMPARACIÓN RESPECTO A LOS CAUDALES OBTENIDOS EN EL MODELO NUMÉRICO						
PRUEBA	EN-1	EN-2	EN-3	EN-4	EN-5	EN-6
Qi [m3/s]	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15
b = L	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
w	0.310	0.310	0.310	0.310	0.310	0.310
h	0.048	0.080	0.105	0.130	0.155	0.177
cd Swamee	0.622	0.630	0.636	0.642	0.648	0.653
Qa Teórico (Swamee)	0.0097	0.0210	0.0319	0.0444	0.0584	0.0718
Qa teórico [m3/s] (DIAGRAMA N-C-P)	0.0119	0.0260	0.0408	0.0582	0.0764	0.0948
	-22.65%	-23.39%	-27.61%	-30.96%	-30.92%	-31.97%
Qa numérico [m3/s] (Bohórquez)	0.0109	0.0233	0.0381	0.0551	0.0764	0.0956
	-13.00%	-10.93%	-19.25%	-24.07%	-30.92%	-33.14%
Yb (Fondo virtual)	0.265	0.245	0.232	0.195	0.19	0.195
wa= ya=w-yb	0.045	0.065	0.078	0.115	0.120	0.115
cd Swamee	0.690	0.702	0.711	0.711	0.715	0.735
Qa Teórico (Swamee)	0.0107	0.0235	0.0357	0.0492	0.0644	0.0808
Qa numérico [m3/s] (Bohórquez)	0.0109	0.0233	0.0381	0.0551	0.0764	0.0956
	-1.91%	0.47%	-6.72%	-12.03%	-18.66%	-18.34%

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Se determinó que, para esta cuantificación es válido el criterio del fondo virtual propuesto por Castro e Hidalgo (2002), pues efectivamente, al considerar la superficie de separación del flujo de aproximación, esta genera una altura ficticia del vertedero " W_a ". A partir de esta condición geométrica, se calcularon los coeficientes de descarga en cada caso, que se emplearon en la ecuación de descarga sobre vertederos, obteniendo valores cercanos a los generados en el modelo numérico.

Un aspecto importante a ser considerado, es que al aplicar el criterio del fondo virtual, para la obtención del coeficiente de descarga, el valor de este coeficiente se incrementa, respecto al valor obtenido al considerar la altura del vertedero desde el fondo del canal.

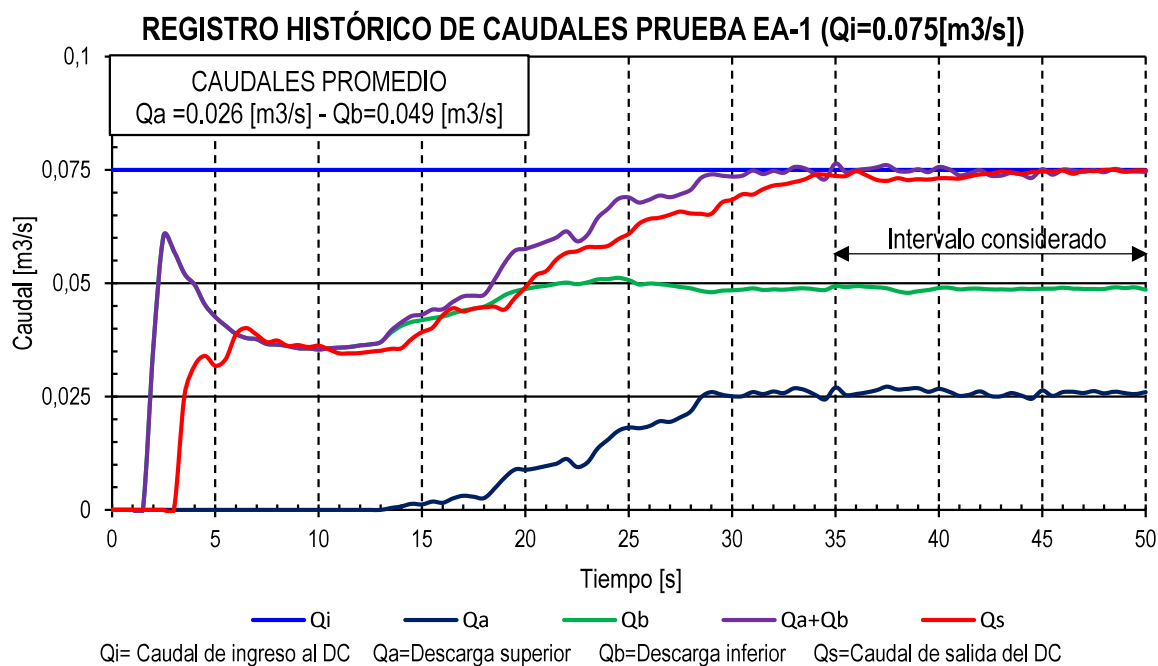
Al realizar la comparación entre los caudales teóricos vs los caudales obtenidos en el modelo numérico, se determinó que las diferencias porcentuales son muy pequeñas para las pruebas realizadas con caudales bajos, sin embargo, al incrementar los caudales, estas diferencias incrementan, llegando a un máximo del 18.66%. Todos los valores obtenidos mediante la ecuación de descarga sobre vertederos son menores que los generados por el modelo numérico. También se aceptan estas diferencias, bajo la misma premisa descrita en la cuantificación teórica de los caudales de descarga bajo la compuerta, sin embargo, esta condición sugiere la ejecución de trabajos futuros para calibrar las ecuaciones existentes.

4.2. RESULTADOS DEL ESCENARIO DE OPERACIÓN "A".

4.2.1. CAUDALES OBTENIDOS EN EL MODELO NUMÉRICO.

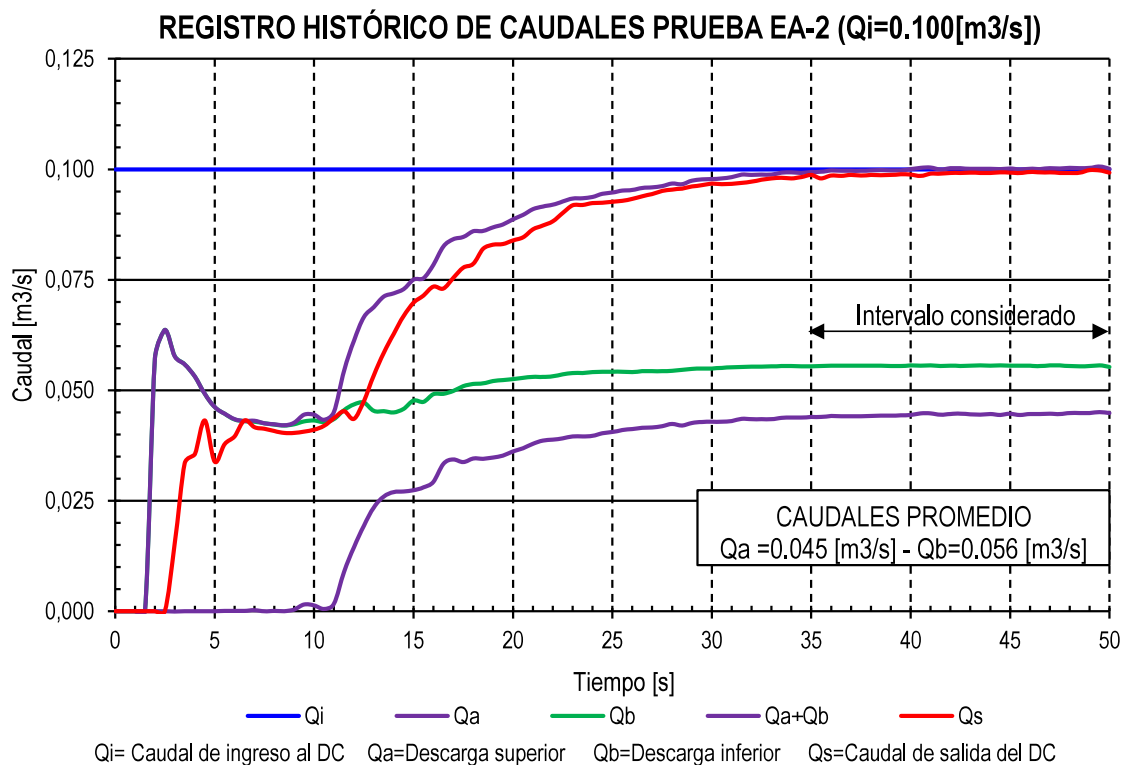
Los resultados obtenidos en este escenario, se han analizado empleando los criterios expuestos en el análisis de resultados del escenario de operación normal, de este modo, a continuación se exponen los gráficos que muestran la variación temporal de los caudales que atraviesan las secciones de interés, elaborados a partir de los registros históricos de caudales expuestos en el *anexo G*.

Gráfico 4. 41: Variación temporal de caudales en las secciones de interés - Prueba EA-1



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 42: Variación temporal de caudales en las secciones de interés - Prueba EA-2.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 43: Variación temporal de caudales en las secciones de interés - Prueba EA-3.

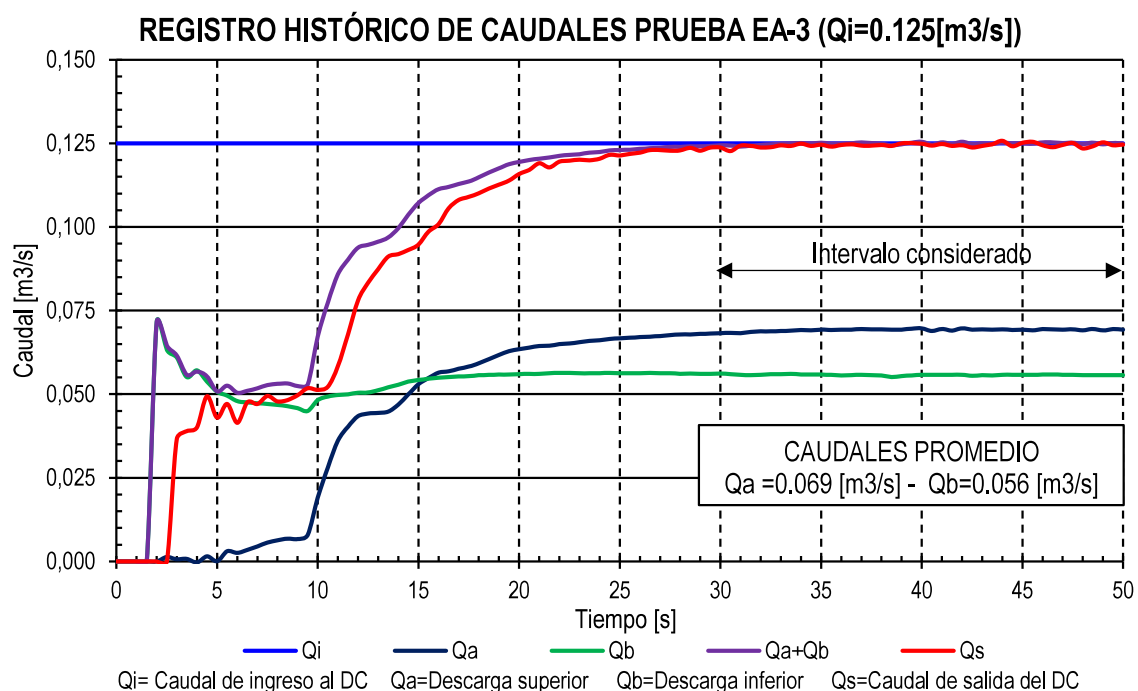


Gráfico 4. 44: Variación temporal de caudales en las secciones de interés - Prueba EA-4.

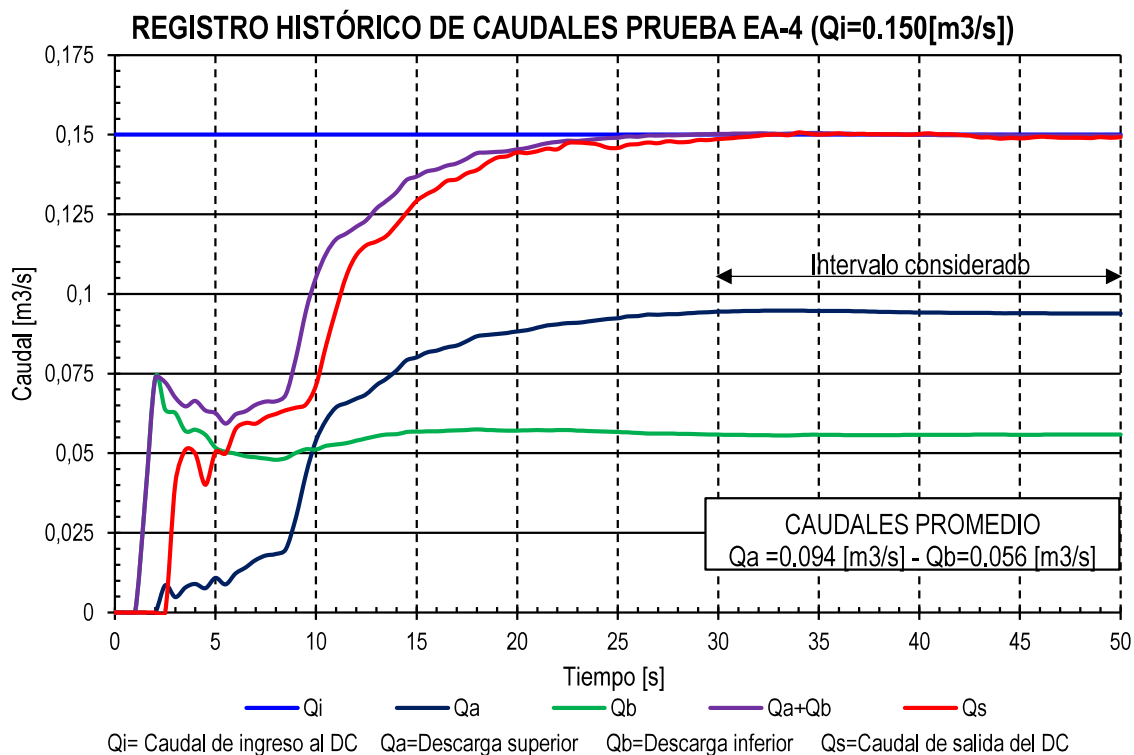
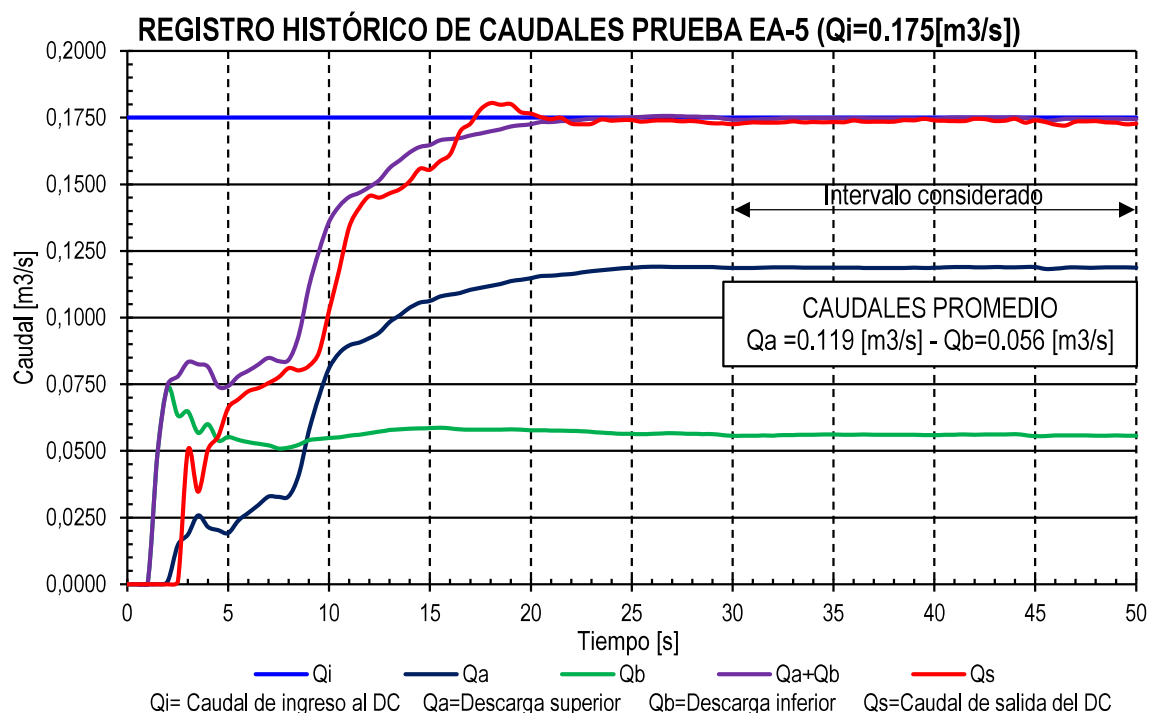
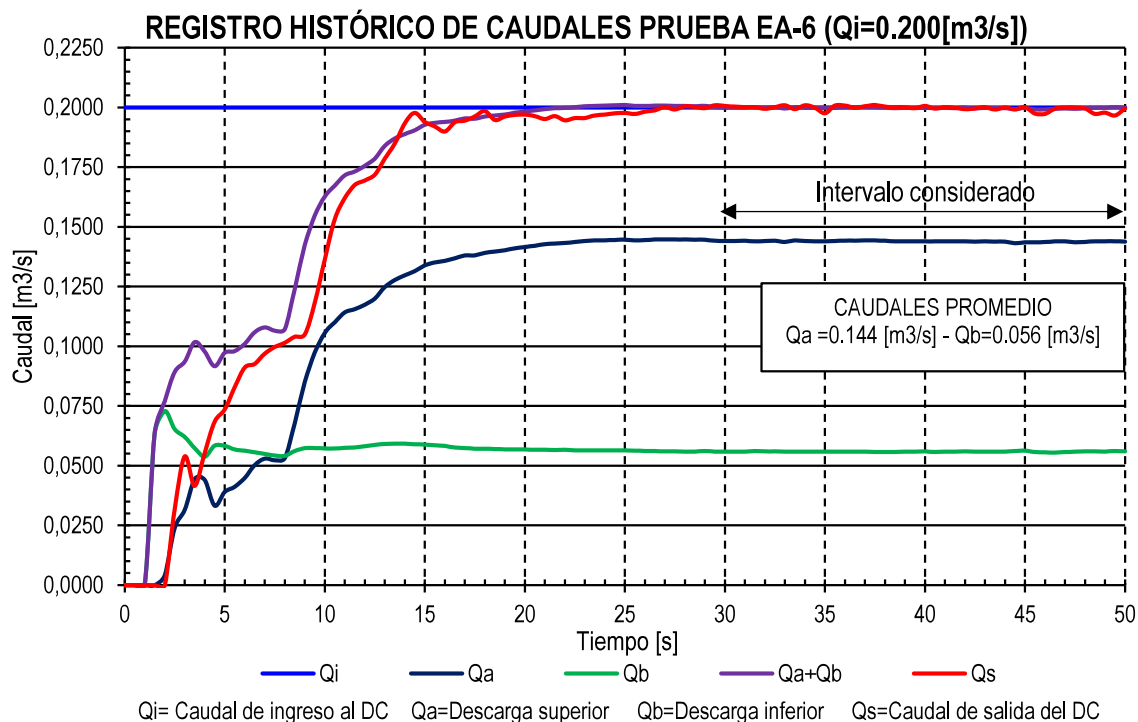


Gráfico 4. 45: Variación temporal de caudales en las secciones de interés - Prueba EA-5.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 46: Variación temporal de caudales en las secciones de interés - Prueba EA-6.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

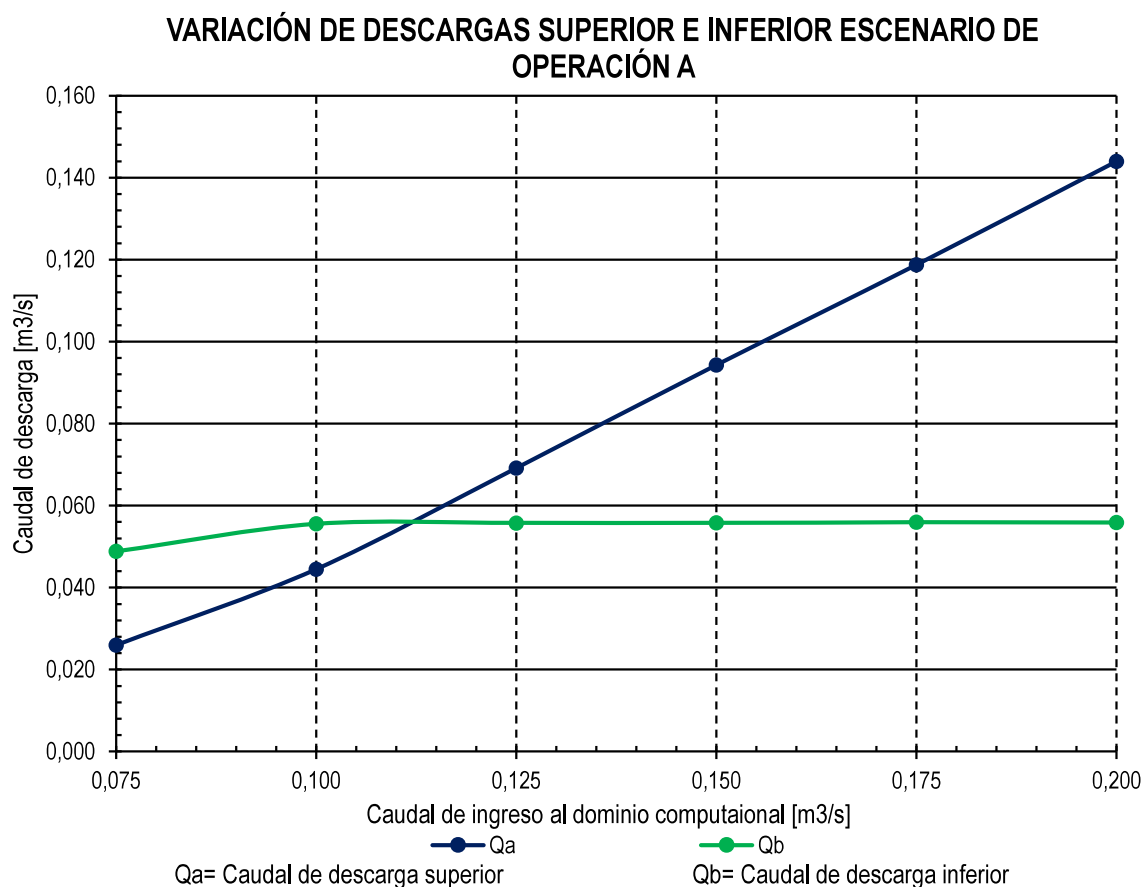
Los gastos de descarga superior, e inferior, respectivamente, correspondientes a las simulaciones numéricas realizadas en el escenario de operación "A" se muestran en la *tabla 4.8*.

Tabla 4. 8: Caudales de descarga superior e inferior - Escenario de operación "A".

CAUDALES DE DESCARGA SUPERIOR E INFERIOR ESCENARIO DE OPERACIÓN "A"			
Prueba	Qi	Qa	Qb
[-]	[m3/s]	[m3/s]	[m3/s]
EA-1	0.075	0.026	0.0488
EA-2	0.100	0.044	0.0555
EA-3	0.125	0.069	0.0558
EA-4	0.150	0.094	0.0558
EA-5	0.175	0.119	0.0559
EA-6	0.200	0.144	0.0559

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 47: Variación de descargas superior e inferior - Escenario de operación "A".



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

En la *tabla 4.9*, se muestran los caudales que atraviesan las secciones de interés para la evaluación de la continuidad. Puede evidenciarse que la máxima diferencia entre el flujo másico que ingresa al dominio computacional, respecto al flujo másico de salida, es de 1.331%, por lo tanto, existe continuidad en las simulaciones ejecutadas en el escenario de operación “A”.

Tabla 4. 9: Evaluación de la continuidad del flujo en el dominio computacional Escenario de operación “A”.

CAUDALES PROMEDIO EN LAS SECCIONES DE INTERÉS PARA EVALUACIÓN DE CONTINUIDAD							
Ubicación n	x=0	x=3.99	x=4.01	x=4		x=6.5	
Prueba [-]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Diferencia [%]	Qs [m3/s]	Diferencia [%]
EA-1	0.075	0.0259	0.0488	0.0747	-0.342%	0.0740	-1.331%
EA-2	0.100	0.0444	0.0555	0.0999	-0.067%	0.0990	-0.984%
EA-3	0.125	0.0692	0.0558	0.1249	-0.055%	0.1244	-0.458%
EA-4	0.150	0.0943	0.0558	0.1500	0.024%	0.1496	-0.248%
EA-5	0.175	0.1187	0.0559	0.1747	-0.191%	0.1735	-0.865%
EA-6	0.200	0.1439	0.0559	0.1998	-0.104%	0.1996	-0.191%

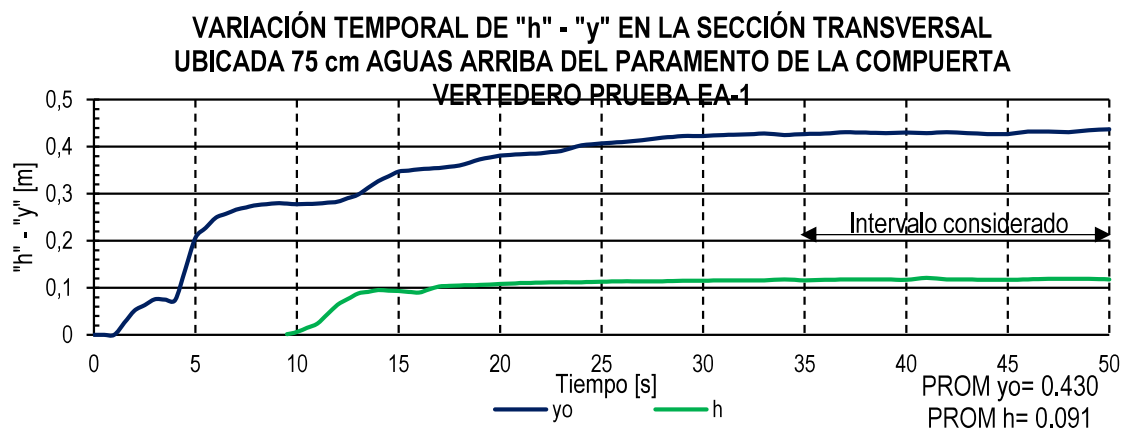
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

4.2.2. CALADOS DE APROXIMACIÓN Y CARGA SOBRE EL VERTEDERO.

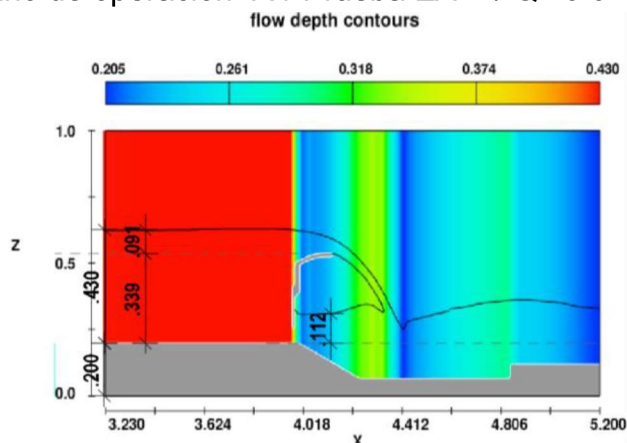
Se han desarrollado registros históricos que muestran los valores del calado de aproximación, y de la carga sobre el vertedero en la sección de interés, los cuales constan en el *anexo H*. Dichos registros son la base para la elaboración de los siguientes gráficos que permiten visualizar las variaciones temporales de los parámetros de flujo referidos, y sus valores promediados en los intervalos considerados.

Gráfico 4. 48: Variación temporal del calado en la sección transversal ubicada 75cm aguas arriba del paramento de la compuerta vertedero – Prueba EA-1 $Q_i=0.075$ [m³/s].



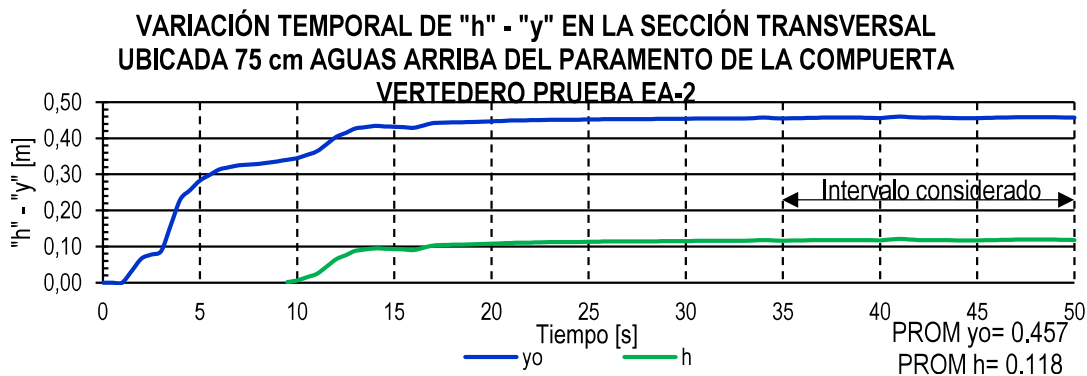
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 49: Calados promedio aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero - Escenario de operación "A" / Prueba EA-1 / $Q_i=0.075$ [m³/s].



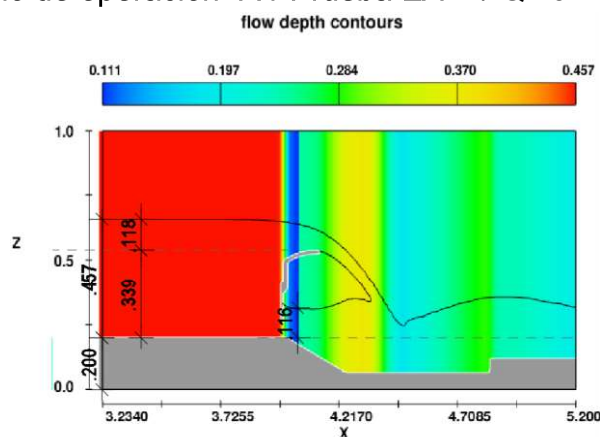
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 50: Variación temporal del calado en la sección transversal ubicada 75cm aguas arriba del paramento de la compuerta vertedero – Prueba EA-2 $Q_i=0.100$ [m³/s].



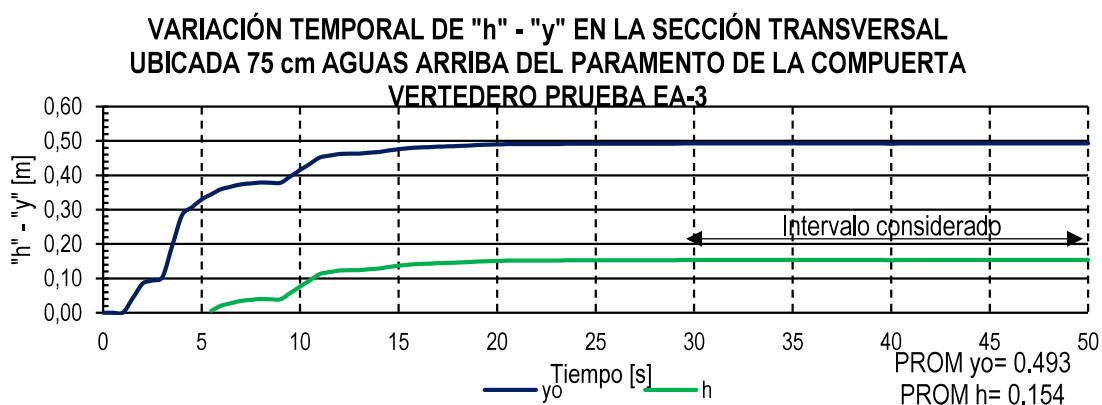
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 51: Calados promedio aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero - Escenario de operación "A" / Prueba EA-2 / $Q_i=0.100$ [m³/s].



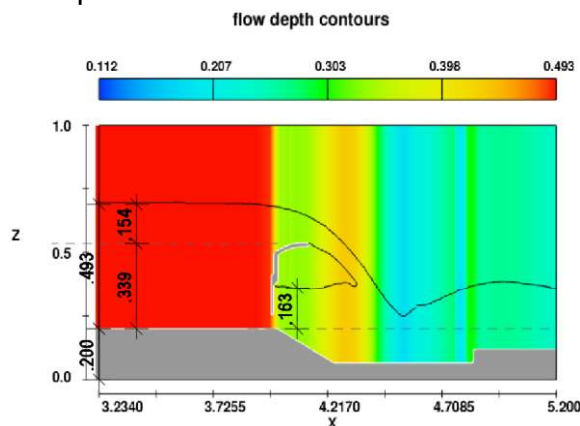
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 52: Variación temporal del calado en la sección transversal ubicada 75cm aguas arriba del paramento de la compuerta vertedero – Prueba EA-3 $Q_i=0.125$ [m³/s].



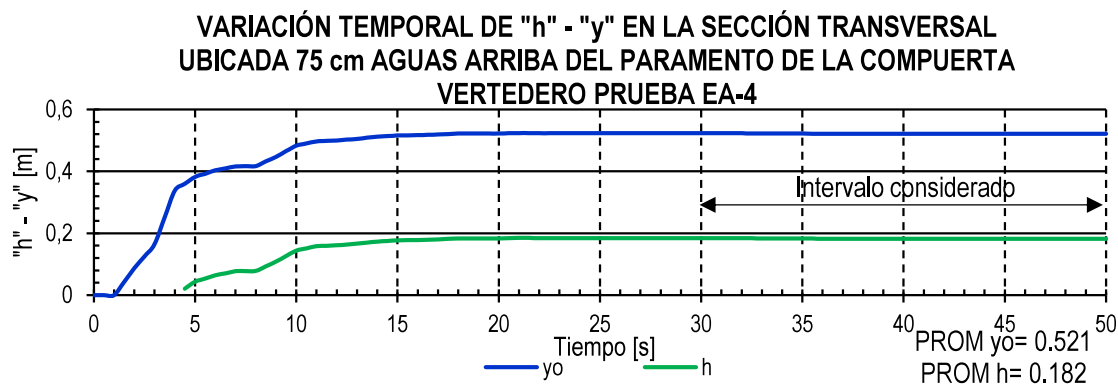
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 53: Calados promedio aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero Escenario de operación "A" / Prueba EA-3 / $Q_i=0.125$ [m³/s].



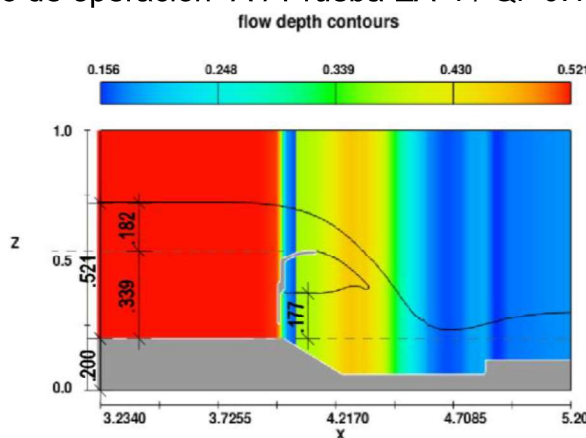
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 54: Variación temporal del calado en la sección transversal ubicada 75cm aguas arriba del paramento de la compuerta vertedero – Prueba EA-4 $Q_i=0.150$ [m³/s].



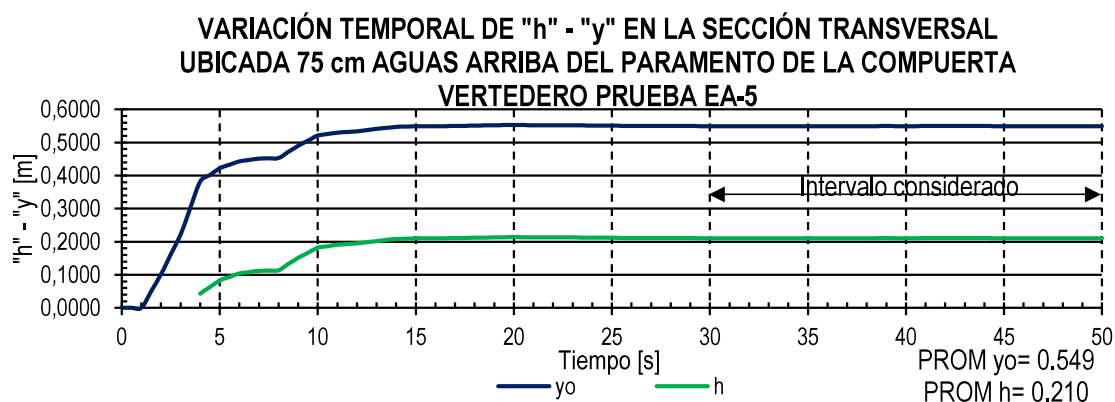
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 55: Calados promedio aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero - Escenario de operación "A" / Prueba EA-4 / $Q_i=0.150$ [m³/s].



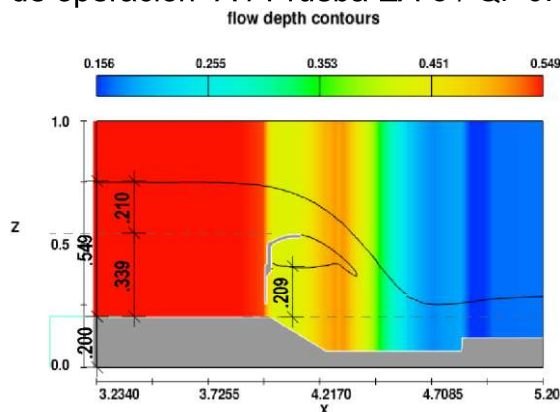
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 56: Variación temporal del calado en la sección transversal ubicada 75cm aguas arriba del paramento de la compuerta vertedero – Prueba EA-5 $Q_i=0.175$ [m³/s].



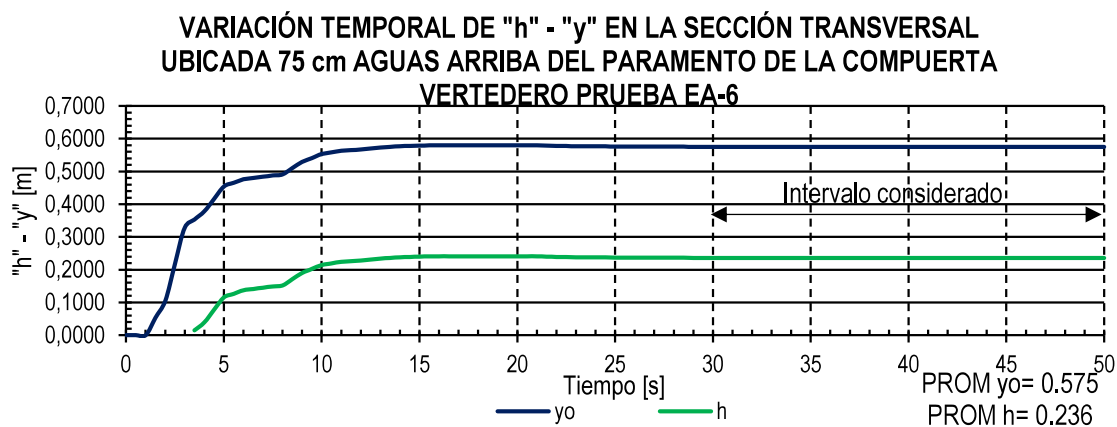
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 57: Calados promedio aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero - Escenario de operación "A" / Prueba EA-5 / $Q_i=0.175$ [m³/s].



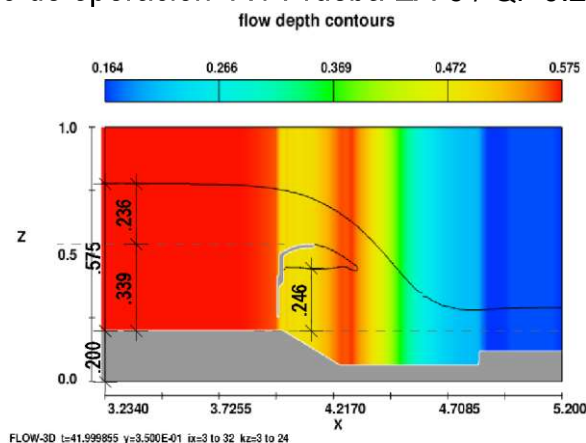
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 58: Variación temporal del calado en la sección transversal ubicada 75cm aguas arriba del paramento de la compuerta vertedero – Prueba EA-6 $Q_i=0.200$ [m³/s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 59: Calados promedio aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero - Escenario de operación "A" / Prueba EA-6 / $Q_i=0.200$ [m³/s].



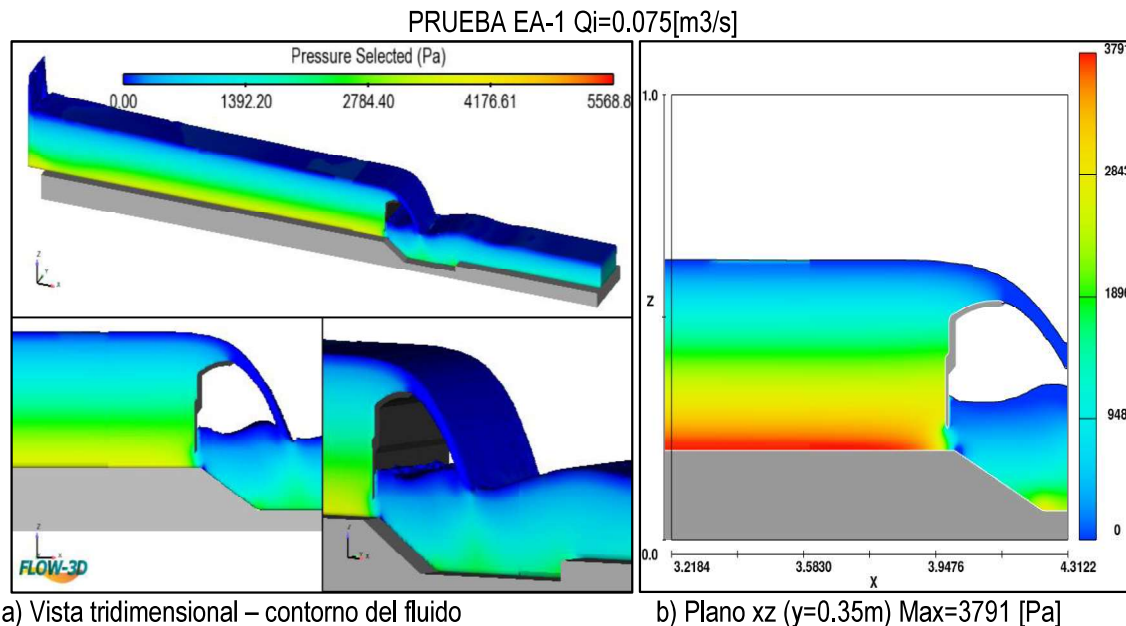
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Los calados mostrados en los gráficos precedentes, serán utilizados para cuantificar teóricamente los caudales de descarga superior, e inferior, respectivamente, mediante las ecuaciones generales de descarga bajo compuertas, y sobre vertederos, respectivamente.

4.2.3. PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL.

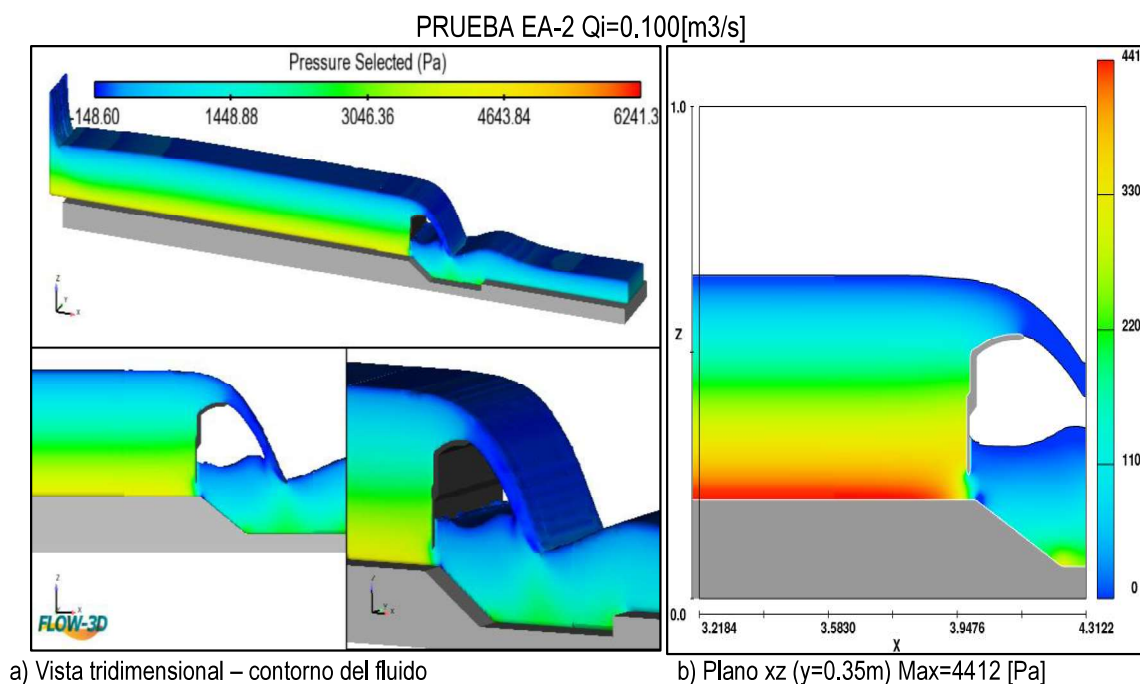
Con la finalidad de representar la variación de las presiones en los intervalos considerados para cada simulación ejecutada en el escenario de operación “A”, en el *anexo I*, se muestran los gráficos para el efecto. A continuación se exponen gráficos que muestran las presiones en un determinado instante, de cada una de las simulaciones.

Gráfico 4. 60: Presiones en el dominio computacional – Prueba EA-1.



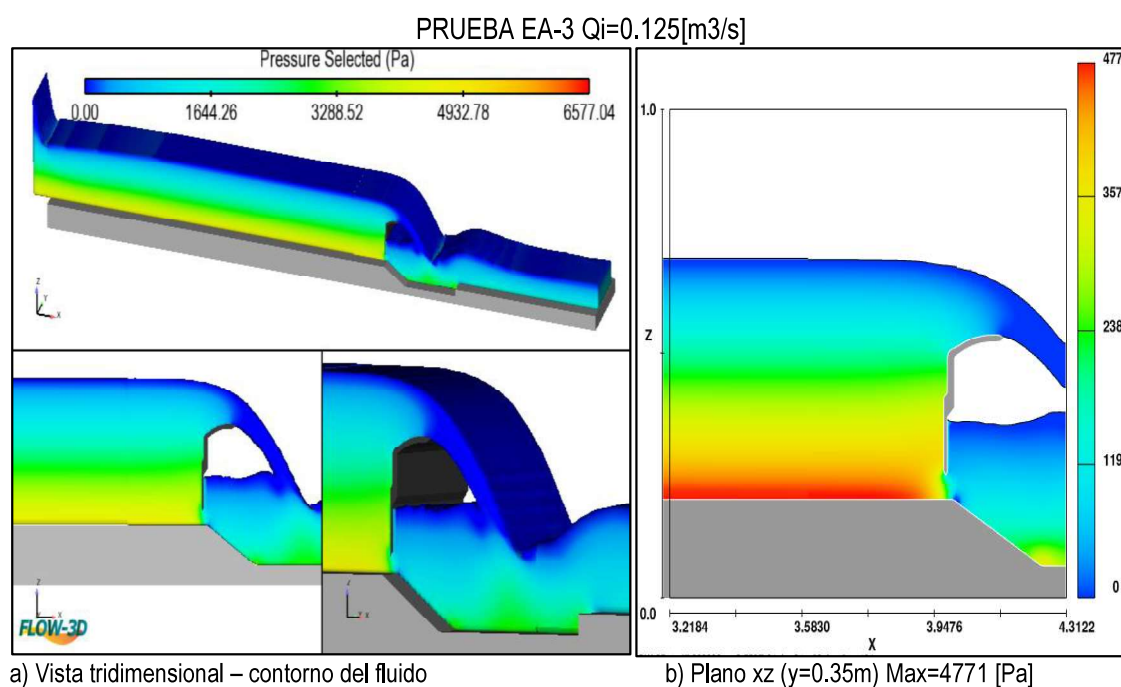
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 61: Presiones en el dominio computacional – Prueba EA-2.



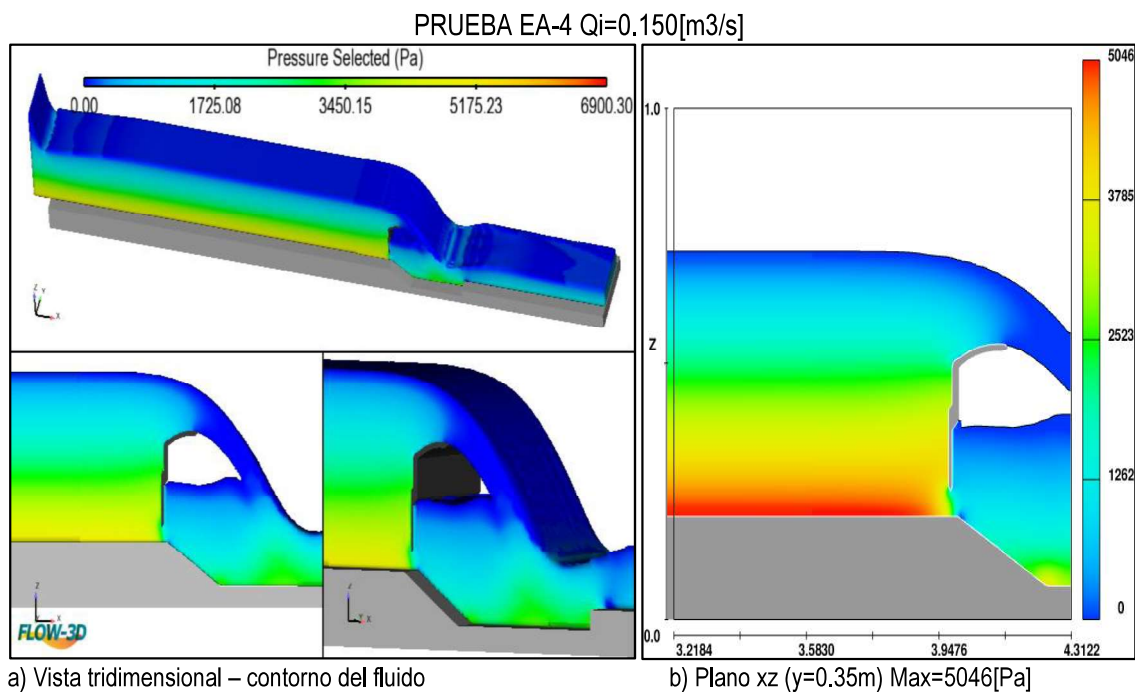
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 62: Presiones en el dominio computacional – Prueba EA-3.



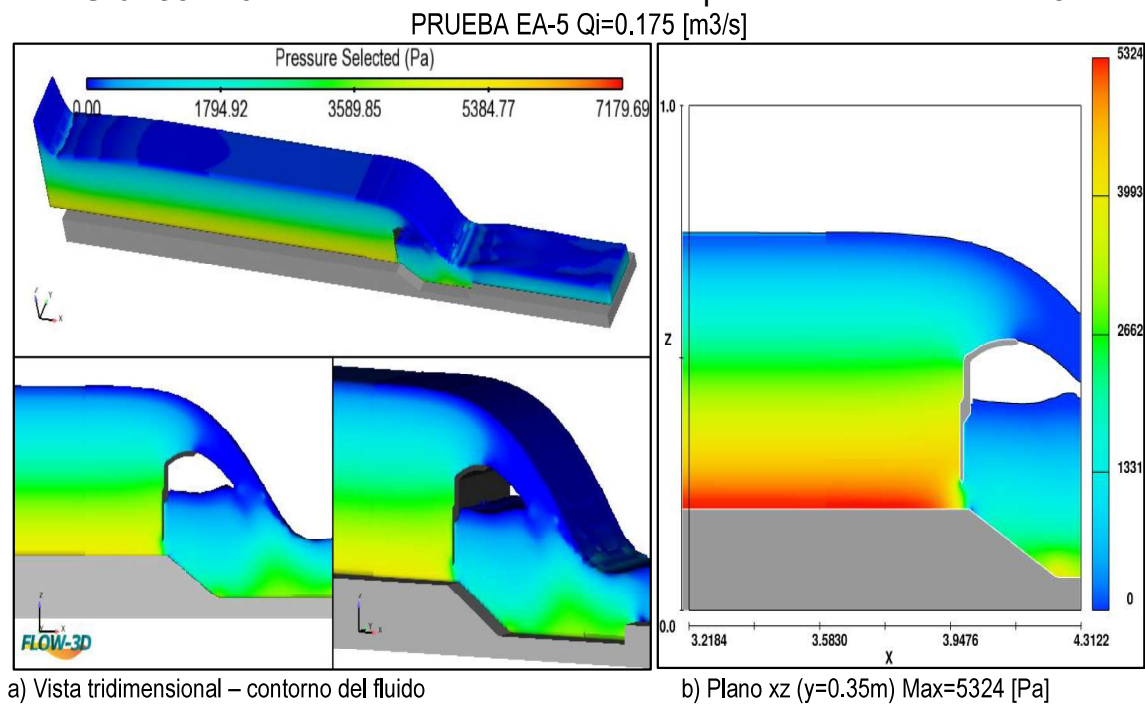
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 63: Presiones en el dominio computacional – Prueba EA-4.



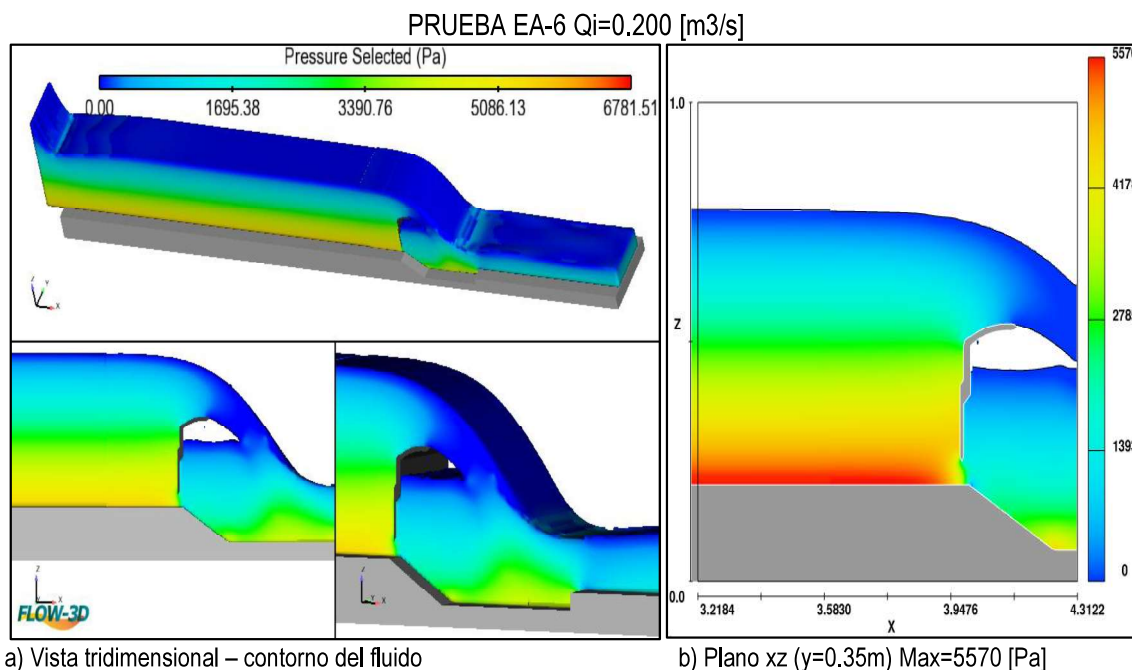
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 64: Presiones en el dominio computacional – Prueba EA-5.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 65: Presiones en el dominio computacional – Prueba EA-6.



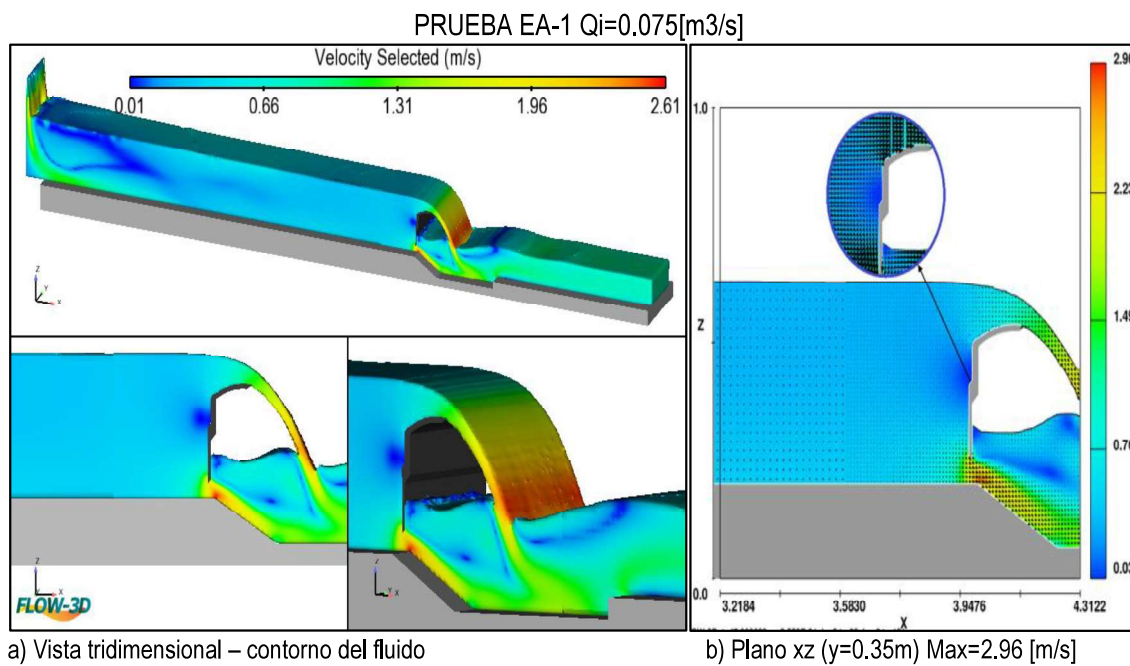
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Las presiones desarrolladas en el dominio computacional, en este escenario, se asemejan a las obtenidas cuando la compuerta vertedero posee las condiciones de operación normales, de tal manera que esta variable del flujo tiene sus valores mínimos en la superficie del fluido (que se encuentra en contacto con la atmósfera), e incrementa conforme aumenta la profundidad.

4.2.4. VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL.

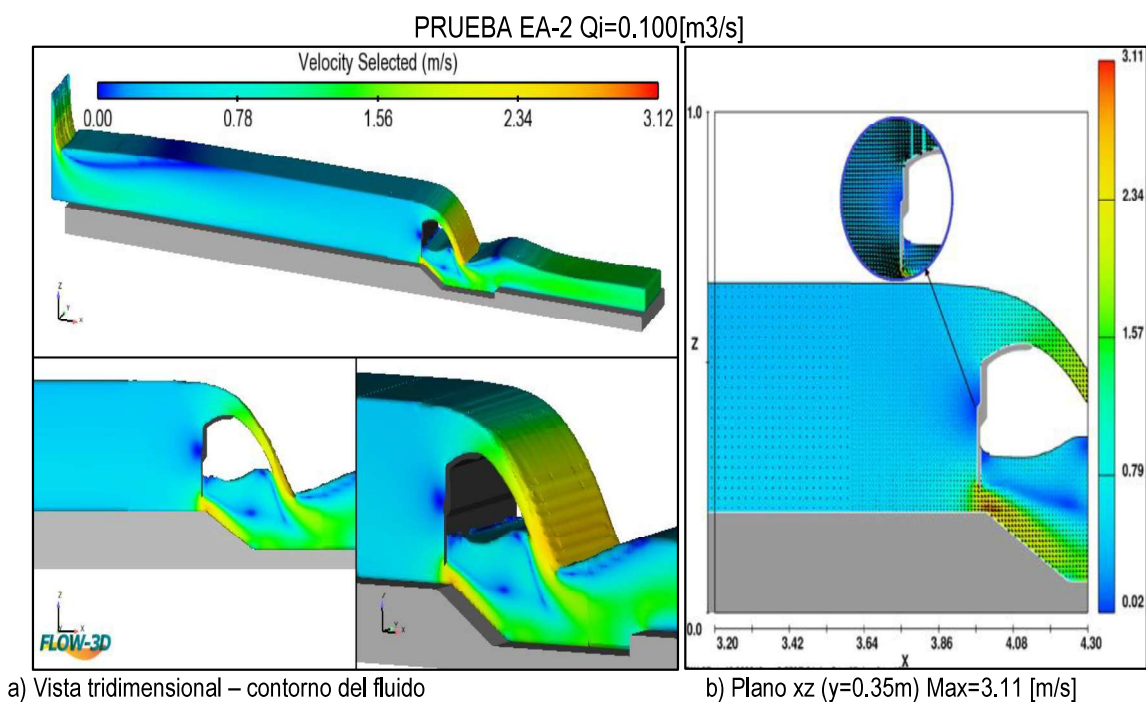
En el *anexo J*, se muestran los gráficos que dan cuenta de la variación de la velocidad en el dominio computacional en varios instantes de las simulaciones realizadas en el escenario de operación “A”. En afán de describir esta variable del flujo, a continuación se presentan los gráficos que muestran su variación en las zonas de interés en el dominio computacional.

Gráfico 4. 66: Velocidades en el dominio computacional Prueba EN-1.



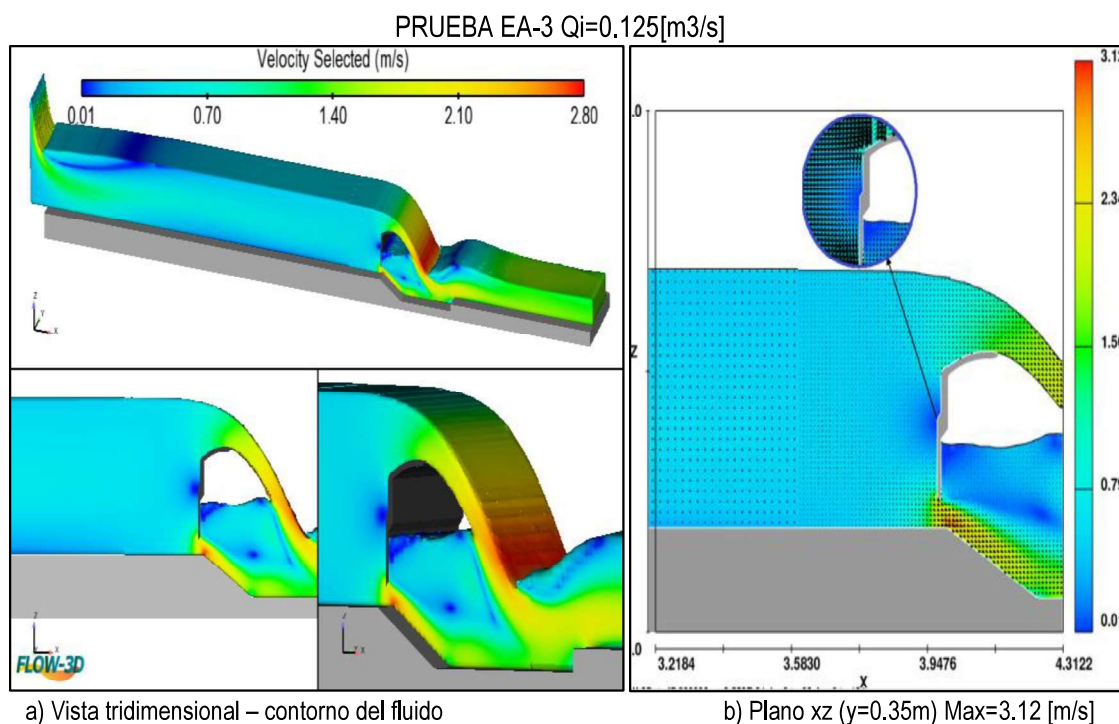
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 67: Velocidades en el dominio computacional Prueba EN-2.



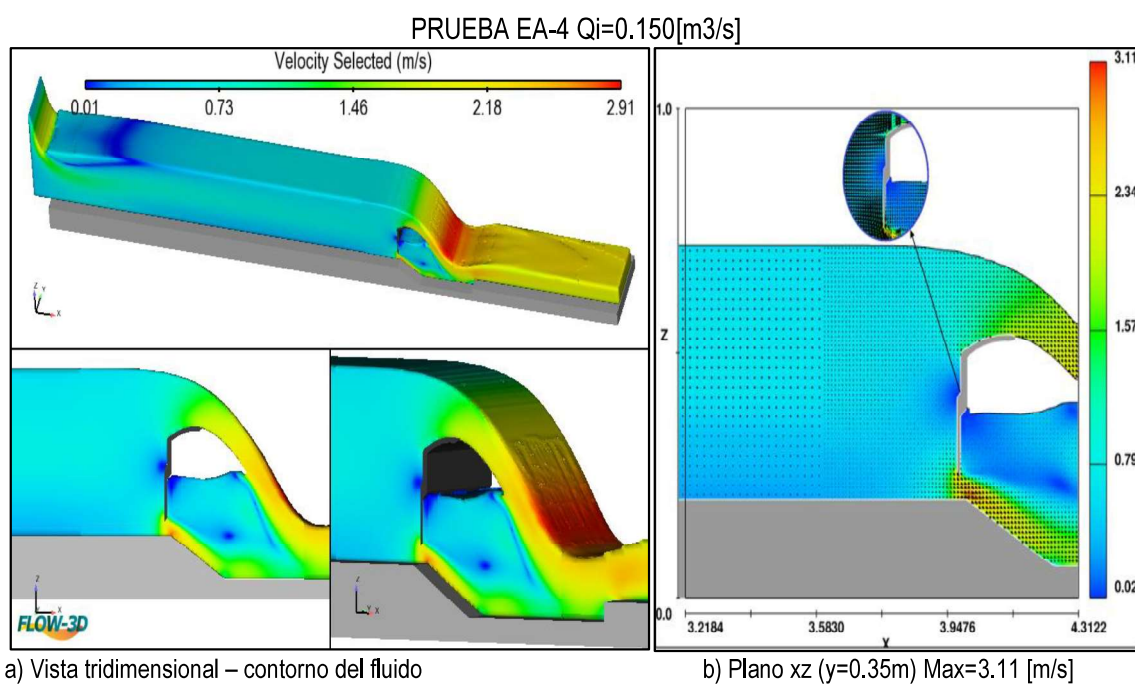
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 68: Velocidades en el dominio computacional Prueba EN-3.



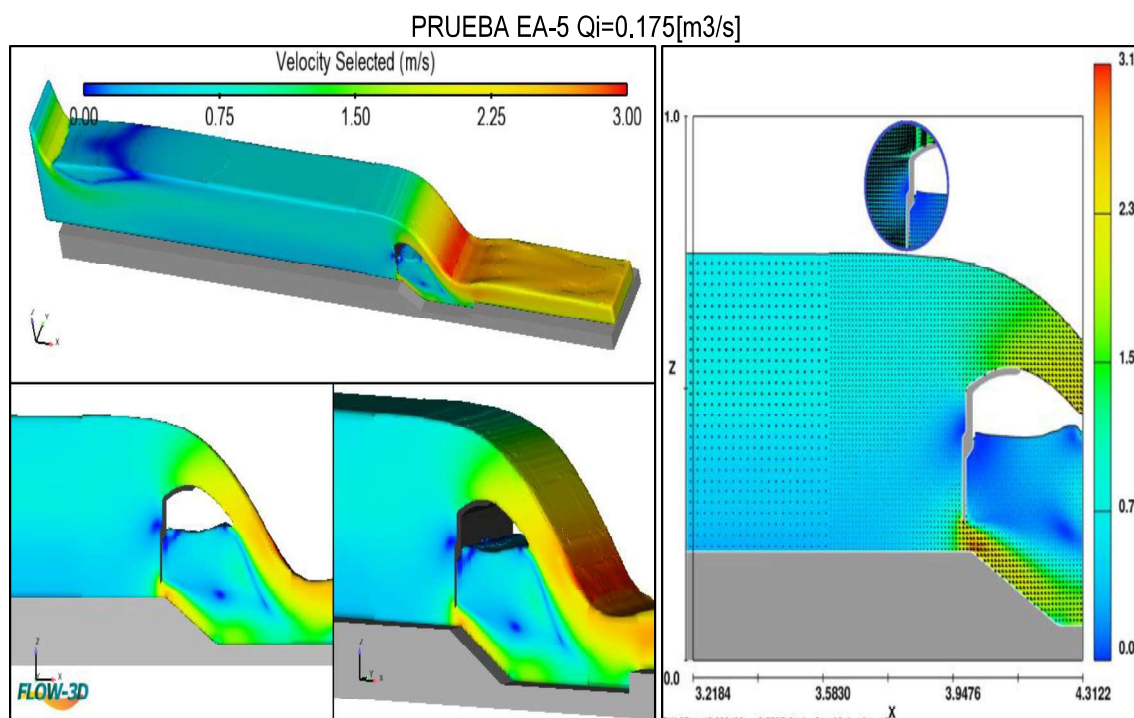
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 69: Velocidades en el dominio computacional Prueba EN-4.



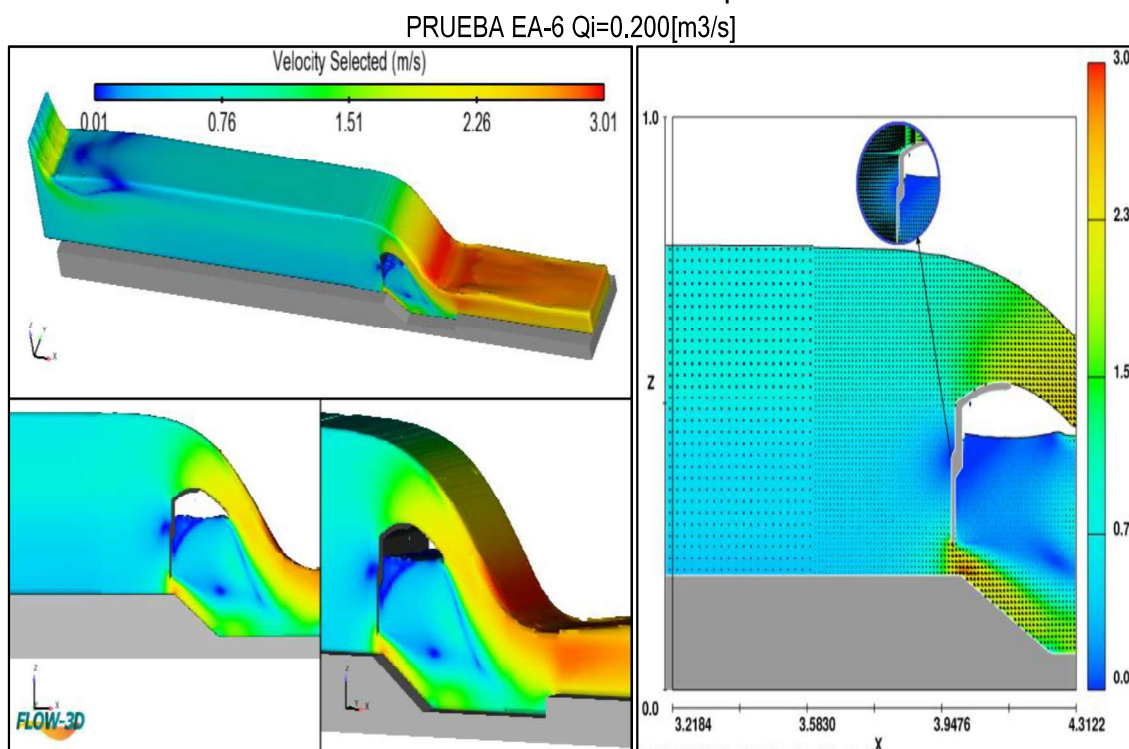
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 70: Velocidades en el dominio computacional Prueba EN-5.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 71: Velocidades en el dominio computacional Prueba EN-6.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

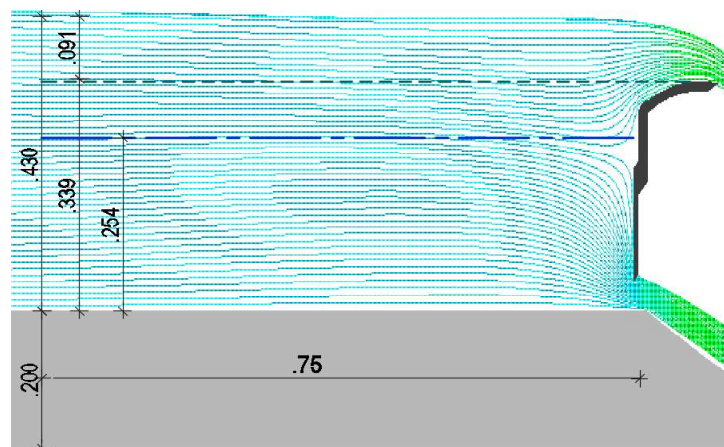
En los gráficos anteriores, se evidencia que en este escenario también se produce el cambio de dirección de los vectores velocidad en las inmediaciones del paramento vertical de la compuerta vertedero.

También se distingue el incremento de este parámetro del flujo superior a partir de dicho paramento en cuanto al flujo superior, y, en lo que respecta al flujo inferior, es notorio el aumento del valor de la velocidad en la proximidad del labio inferior de la compuerta, obteniendo valores máximos en el vértice donde inicia la depresión del fondo del nivel.

4.2.5. IDENTIFICACIÓN DE LA UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN ENTRE LOS FLUJOS SUPERIOR E INFERIOR.

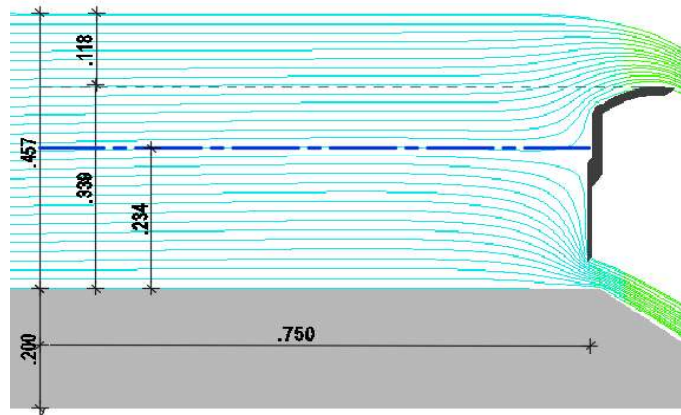
Al igual que en el escenario normal, se generaron gráficos bidimensionales en el plano "xz", que permiten visualizar la trayectoria de las partículas del fluido; en estos se puede visualizar el fondo virtual generado a lo largo de la línea de separación de los flujos superior e inferior, de este modo, en los gráficos 4.72 a 4.77, se muestran la distancia desde el fondo del canal donde ocurre el fenómeno de separación de los dos flujos.

Gráfico 4. 72: Ubicación de la línea de separación de la corriente - Prueba EA-1.- $Q_i=0.075[m^3/s]$.



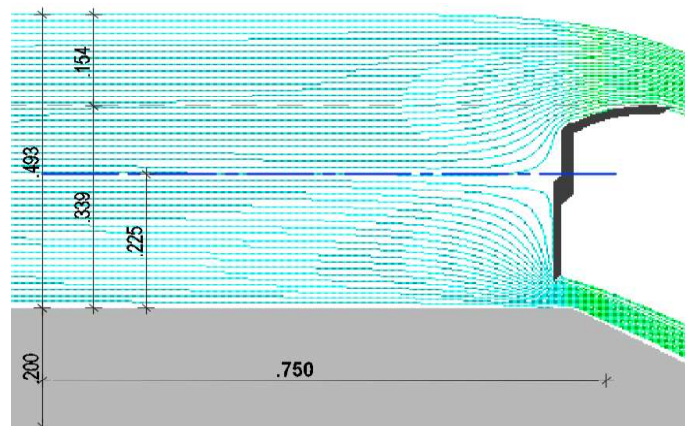
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 73: Ubicación de la línea de separación de la corriente - Prueba EA-2.-
 $Q_i=0.100[m^3/s]$.



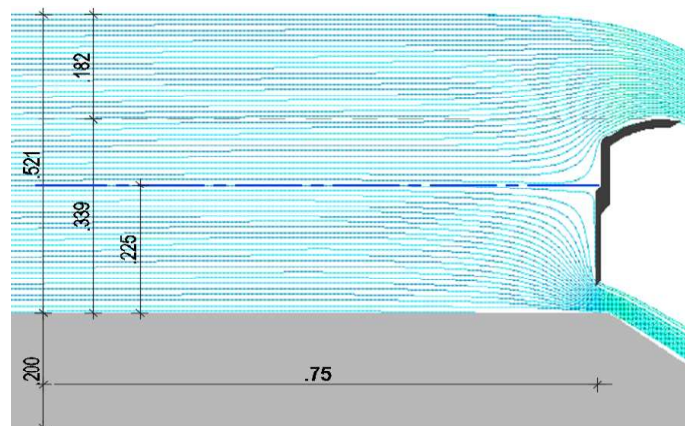
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 74: Ubicación de la línea de separación de la corriente - Prueba EA-3.-
 $Q_i=0.125[m^3/s]$.



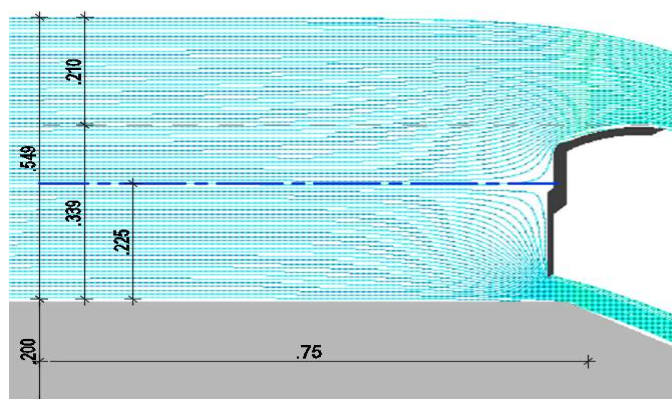
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 75: Ubicación de la línea de separación de la corriente - Prueba EA-4.-
 $Q_i=0.150 [m^3/s]$.



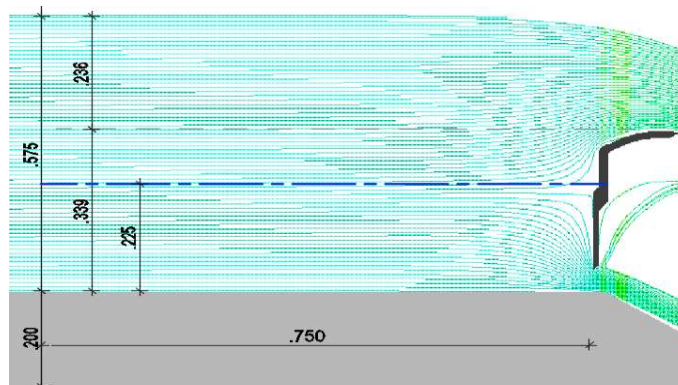
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 76: Ubicación de la línea de separación de la corriente - Prueba EA-5.-
 $Q_i=0.175$ [m³/s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 77: Ubicación de la línea de separación de la corriente - Prueba EA-6.-
 $Q_i=0.200$ [m³/s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

4.2.6. CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES MEDIANTE LAS ECUACIONES DE DESCARGA BAJO COMPUERTAS Y SOBRE VERTEDEROS.

Empleando la ecuación de la descarga bajo compuertas (2.3), se obtuvieron los valores teóricos de la descarga inferior (Q_b), resumidos en la *tabla 4.10*, en la cual también se muestran los valores de los calados aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero, empleados para los cálculos respectivos.

Al comparar los resultados teóricos (obtenidos mediante la ecuación de descarga bajo compuertas), con los obtenidos en el modelo numérico, se evidencia que las diferencias porcentuales entre ellos son pequeñas, las cuales, como se indicó previamente, se justifican por cuanto las ecuaciones planteadas, consideran un flujo en dos dimensiones, en tanto que el modelo numérico es tridimensional.

Tabla 4. 10: Cuantificación de caudales de descarga inferior por medio de la ecuación de la descarga bajo compuertas (cd criterios de Swamee) del Escenario de operación “A”– Comparación respecto a los caudales obtenidos en el modelo numérico.

CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES EN BASE A LA ECUACIÓN DE LA DESCARGA BAJO COMPUERTAS (CRITERIO DE SWAMEE)- COMPARACIÓN RESPECTO A LOS CAUDALES OBTENIDOS EN EL MODELO NUMÉRICO						
PRUEBA	EN-1	EN-2	EN-3	EN-4	EN-5	EN-6
Qi [m3/s]	0.075	0.1	0.125	0.15	0.175	0.2
b = L	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
a	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
yo	0.430	0.457	0.493	0.521	0.549	0.575
y2	0.112	0.116	0.163	0.177	0.209	0.246
Condición de descarga libre (Swamee)	0.142	0.151	0.271	0.312	0.416	0.550
Tipo de Descarga	Libre	Libre	Libre	Libre	Libre	Libre
yo/a	7.171	7.617	8.216	8.690	9.154	9.583
cd	0.557	0.559	0.55	0.56	0.565	0.566
Qb teórico [m3/s] (Swamee)	0.049	0.05	0.051	0.054	0.056	0.057
Qb numérico [m3/s] (Bohórquez)	0.0488	0.0555	0.0558	0.0558	0.0559	0.0559
	0.37%	-11.07%	-9.32%	-3.28%	0.13%	1.99%

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Para la cuantificación de caudales teóricos de descarga superior, se consideró el criterio del fondo virtual, desarrollado por la subdivisión del flujo de aproximación, el cual se encuentra ubicado a una distancia “ y_b ”, medida desde el fondo del canal (gráficos 4.72 a 4.77), que genera la altura ficticia del vertedero “ W_a ”. Se empleó la ecuación (2.6) de la descarga sobre vertederos, y los coeficientes de descarga, se obtuvieron mediante la expresión (2.7) propuesta por Swamee (1988).

Tabla 4. 11: Cuantificación de caudales de descarga superior por medio de la ecuación de la descarga sobre vertederos (cd criterios de Swamee) basados en el criterio del fondo virtual del escenario de operación “A” - Comparación respecto a los caudales obtenidos en el modelo numérico.

CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES POR MEDIO DE LA ECUACIÓN GENERAL DE DESCARGA SOBRE VERTEDEROS (CRITERIOS DE SWAMEE) COMPARACIÓN RESPECTO A LOS CAUDALES OBTENIDOS EN EL MODELO NUMÉRICO						
PRUEBA	EN-1	EN-2	EN-3	EN-4	EN-5	EN-6
Qi	0.075	0.1	0.125	0.15	0.175	0.2
b = L	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
w	0.310	0.310	0.310	0.310	0.310	0.310
h	0.091	0.118	0.154	0.182	0.210	0.236
cd Swamee	0.633	0.639	0.648	0.655	0.661	0.668
Qa Teórico (Swamee)	0.0256	0.0383	0.0578	0.0750	0.0940	0.1130
Qa numérico (Bohórquez)	0.0259	0.0445	0.0692	0.0943	0.1187	0.1439
	-1.11%	-16.30%	-19.68%	-25.62%	-26.37%	-27.36%
Yb (Fondo virtual)	0.254	0.234	0.225	0.225	0.225	0.225
wa= ya=w-yb	0.056	0.076	0.085	0.085	0.085	0.085
cd Swamee	0.731	0.726	0.745	0.769	0.793	0.815
Qa Teórico (Swamee)	0.0296	0.0434	0.0665	0.0881	0.1126	0.1379
Qa numérico (Bohórquez)	0.0259	0.0445	0.0692	0.0943	0.1187	0.1439
	12.50%	-2.40%	-4.08%	-6.94%	-5.41%	-4.35%

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

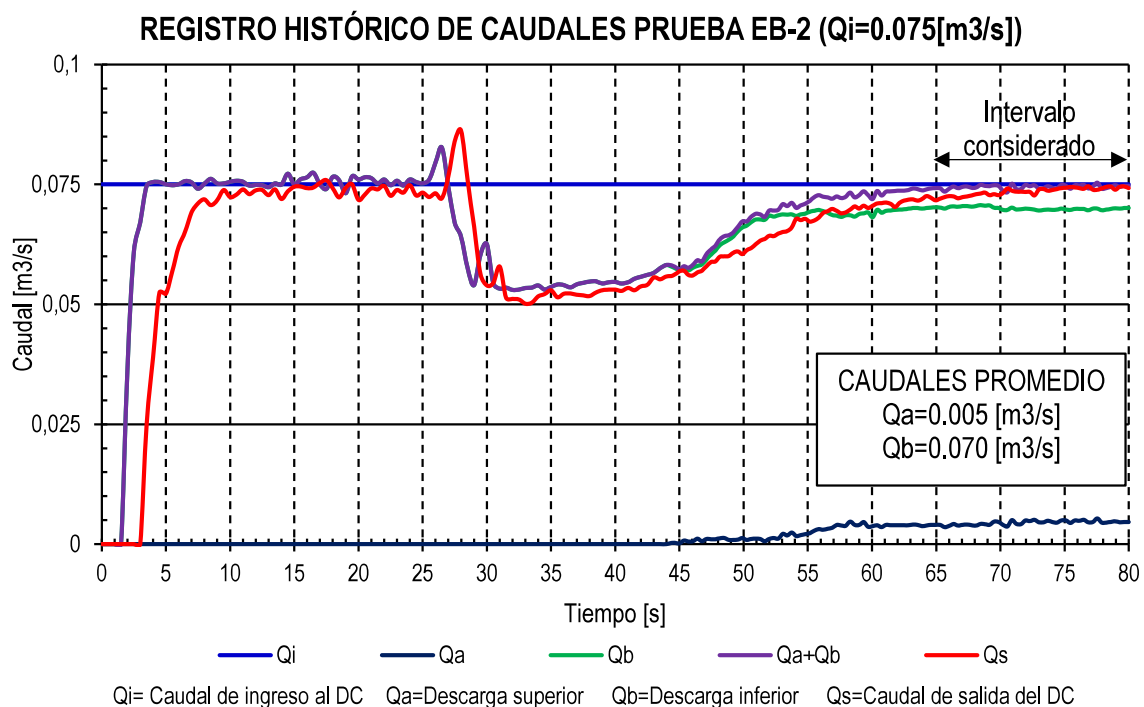
Los resultados obtenidos mediante la ecuación de descarga sobre vertederos son muy similares a los generados en el modelo numérico, por lo tanto, se concluye que dicha ecuación representa con alto grado de precisión la descarga de un vertedero que tiene la geometría propuesta en el escenario de operación “A”.

4.3. RESULTADOS DEL ESCENARIO DE OPERACIÓN “B”.

4.3.1. CAUDALES OBTENIDOS EN EL MODELO NUMÉRICO.

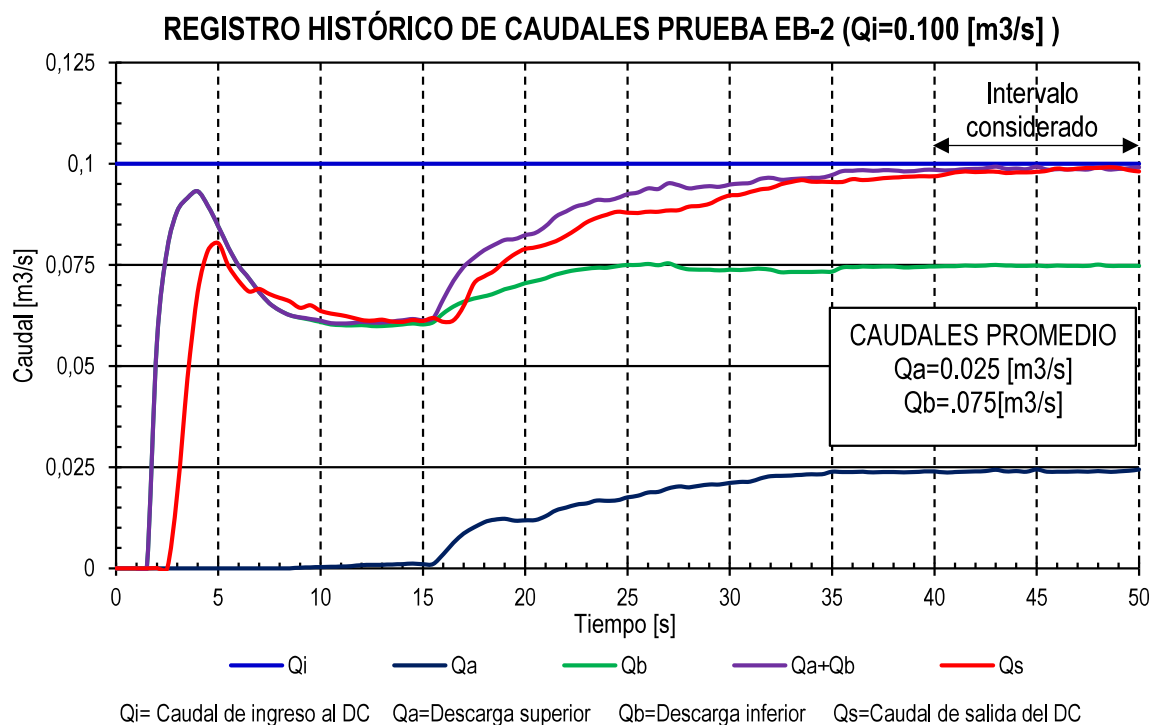
Los criterios expuestos en los escenarios previos, son válidos para el análisis de resultados del escenario de operación “B”. Seguidamente se exponen los que muestran la variación temporal de los caudales que atraviesan las secciones de interés, que fueron elaborados a partir de los registros históricos de caudales expuestos en el *anexo K*.

Gráfico 4. 78: Variación temporal de caudales en las secciones de interés - Prueba EB-1.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 79: Variación temporal de caudales en las secciones de interés - Prueba EB-2.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 80: Variación temporal de caudales en las secciones de interés - Prueba EB-3.

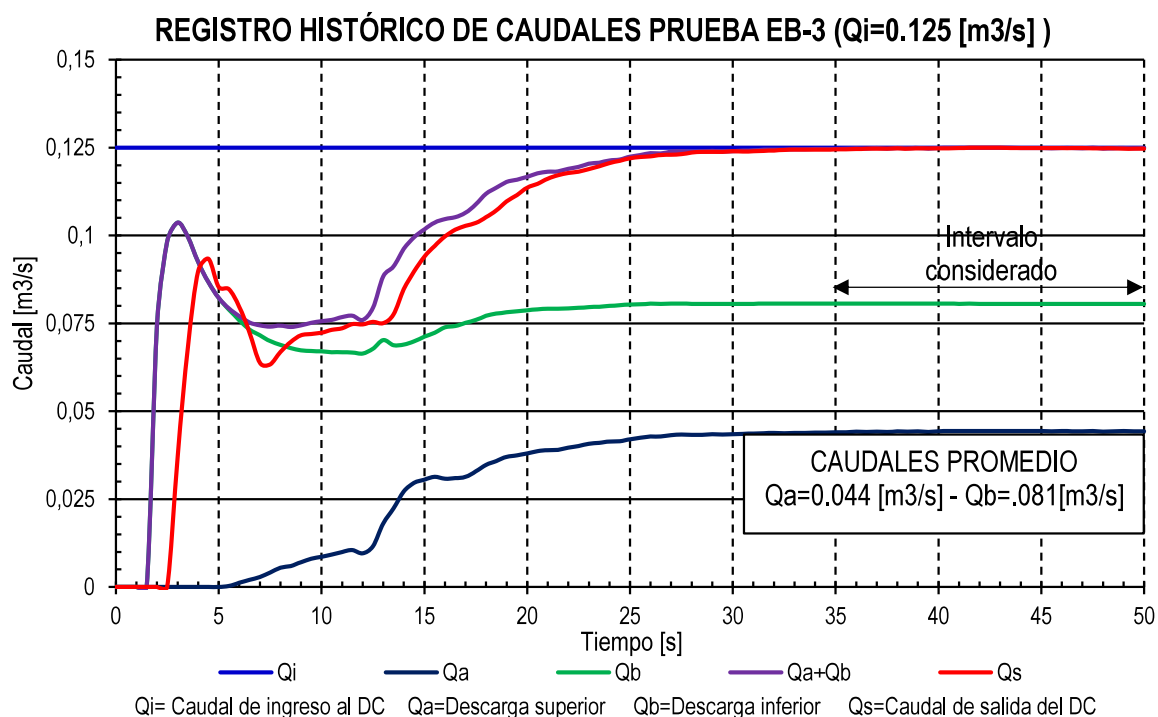


Gráfico 4. 81: Variación temporal de caudales en las secciones de interés - Prueba EB-4.

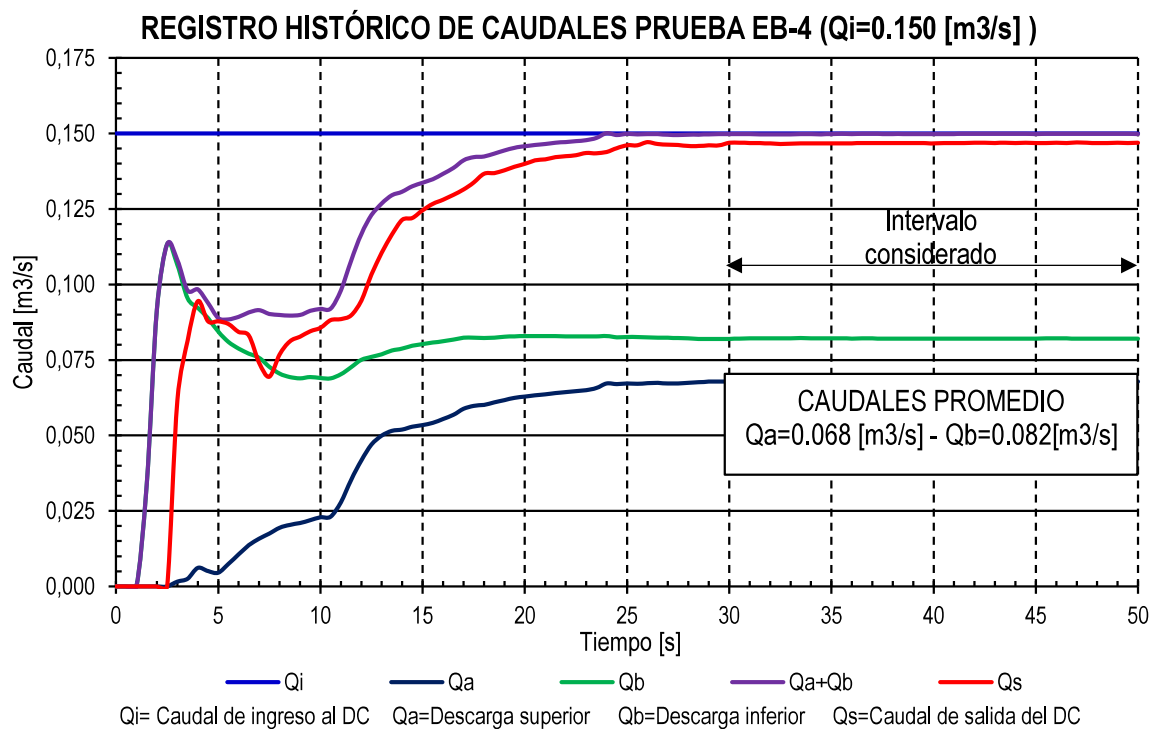
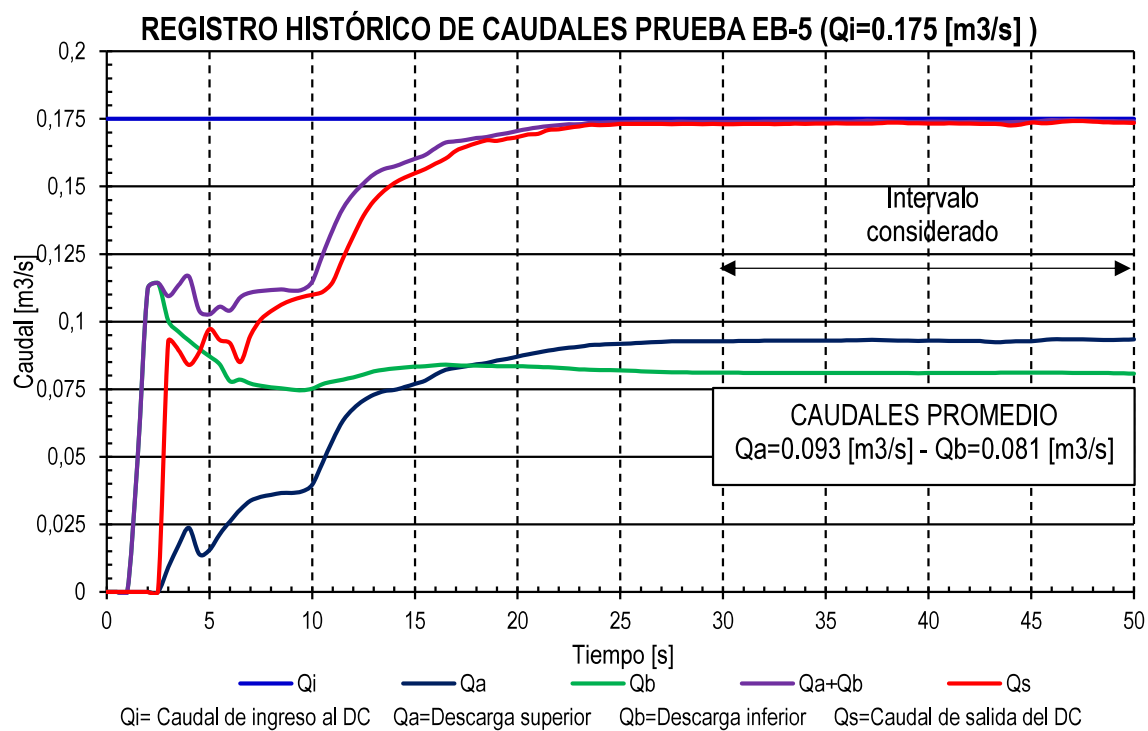
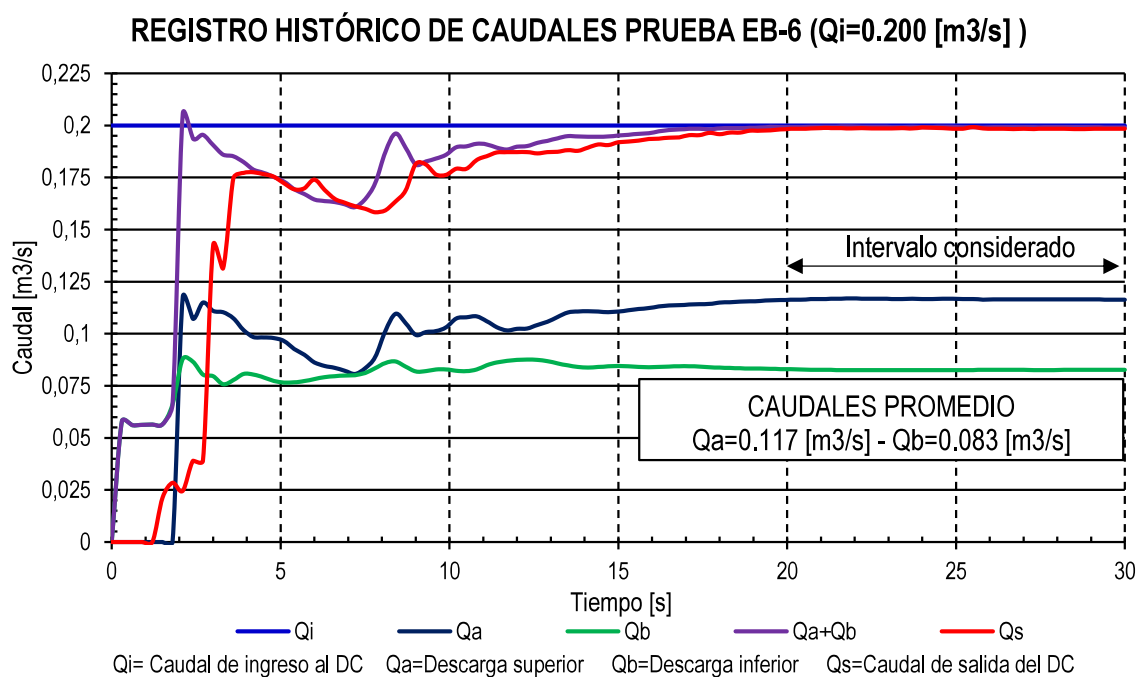


Gráfico 4. 82: Variación temporal de caudales en las secciones de interés - Prueba EB-5.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 83: Variación temporal de caudales en las secciones de interés - Prueba EB-6.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

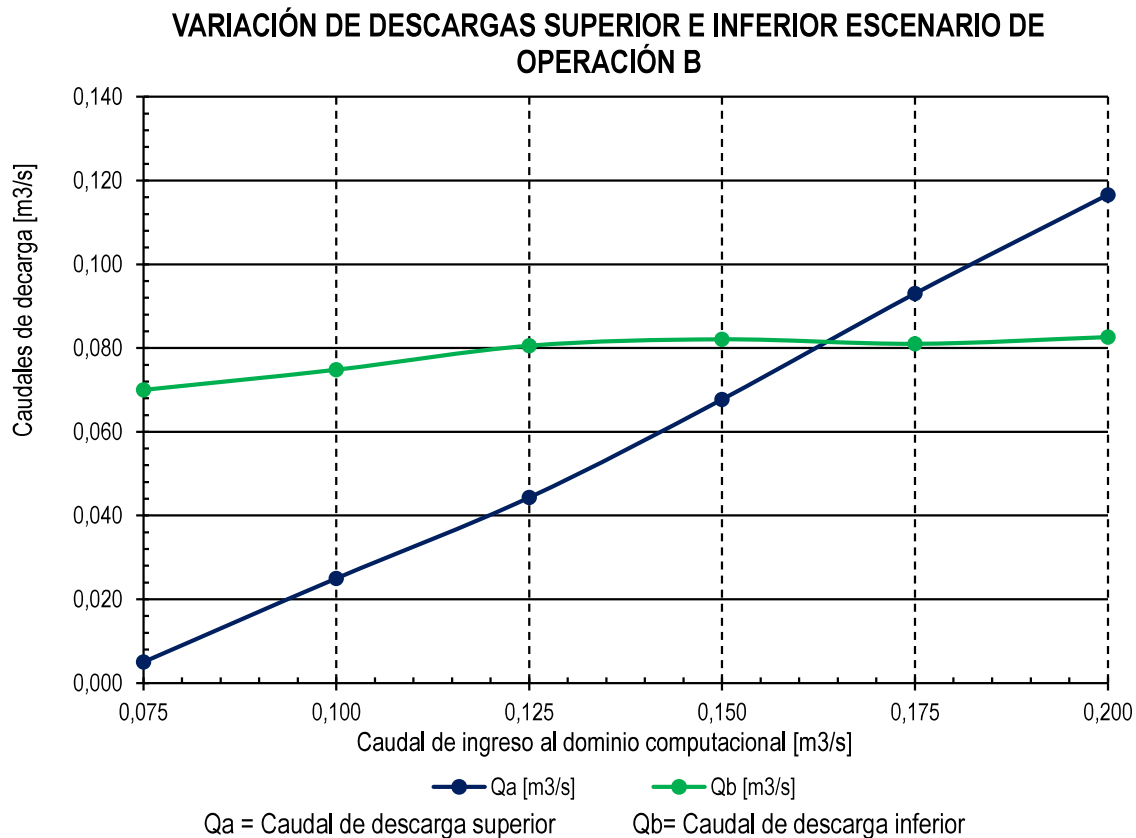
En la *tabla 4.12*, se muestran los caudales de descarga superior, e inferior, respectivamente, que se han obtenido en las simulaciones numéricas realizadas en el escenario de operación "B"

Tabla 4. 12: Caudales de descarga superior e inferior - Escenario de operación "B".

VARIACIÓN DE DESCARGAS SUPERIOR E INFERIOR - ESCENARIO DE OPERACIÓN B			
Prueba	Qi	Qa	Qb
[-]	[m3/s]	[m3/s]	[m3/s]
EB-1	0.075	0.005	0.070
EB-2	0.100	0.025	0.075
EB-3	0.125	0.044	0.081
EB-4	0.150	0.068	0.082
EB-5	0.175	0.093	0.081
EB-6	0.200	0.117	0.083

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 84: Variación de descargas superior e inferior - Escenario de operación "B".



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

En lo que respecta a la continuidad másica del sistema, en la *tabla 4.13*, se muestran los caudales que atraviesan las secciones de interés para su evaluación, los cuales indican que la diferencia entre los caudales de ingreso, y salida del dominio computacional, respectivamente, tienen un valor máximo del 2%, por lo tanto, los resultados son aceptables.

Tabla 4. 13: Evaluación de la continuidad del flujo en el dominio computacional – Escenario de operación “B”.

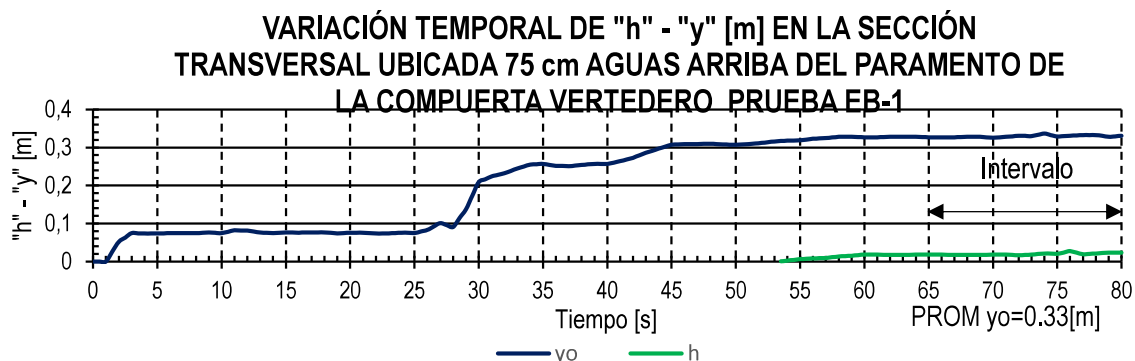
CAUDALES PROMEDIO EN LAS SECCIONES DE INTERÉS PARA EVALUACIÓN DE CONTINUIDAD							
Prueba [-]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Diferencia [%]	Qs [m3/s]	Diferencia [%]
EB-1	0.075	0.0050	0.0700	0.0750	0.01%	0.0735	-2.00%
EB-2	0.1	0.0250	0.0748	0.0998	-0.21%	0.0982	-1.77%
EB-3	0.125	0.0443	0.0806	0.1249	-0.10%	0.1248	-0.16%
EB-4	0.15	0.0677	0.0821	0.1498	-0.11%	0.1468	-2.12%
EB-5	0.175	0.0930	0.0810	0.1740	-0.56%	0.1734	-0.94%
EB-6	0.2	0.1166	0.0826	0.1992	-0.39%	0.1986	-0.72%
Ubicación	x=0	x=3.99	x=4.01	x=4		x=6.5	

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

4.3.2. CALADOS DE APROXIMACIÓN Y CARGA SOBRE EL VERTEDERO.

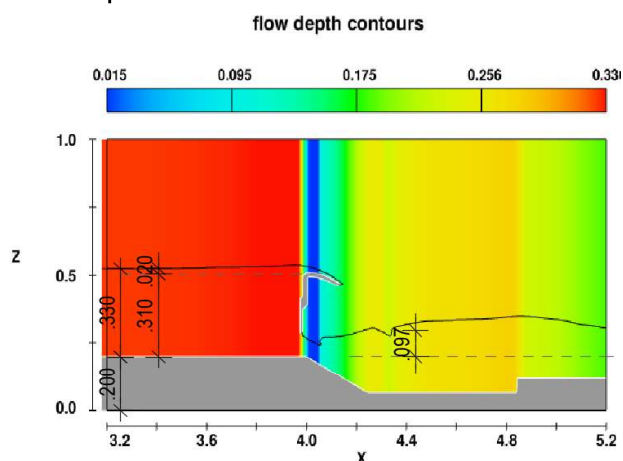
Los registros históricos que muestran la variación del calado de aproximación, y de la carga sobre el vertedero en la sección de interés, constan en el *anexo L*, en base a los cuales se han elaborado los siguientes gráficos, en los que se visualizan las variaciones temporales de los parámetros de flujo referidos, y sus valores promediados en los intervalos considerados.

Gráfico 4. 85 : Variación temporal del calado en la sección transversal ubicada 75cm aguas arriba del paramento de la compuerta vertedero – Prueba EB-1 $Q_i=0.075$ [m³/s].



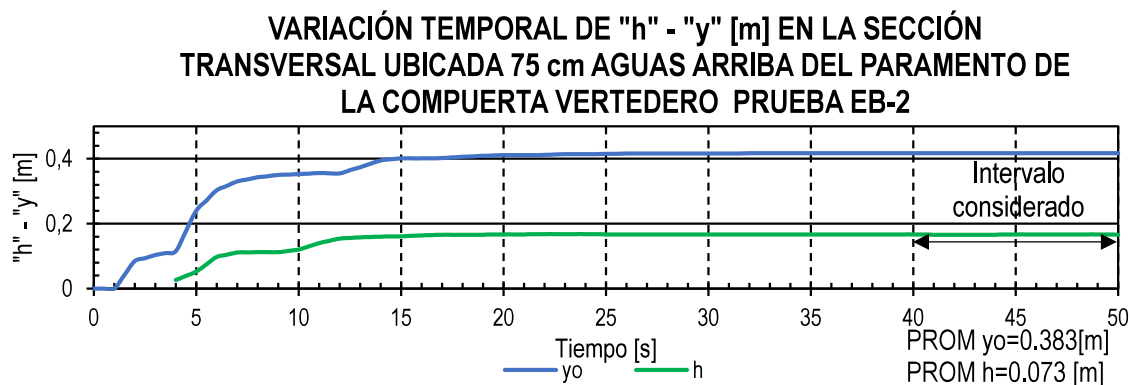
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 86: Calados promedio aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero - Escenario de operación "B" / Prueba EB-1 / $Q_i=0.075$ [m³/s].



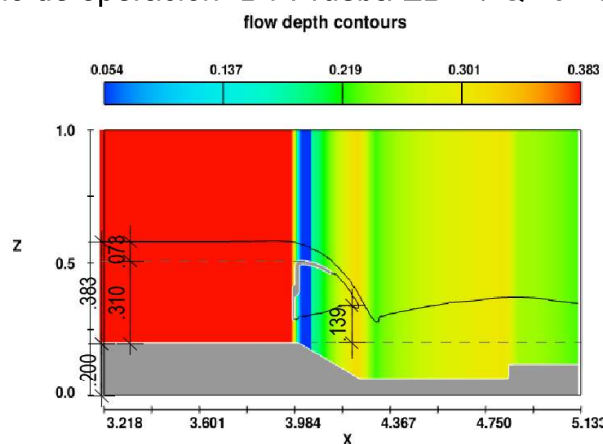
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 87: Variación temporal del calado en la sección transversal ubicada 75cm aguas arriba del paramento de la compuerta vertedero – Prueba EB-2 $Q_i=0.100$ [m³/s].



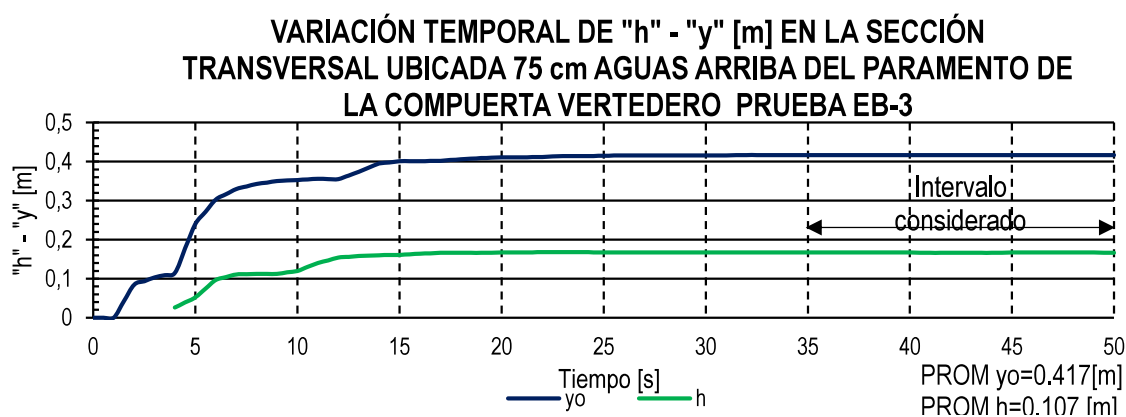
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 88: Calados promedio aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero - Escenario de operación "B" / Prueba EB-2 / $Q_i=0.100$ [m³/s].



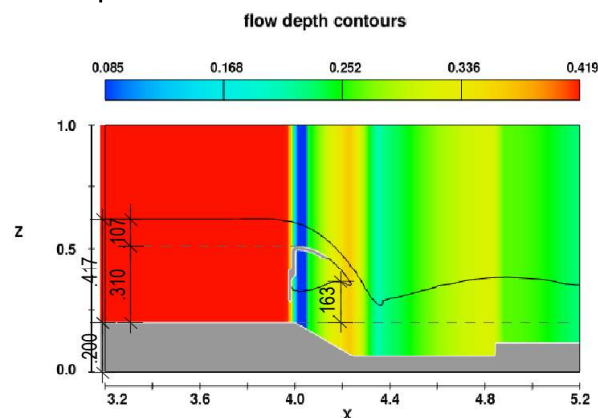
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 89: Variación temporal del calado en la sección transversal ubicada 75cm aguas arriba del paramento de la compuerta vertedero – Prueba EB-3 $Q_i=0.125$ [m³/s].



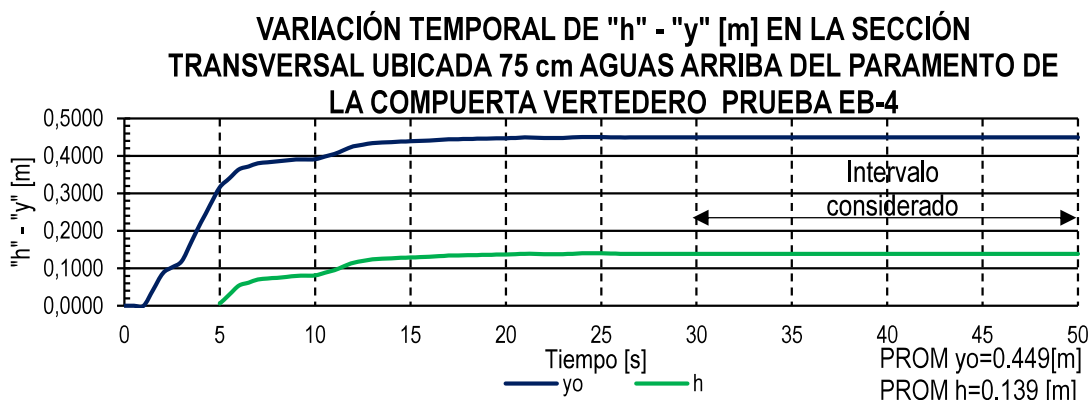
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 90: Calados promedio aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero - Escenario de operación "B" / Prueba EB-3 / $Q_i=0.125$ [m³/s].



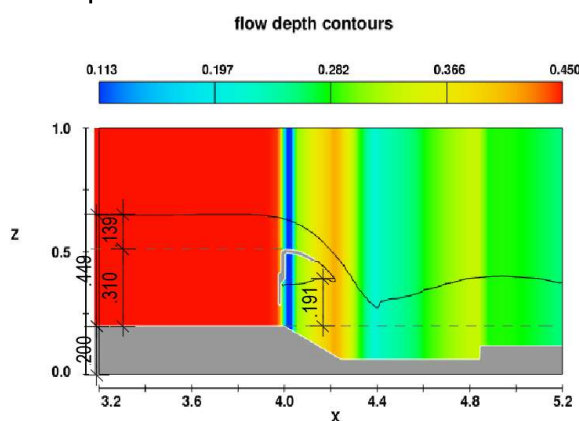
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 91: Variación temporal del calado en la sección transversal ubicada 75cm aguas arriba del paramento de la compuerta vertedero – Prueba EB-4 $Q_i=0.150$ [m³/s].



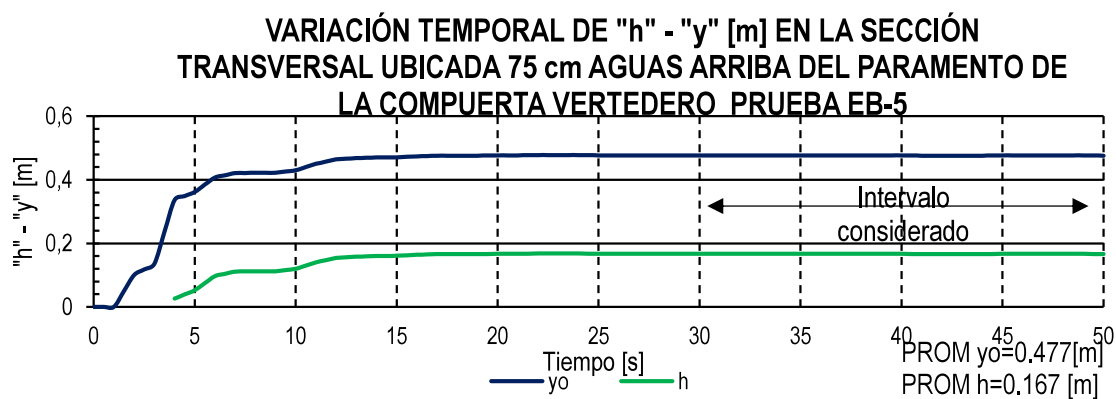
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 92: Calados promedio aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero - Escenario de operación "B" / Prueba EB-4 / $Q_i=0.150$ [m³/s].



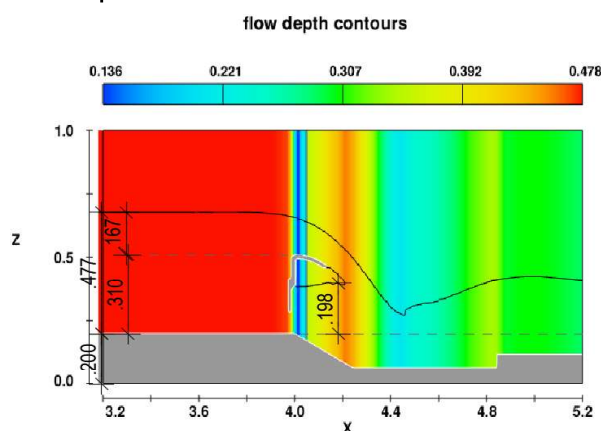
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 93: Variación temporal del calado en la sección transversal ubicada 75cm aguas arriba del paramento de la compuerta vertedero – Prueba EB-5 $Q_i=0.175$ [m³/s].



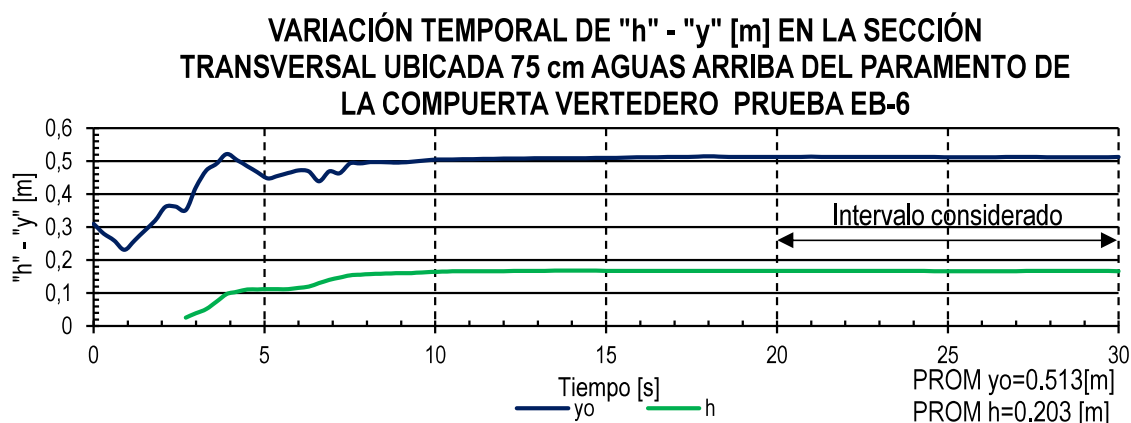
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 94: Calados promedio aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero - Escenario de operación "B" / Prueba EB-5 / $Q_i=0.175[m^3/s]$.



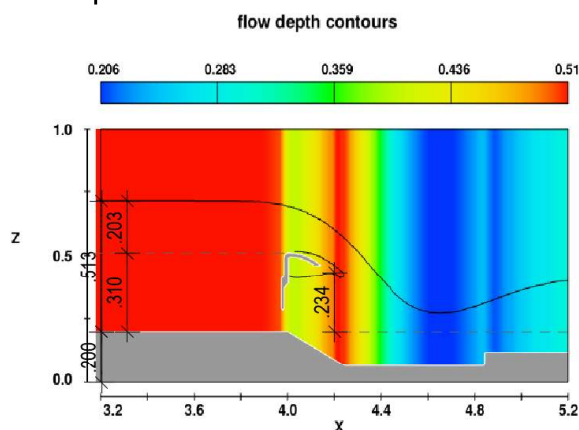
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 95: Variación temporal del calado en la sección transversal ubicada 75cm aguas arriba del paramento de la compuerta vertedero – Prueba EB-6 $Q_i=0.200 [m^3/s]$.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 96: Calados promedio aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero - Escenario de operación "B" / Prueba EB-6 / $Q_i=0.200[m^3/s]$.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

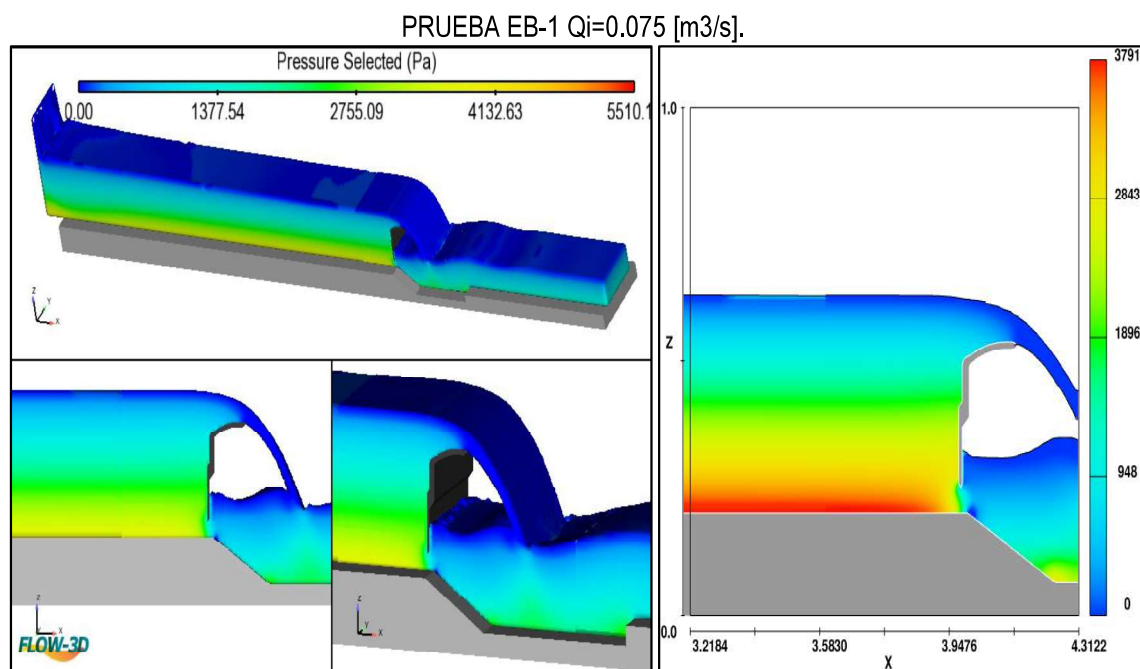
Los valores mostrados en los gráficos anteriores, serán utilizados para cuantificar teóricamente los caudales de descarga superior, e inferior, respectivamente, mediante las ecuaciones generales de descarga bajo compuertas, y sobre vertederos, respectivamente.

4.3.3. PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL.

Para representar la variación de las presiones en los intervalos considerados para cada simulación ejecutada en el escenario de operación “B”, en el *anexo M*, constan los gráficos que muestran la presión en el dominio computacional.

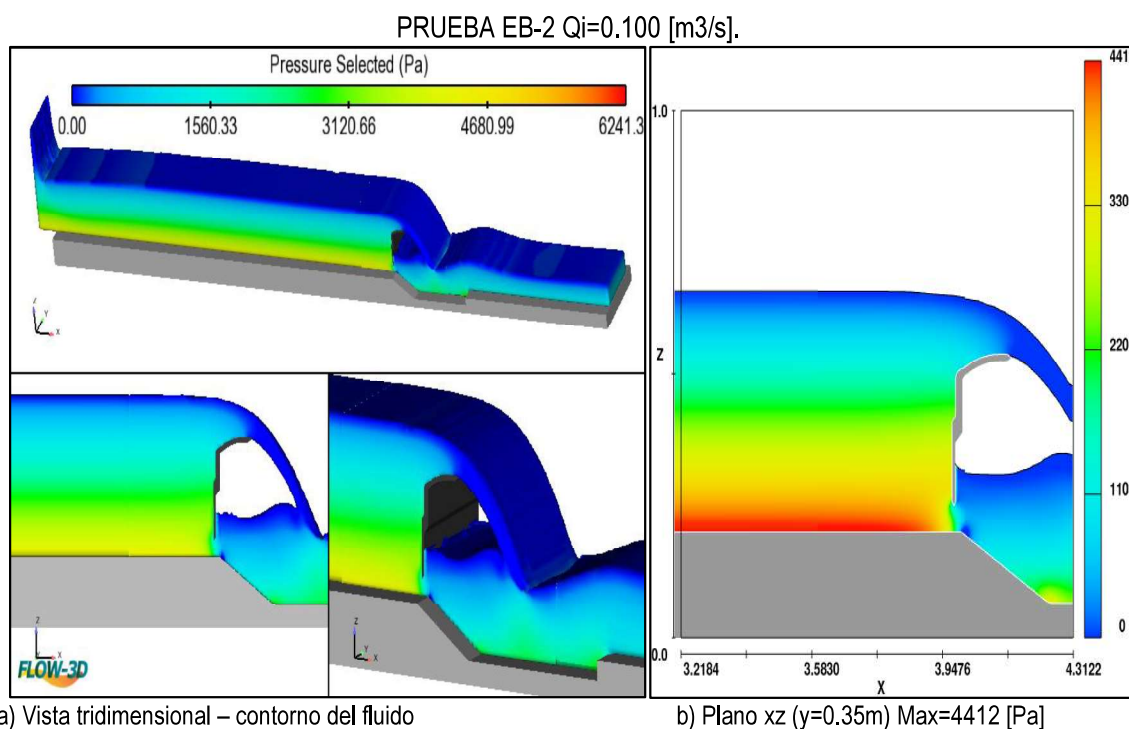
A continuación se exponen gráficos que dan cuenta de las presiones en un determinado instante, de cada una de las simulaciones.

Gráfico 4. 97: Presiones en el dominio computacional – Prueba EB-1.



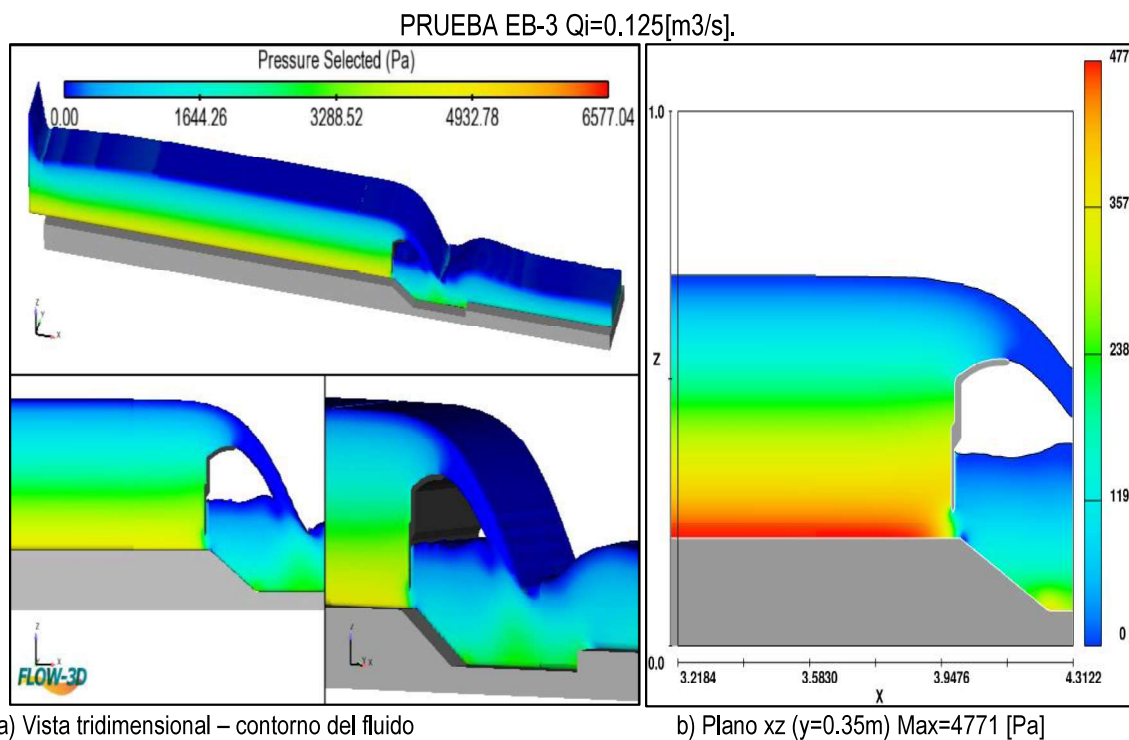
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 98: Presiones en el dominio computacional – Prueba EB-2.



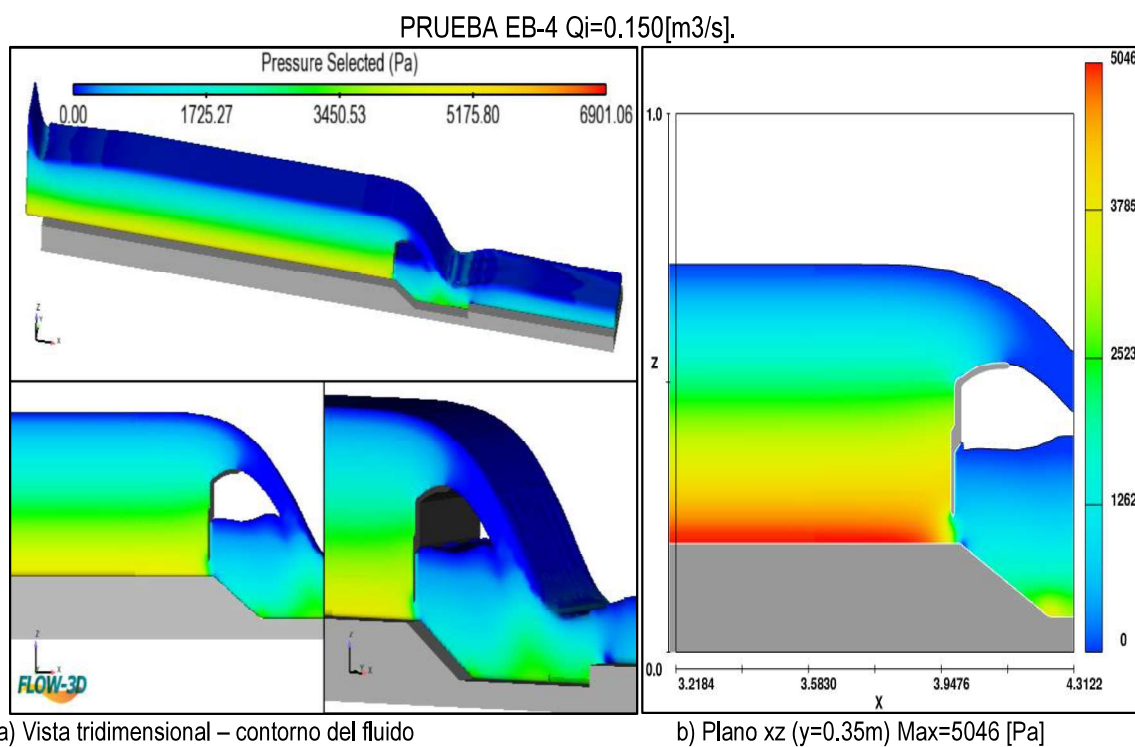
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 99: Presiones en el dominio computacional – Prueba EB-3.



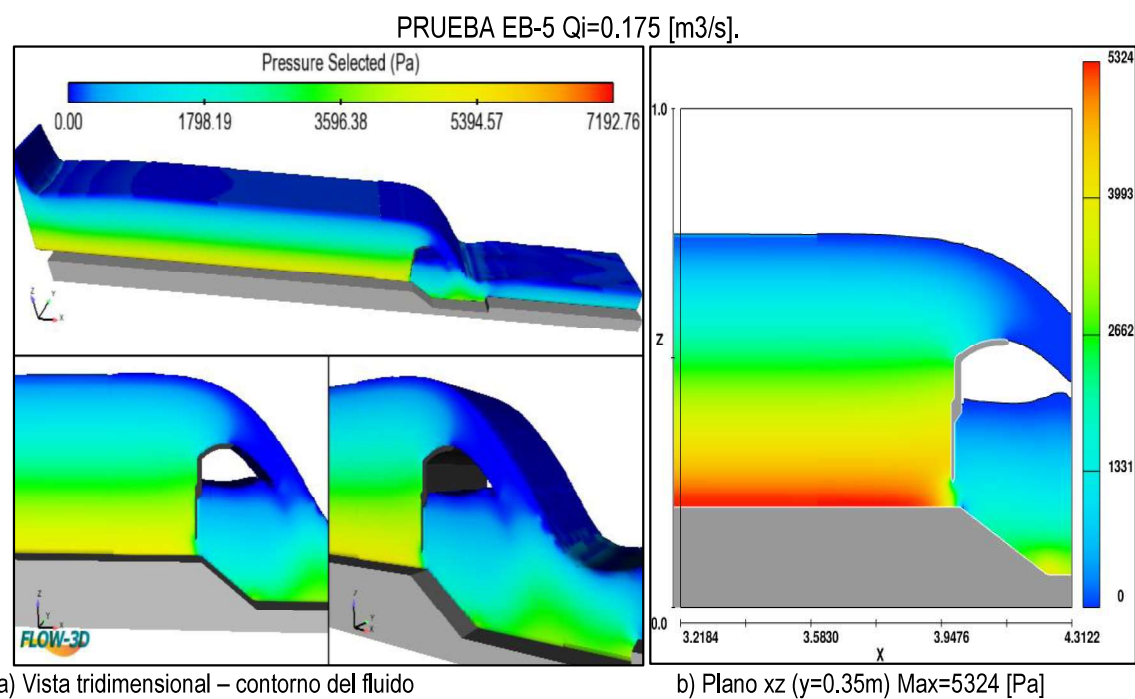
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 100: Presiones en el dominio computacional – Prueba EB-4.

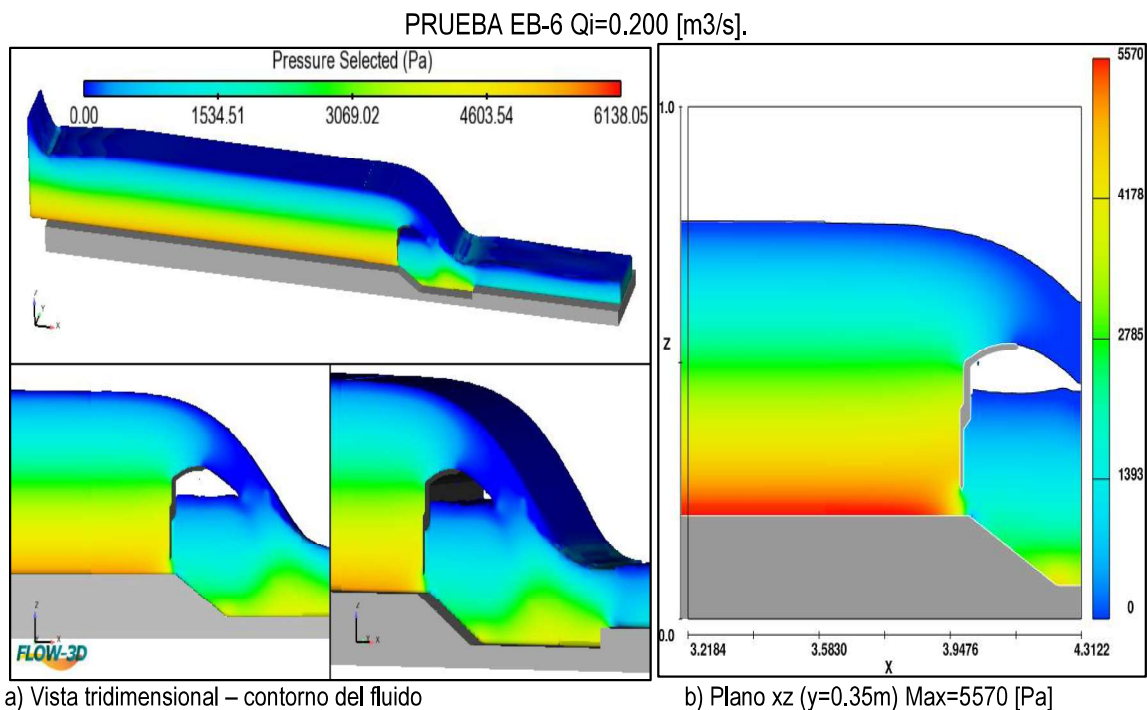


. **Elaboración:** Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 101: Presiones en el dominio computacional – Prueba EB-5.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

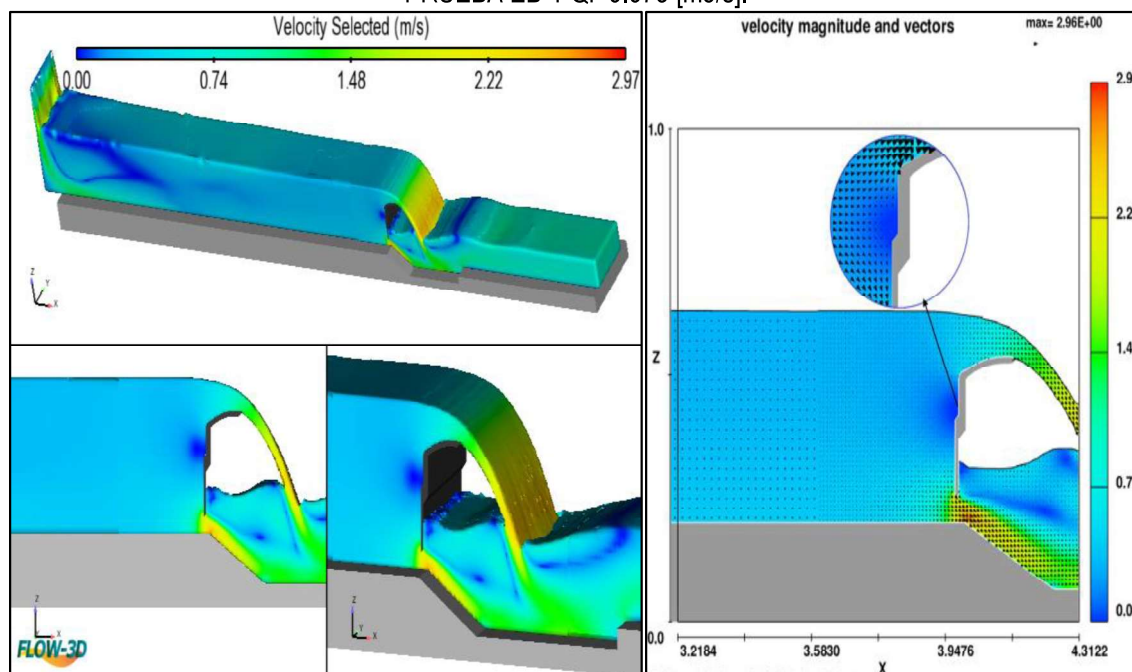
Gráfico 4. 102: Presiones en el dominio computacional – Prueba EB-6.

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

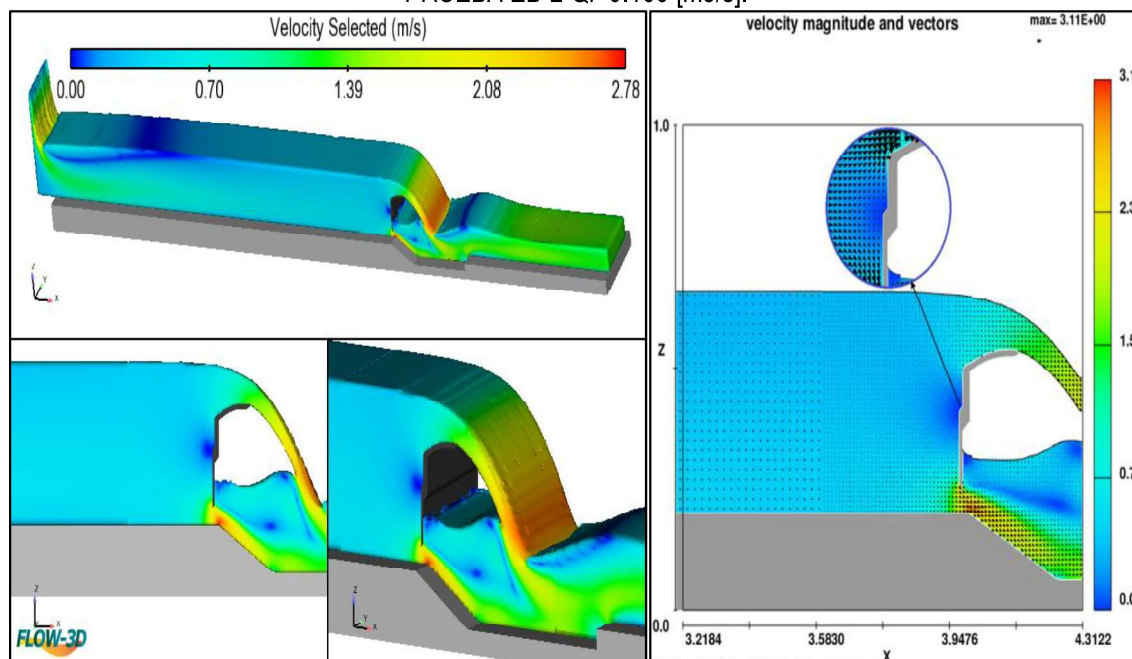
Las presiones que se generan en el dominio computacional, en el escenario B tienen sus valores mínimos en la superficie del fluido (que se encuentra en contacto con la atmósfera), que, en los gráficos se representan en color azul. Los valores de esta variable aumentan, conforme se incrementa la profundidad en todo el volumen, e incrementa conforme aumenta la profundidad. Al igual que los dos escenarios anteriores, existe una presión inferior a cero [Pa] en el vértice donde comienza la depresión del fondo del canal.

4.3.4. VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL.

El *anexo N*, contiene los gráficos que representan la variación de la velocidad en el dominio computacional en varios instantes, de los intervalos considerados en el análisis de las simulaciones realizadas en el escenario de operación “B”. Con la finalidad de evidenciar la variación de este parámetro del flujo, a continuación se exhiben los gráficos que muestran sus valores en las zonas de interés del dominio computacional.

Gráfico 4. 103: Velocidades en el dominio computacional Prueba EB-1.PRUEBA EB-1 $Q_i=0.075$ [m³/s].

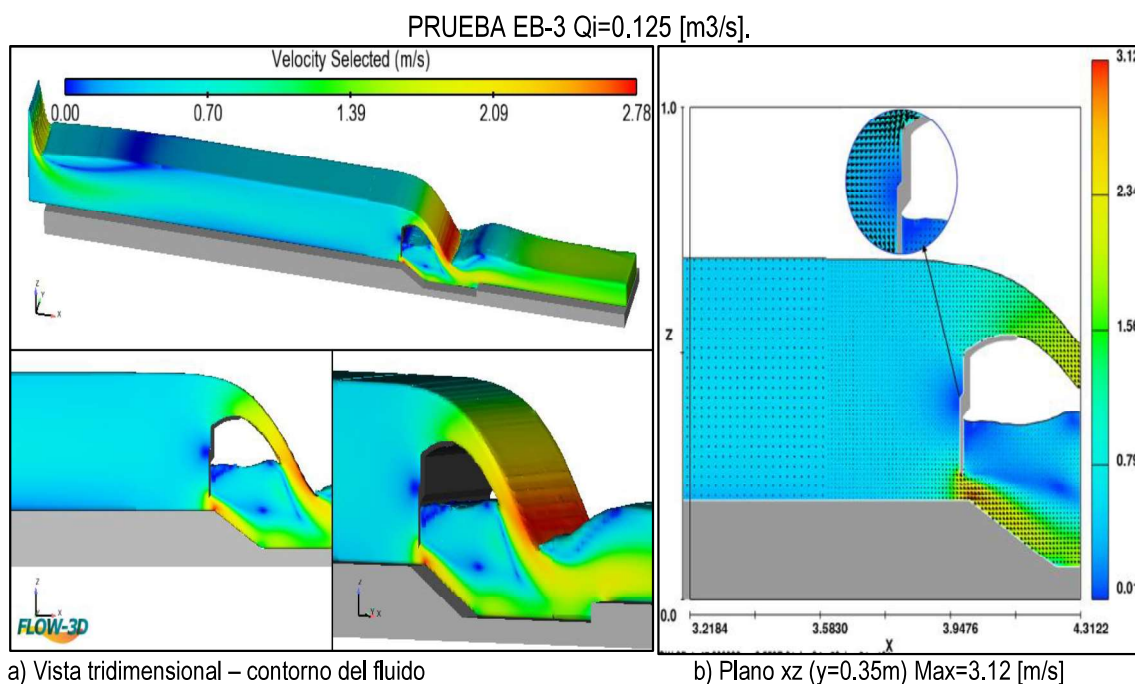
a) Vista tridimensional – contorno del fluido

b) Plano xz ($y=0.35$ m) Max=2.96 [m/s]**Elaboración:** Carlos Bohórquez Barba.**Gráfico 4. 104:** Velocidades en el dominio computacional Prueba EB-2.PRUEBA EB-2 $Q_i=0.100$ [m³/s].

a) Vista tridimensional – contorno del fluido

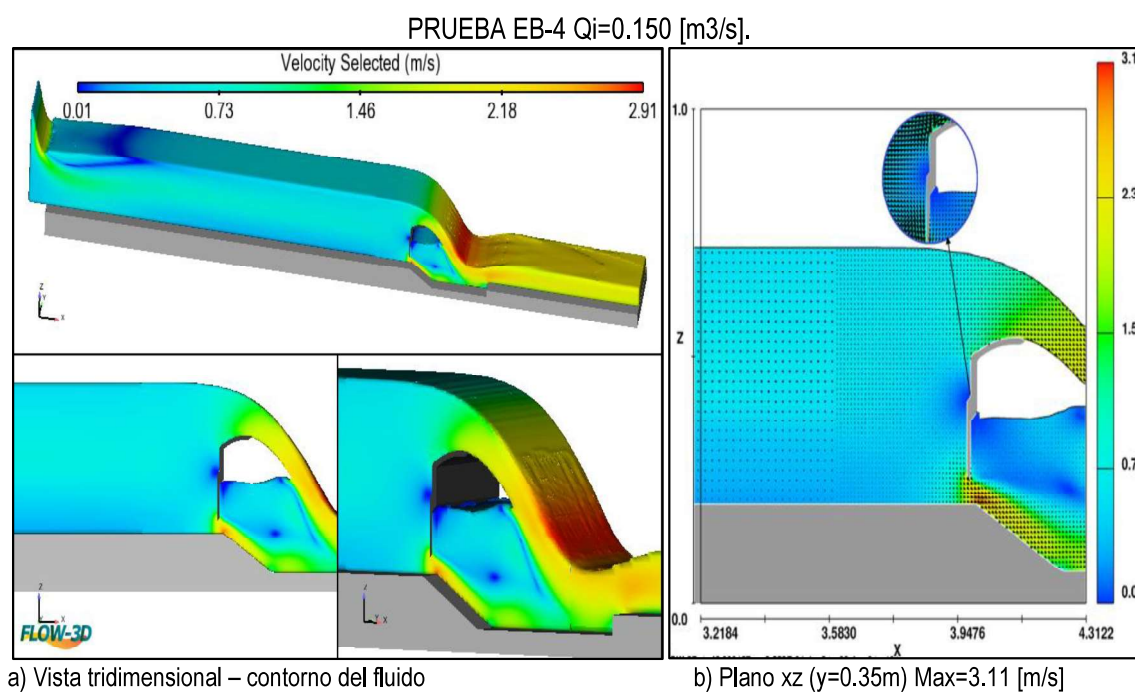
b) Plano xz ($y=0.35$ m) Max=3.11 [m/s]**Elaboración:** Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 105: Velocidades en el dominio computacional Prueba EB-3.



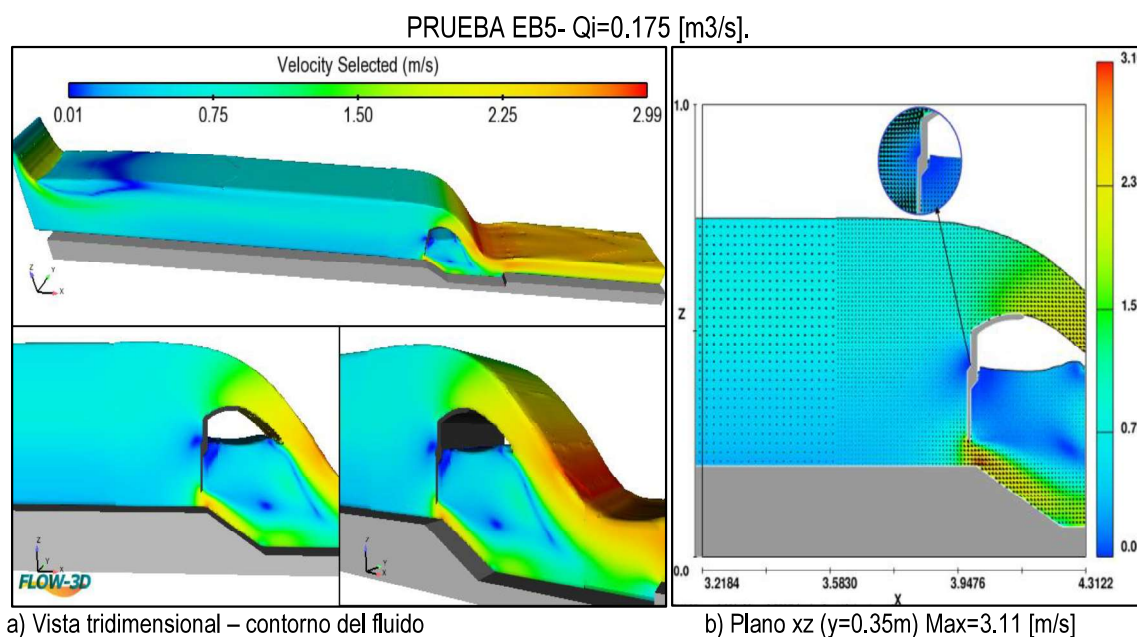
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 106: Velocidades en el dominio computacional Prueba EB-4.



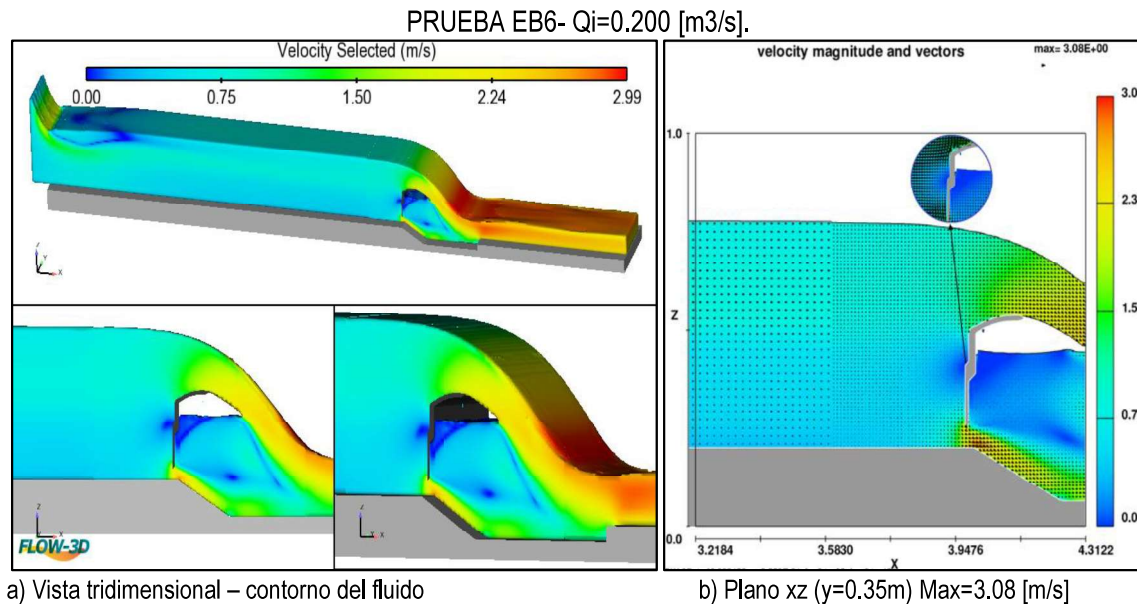
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 107: Velocidades en el dominio computacional Prueba EB-5.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 108: Velocidades en el dominio computacional Prueba EB-6.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Al igual que en los dos escenarios anteriores, puede apreciarse que, el flujo sufre un incremento de velocidad a partir de la zona donde inicia la descarga de la compuerta. A continuación del vértice que determina el inicio de la pendiente del fondo, la velocidad disminuye gradualmente.

Respecto a la descarga superior (sobre la clapeta), puede distinguirse que, a medida que aumentan los valores de los caudales ensayados, el incremento de la velocidad se produce más cerca de la intersección entre la clapeta y el paramento vertical.

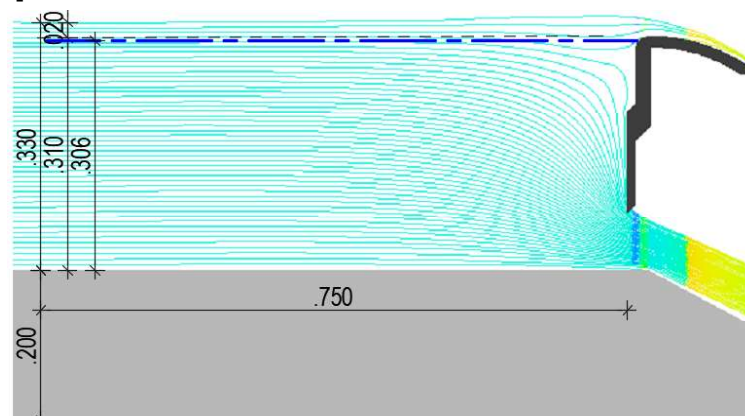
A continuación de la cresta del vertedero, se produce un incremento en las velocidades del flujo, cuyo sus valores máximos se presentan en el sector de contacto del chorro, y la superficie del agua existente en el cuenco de disipación.

Puede apreciarse también que, los vectores velocidad del plano “xz”, se separan al entrar en contacto con el paramento vertical.

4.3.5. IDENTIFICACIÓN DE LA UBICACIÓN DE LA LÍNEA DE SEPARACIÓN ENTRE LOS FLUJOS SUPERIOR E INFERIOR.

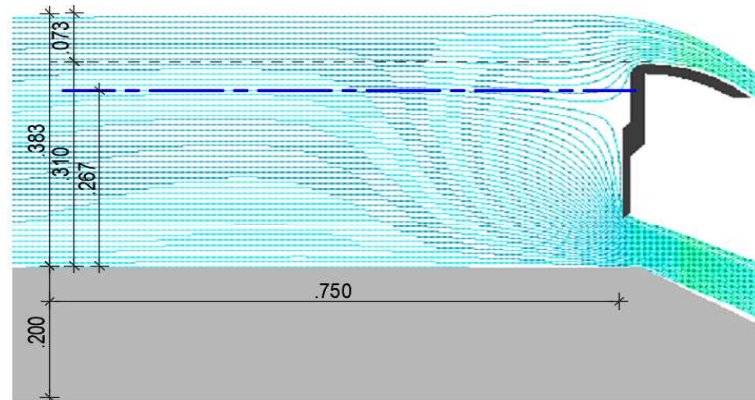
En este escenario también se generaron gráficos bidimensionales en el plano “xz”, para visualizar la trayectoria de las partículas del fluido, en base a los que, se determina la posición del fondo virtual respecto al fondo del canal, de tal manera que, en los gráficos 4.109 a 4.114, se muestra su ubicación.

Gráfico 4. 109: Ubicación de la línea de separación de la corriente - Prueba EB-1. $Q_i=0.075$ [m³/s].



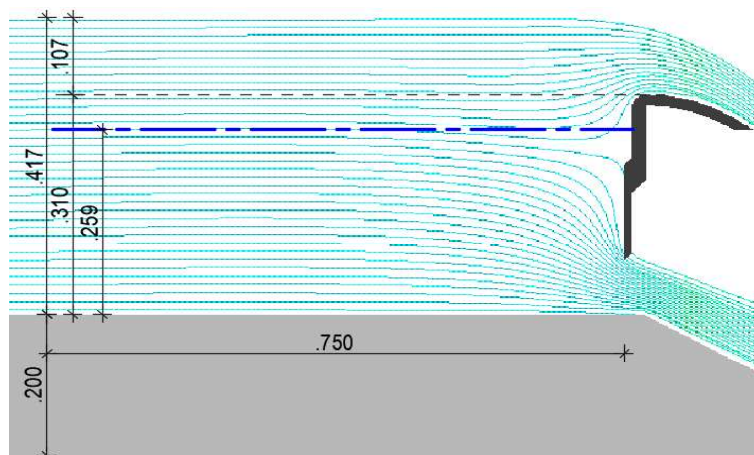
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 110: Ubicación de la línea de separación de la corriente - Prueba EB-2.
 $Q_i=0.100$ [m³/s].



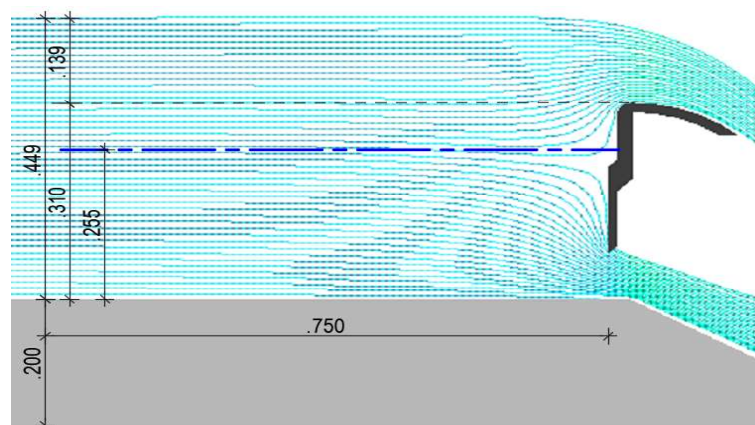
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 111: Ubicación de la línea de separación de la corriente - Prueba EB-3.
 $Q_i=0.125$ [m³/s].



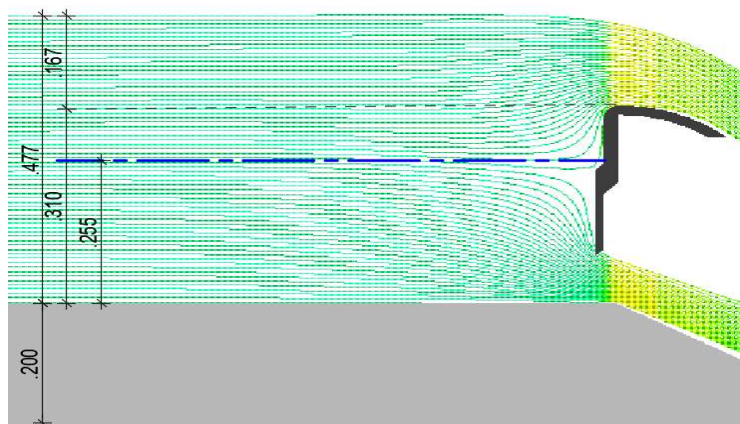
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 112: Ubicación de la línea de separación de la corriente - Prueba EB-4.
 $Q_i=0.150$ [m³/s].



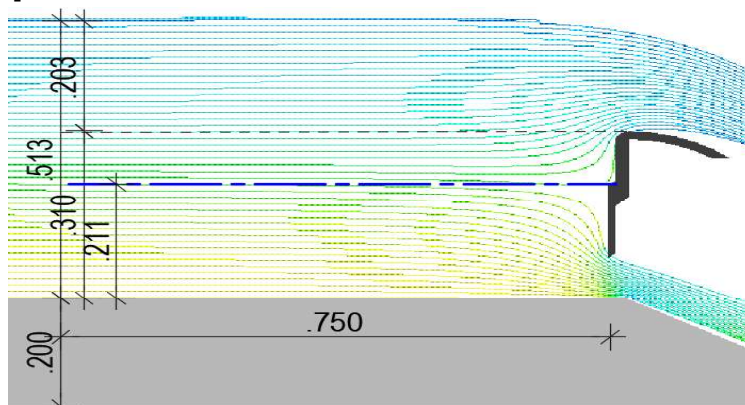
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 113: Ubicación de la línea de separación de la corriente - Prueba EB-5. $Q_i=0.175$ [m³/s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 114: Ubicación de la línea de separación de la corriente - Prueba EB-5. $Q_i=0.175$ [m³/s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

4.3.6. CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES MEDIANTE LAS ECUACIONES DE DESCARGA BAJO COMPUERTAS Y SOBRE VERTEDEROS.

Se calcularon los valores teóricos de la descarga inferior (Q_b), mediante la ecuación (2.3), de descarga bajo compuertas, los cuales se han resumido en la *tabla 4.14*, en la que también se incluyen los valores de los calados aguas arriba y aguas abajo de la compuerta vertedero, utilizados para efectuar los cálculos respectivos.

Tabla 4. 14: Cuantificación de caudales de descarga inferior por medio de la ecuación de la descarga bajo compuertas (cd criterios de Swamee) del Escenario de operación “B”– Comparación respecto a los caudales obtenidos en el modelo numérico.

CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES EN BASE A LA ECUACIÓN DE LA DESCARGA BAJO COMPUERTAS (CRITERIO DE SWAMEE)- COMPARACIÓN RESPECTO A LOS CAUDALES OBTENIDOS EN EL MODELO NUMÉRICO						
PRUEBA	EB-1	EB-2	EB-3	EB-4	EB-5	EB-6
Qi	0.075	0.1	0.125	0.15	0.175	0.2
b = L	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
a	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
yo	0.330	0.383	0.417	0.449	0.477	0.513
y2	0.097	0.139	0.163	0.191	0.198	0.234
Condición de descarga libre (Swamee)	0.111	0.206	0.271	0.356	0.378	0.504
Tipo de Descarga	Libre	Libre	Libre	Libre	Libre	Libre
yo/a	3.663	4.252	4.633	4.989	5.297	5.696
cd	0.540	0.545	0.550	0.555	0.558	0.560
Qb teórico(Swamee)	0.062	0.067	0.071	0.074	0.077	0.08
Qb numérico [m3/s] (Bohórquez)	0.0700	0.0748	0.0806	0.0821	0.0810	0.0826
	-12.91%	-11.63%	-13.50%	-10.93%	-5.22%	-3.28%

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Al comparar los resultados teóricos, con los obtenidos en el modelo numérico, se evidencia que las diferencias porcentuales entre ellos son aceptables, teniendo un valor máximo de 12.91%, las cuales se justifican por cuanto las ecuaciones, consideran un flujo bidimensional, en tanto que el modelo describe el fenómeno en tres dimensiones.

Al igual que en los escenarios anteriores, para realizar la cuantificación de caudales teóricos de descarga superior, se empleó el criterio del fondo virtual, que genera una altura ficticia del vertedero “ W_a ”, que incide en la obtención de los coeficientes de descarga, de cada caso, para emplear de la ecuación (2.6), de la descarga sobre vertederos.

Tabla 4. 15: Cuantificación de caudales de descarga superior por medio de la ecuación de la descarga sobre vertederos (cd criterios de Swamee) basados en el criterio del fondo virtual del escenario de operación “A” - Comparación respecto a los caudales obtenidos en el modelo numérico.

CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES POR MEDIO DE LA ECUACIÓN GENERAL DE DESCARGA SOBRE VERTEDEROS (CRITERIOS DE SWAMEE) COMPARACIÓN RESPECTO A LOS CAUDALES OBTENIDOS EN EL MODELO NUMÉRICO						
PRUEBA	EB-1	EB-2	EB-3	EB-4	EB-5	EB-6
Qi	0.075	0.1	0.125	0.15	0.175	0.2
b = L	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
w	0.310	0.310	0.310	0.310	0.310	0.310
h	0.020	0.073	0.107	0.139	0.167	0.203
cd Swamee	0.615	0.628	0.636	0.644	0.651	0.660
Qa Teórico (Swamee)	0.0025	0.0182	0.0329	0.0493	0.0654	0.0888
Qa numérico (Bohórquez)	0.0045	0.0240	0.0443	0.0677	0.0930	0.0826
	-78.08%	-32.04%	-34.65%	-37.43%	-42.09%	6.99%
Yb (Fondo virtual)	0.306	0.267	0.259	0.255	0.24	0.211
wa= ya=w-yb	0.004	0.043	0.051	0.055	0.070	0.099
cd Swamee	0.935	0.736	0.766	0.796	0.786	0.762
Qa Teórico (Swamee)	0.0038	0.0213	0.0396	0.0609	0.0791	0.1027
Qa numérico (Bohórquez)	0.0045	0.0240	0.0443	0.0677	0.0930	0.0826
	17.25%	12.74%	11.95%	11.18%	17.64%	-19.52%

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

4.4. DIAGRAMAS DE DISEÑO HIDRÁULICO.

Al contar con los valores de las descargas superior, e inferior, respectivamente, obtenidos mediante la simulación numérica, que han sido validados con base en el diagrama de Naudascher-Castro-Peissner, elaborado sobre la base de ensayos realizados en un modelo físico, es posible establecer correlaciones entre los caudales de descarga, y algunos parámetros de flujo, cuya medición resulta factible, como es el caso de la geometría de las estructuras de control, y los calados de aproximación a dichas estructuras.

En este contexto, los valores obtenidos en este trabajo, han sido sintetizados en la *tabla 4.16*, con la finalidad de desarrollar diagramas que permitirán determinar las descargas: superior, e inferior, respectivamente, a partir de los siguientes parámetros de flujo:

- Calado de aproximación a la compuerta-vertedero;
- Carga sobre el vertedero;
- Caudal de descarga superior;
- Caudal de descarga inferior;
- Caudal de descarga total.

Tabla 4. 16: Sintetización de parámetros de flujo obtenidos en las simulaciones numéricas ejecutadas.

SINTETIZACIÓN DE PARÁMETROS DE FLUJO OBTENIDOS EN LAS SIMULACIONES NUMÉRICAS												
Prueba	a	yo	h	h/yo	Qa	Qb	QT	qa	qb	qt	qa %	qb%
[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[m ³ /s]/ m	[m ³ /s]/ m	[m ³ /s]/ m	[m ³ /s]/ m	[m ³ /s]/ m	[m ³ /s]/ m	[m ³ /s]/ m	[m ³ /s]/ m
EN-1	0.06	0.358	0.048	0.134	0.011	0.039	0.050	0.02	0.08	0.10	0.22	0.78
EN-2	0.06	0.390	0.080	0.205	0.023	0.047	0.070	0.05	0.09	0.14	0.34	0.66
EN-3	0.06	0.415	0.105	0.253	0.038	0.052	0.090	0.08	0.10	0.18	0.42	0.58
EN-4	0.06	0.440	0.130	0.295	0.055	0.055	0.110	0.11	0.11	0.22	0.5	0.5
EN-5	0.06	0.465	0.155	0.333	0.075	0.055	0.130	0.15	0.11	0.26	0.58	0.42
EN-6	0.06	0.487	0.177	0.364	0.096	0.054	0.150	0.19	0.11	0.30	0.64	0.36
EA-1	0.06	0.430	0.091	0.212	0.026	0.049	0.075	0.05	0.10	0.15	0.35	0.65
EA-2	0.06	0.457	0.118	0.258	0.044	0.056	0.100	0.09	0.11	0.20	0.44	0.56
EA-3	0.06	0.493	0.154	0.312	0.069	0.056	0.125	0.14	0.11	0.25	0.55	0.45
EA-4	0.06	0.521	0.182	0.350	0.094	0.056	0.150	0.19	0.11	0.30	0.63	0.37
EA-5	0.06	0.549	0.21	0.383	0.119	0.056	0.175	0.24	0.11	0.35	0.68	0.32
EA-6	0.06	0.575	0.236	0.410	0.144	0.056	0.200	0.29	0.11	0.40	0.72	0.28
EB-1	0.09	0.330	0.02	0.060	0.005	0.070	0.075	0.01	0.14	0.15	0.07	0.93
EB-2	0.09	0.383	0.073	0.190	0.025	0.075	0.100	0.05	0.15	0.20	0.25	0.75
EB-3	0.09	0.417	0.107	0.257	0.044	0.081	0.125	0.09	0.16	0.25	0.35	0.65
EB-4	0.09	0.449	0.139	0.310	0.068	0.082	0.150	0.14	0.16	0.30	0.45	0.55
EB-5	0.09	0.477	0.167	0.350	0.093	0.081	0.175	0.19	0.16	0.35	0.54	0.46
EB-6	0.09	0.513	0.203	0.395	0.117	0.083	0.200	0.23	0.17	0.40	0.59	0.41

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Sobre la base de los datos anteriores, se han desarrollado los siguientes gráficos, que muestran la correlación existente entre los caudales descargados en la compuerta-vertedero, con el calado de aproximación hacia esta estructura.

Gráfico 4. 115: Correlación de las variables: calado de aproximación – caudales de descarga - escenario de operación normal.

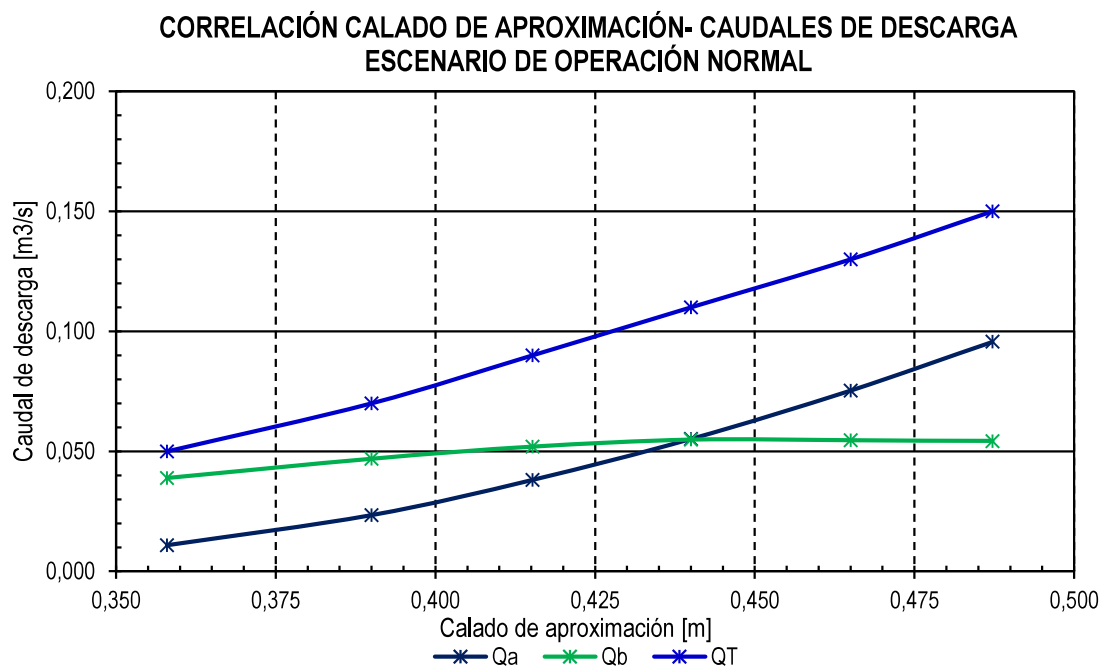


Gráfico 4. 116: Correlación de las variables: calado de aproximación – caudales de descarga - escenario de operación "A".

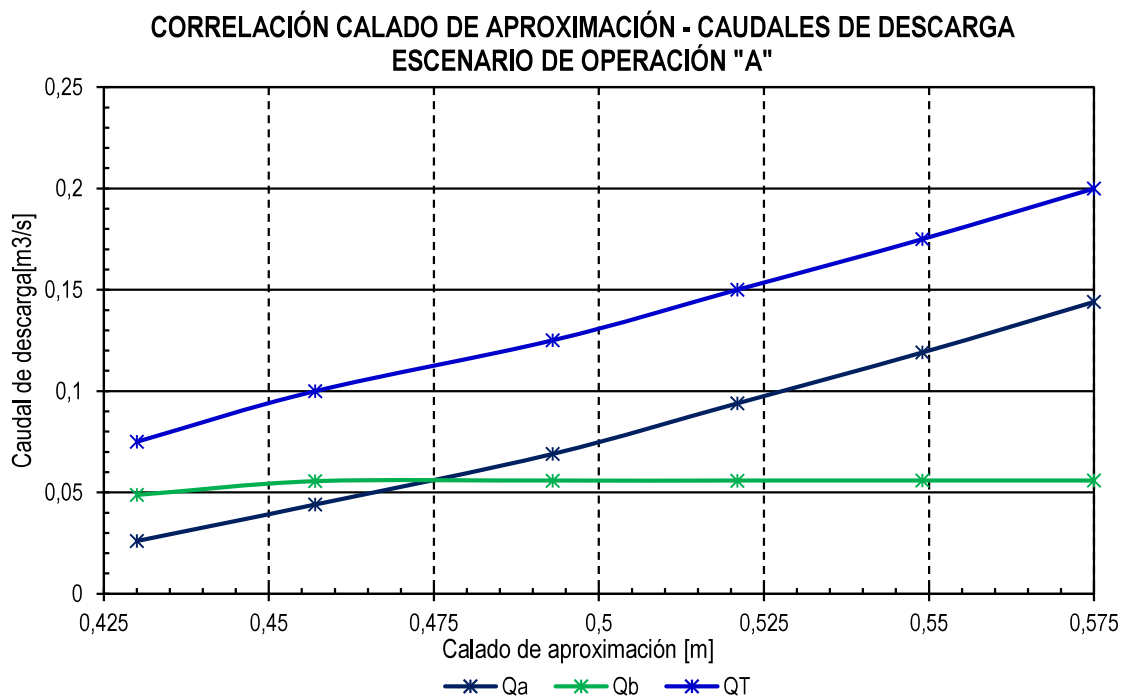
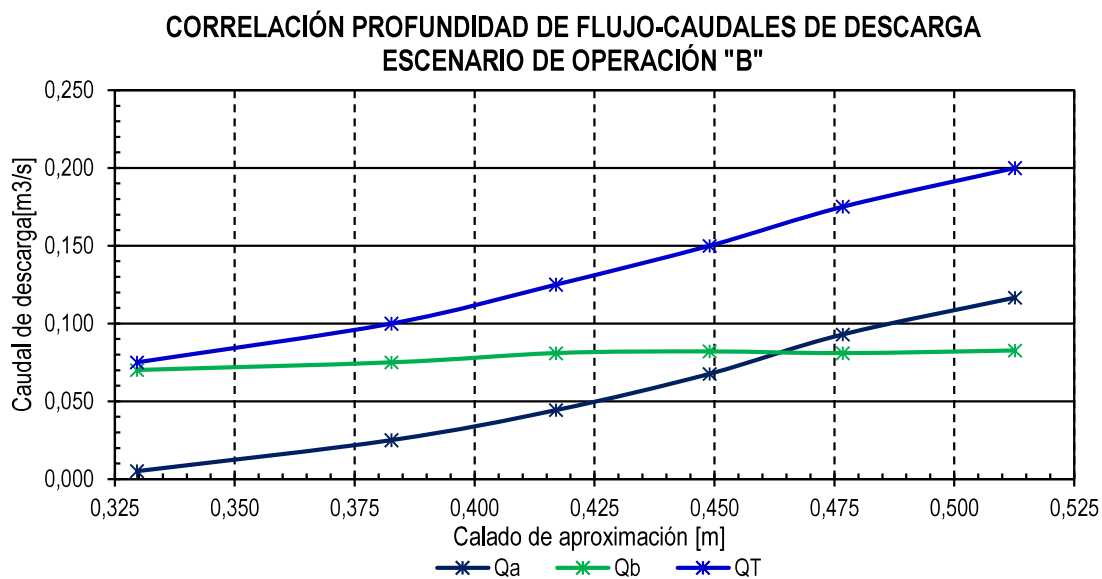


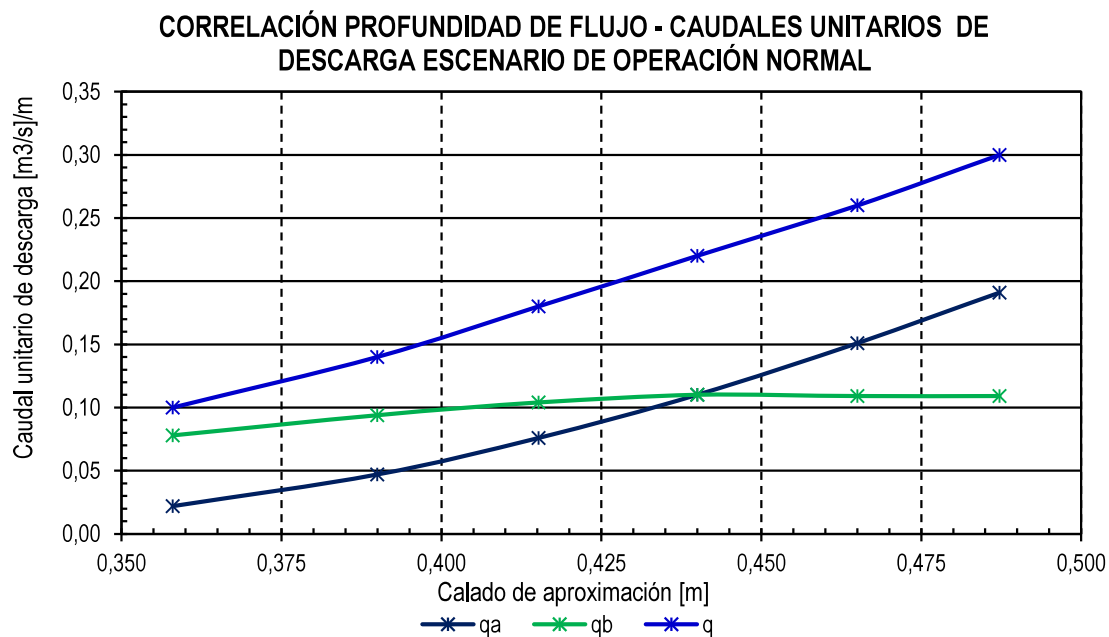
Gráfico 4. 117: Correlación de las variables: calado de aproximación – caudales de descarga - escenario de operación "B".



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

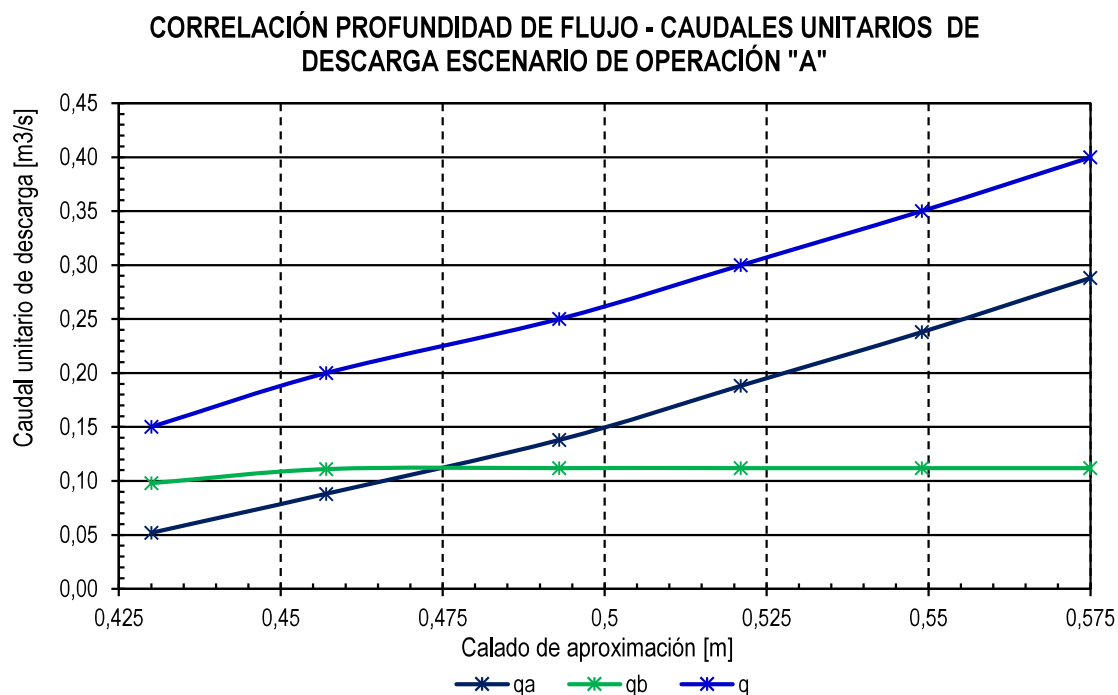
La correlación existente entre el calado de aproximación, y los caudales unitarios de descarga (qa, qb, qt), se muestra a continuación, en los gráficos 4.118, 4.119 y 4.120.

Gráfico 4. 118: Correlación de las variables: calado de aproximación – caudales unitarios de descarga - escenario de operación normal.



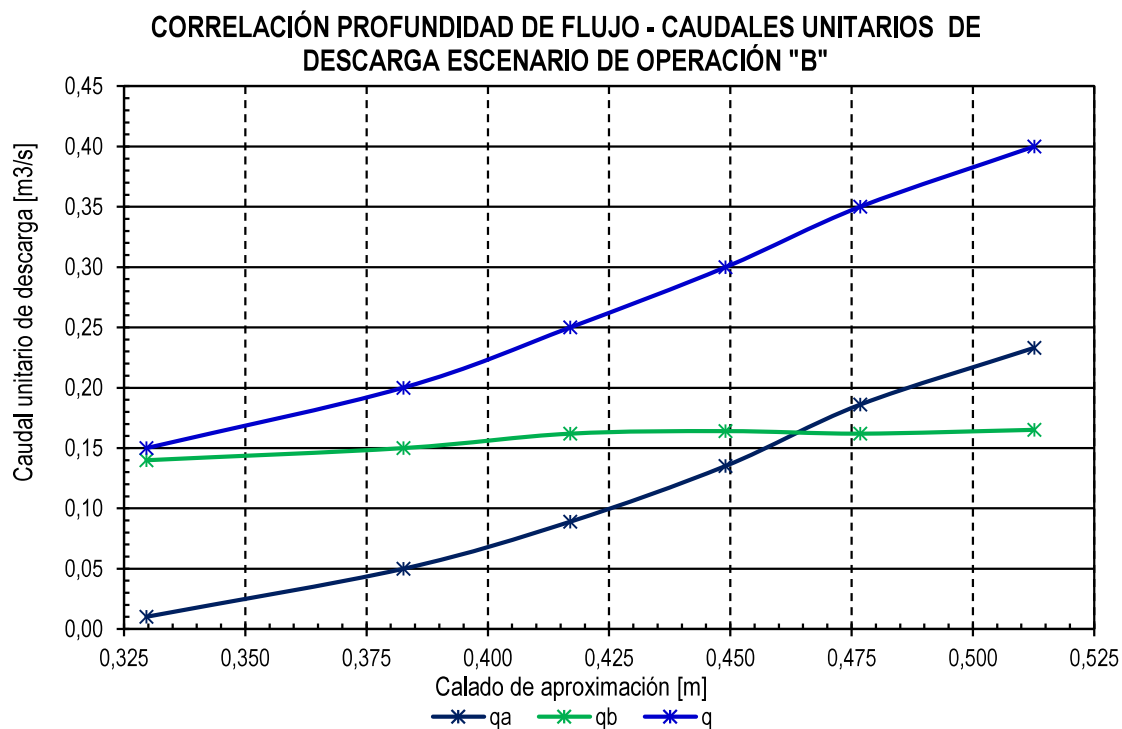
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 119: Correlación de las variables: calado de aproximación – caudales unitarios de descarga - escenario de operación "A".



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

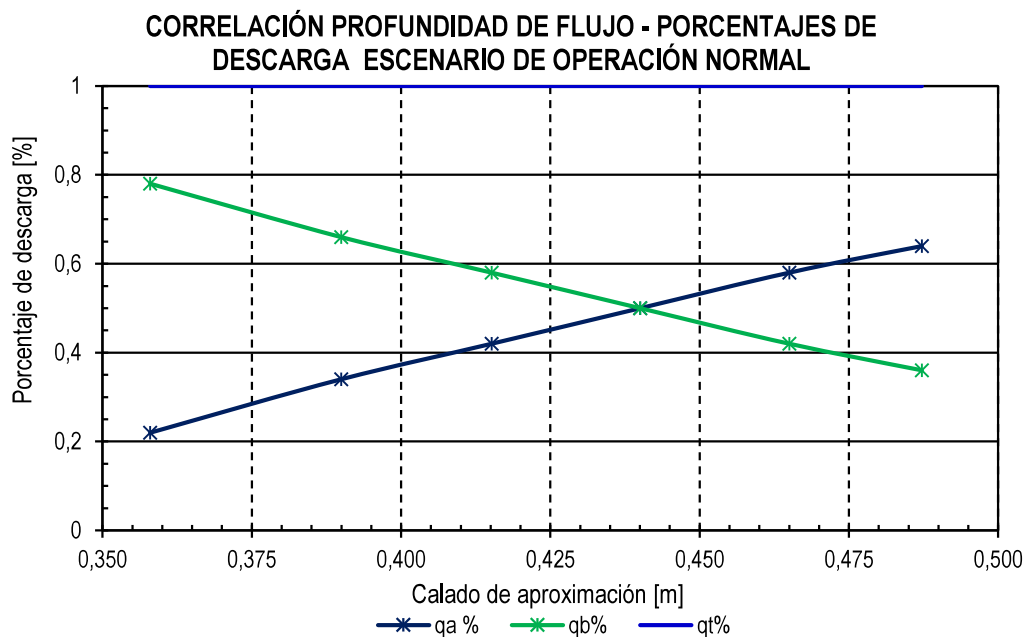
Gráfico 4. 120: Correlación de las variables: calado de aproximación – caudales unitarios de descarga - escenario de operación "B".



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

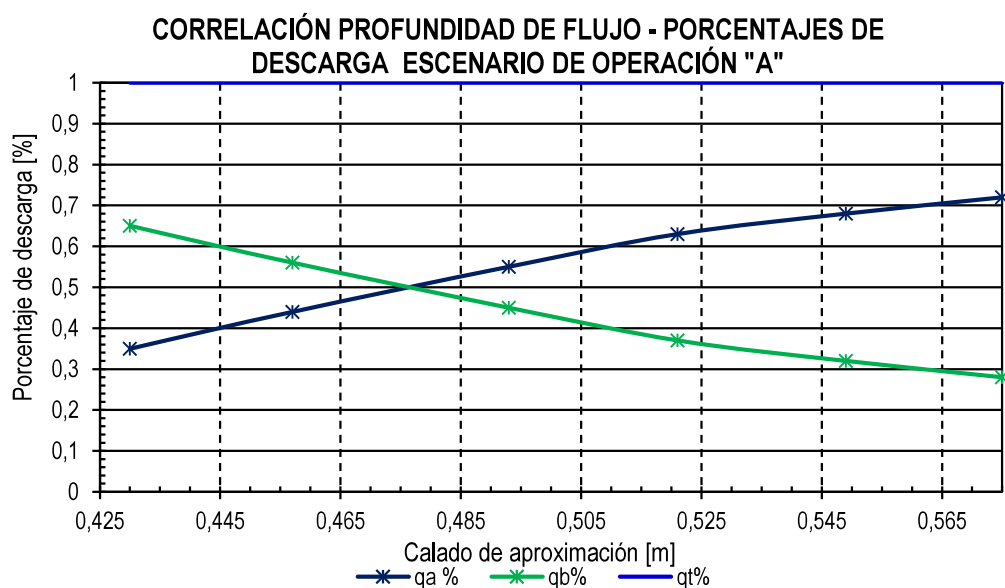
También se desarrollaron gráficos 4.121, 4.122, 4.123, que muestran la correlación entre los calados de aproximación, y los porcentajes de descarga, los cuales se presentan a continuación:

Gráfico 4. 121: Correlación entre el calado de aproximación y el porcentaje de descarga - escenario de operación normal.



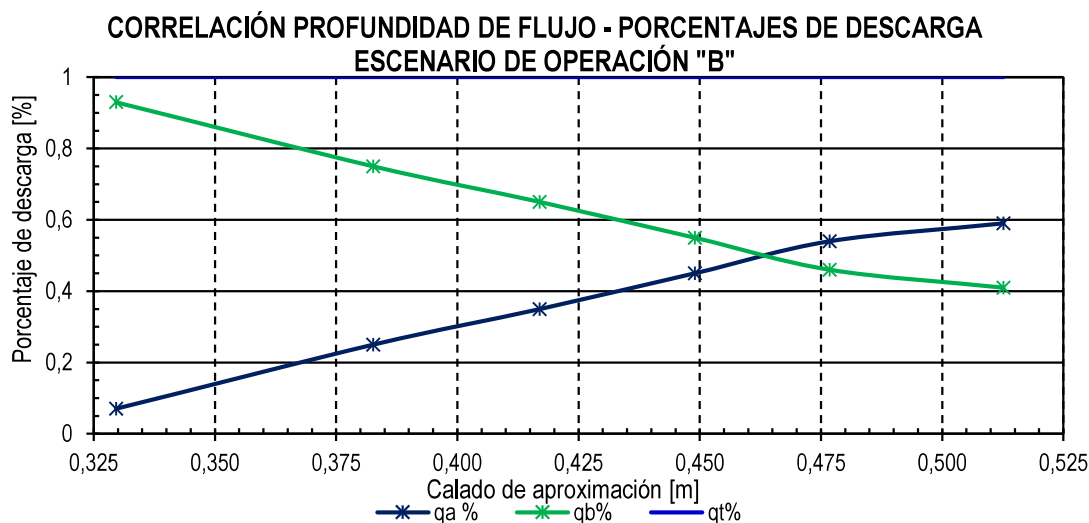
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico 4. 122: Correlación entre el calado de aproximación y el porcentaje de descarga - escenario de operación "A".



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

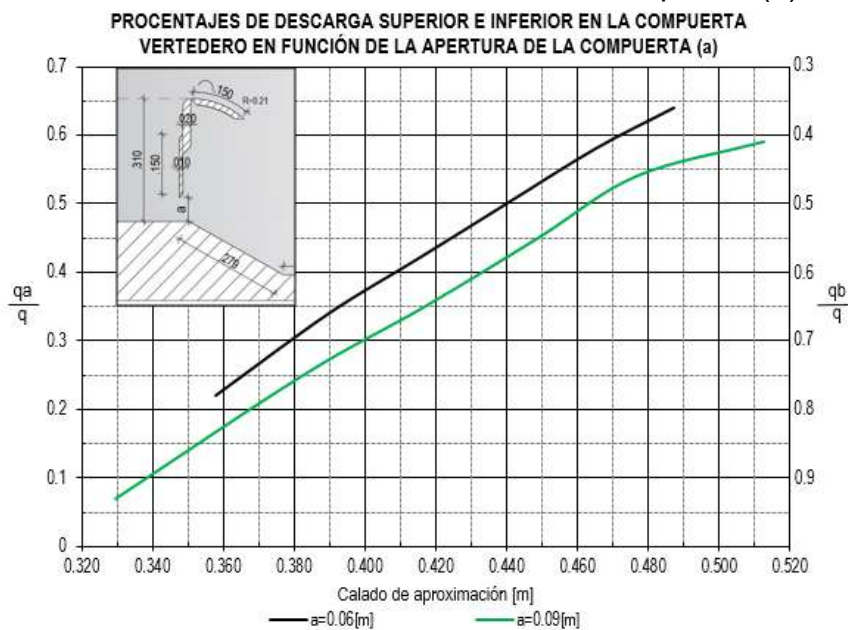
Gráfico 4. 123: Correlación entre el calado de aproximación y el porcentaje de descarga - escenario de operación "B".



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

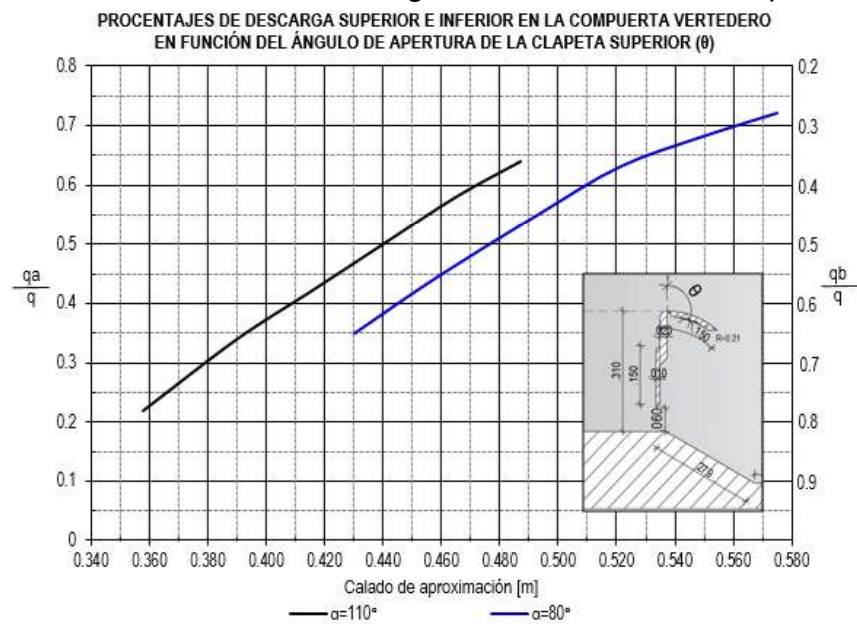
Con base en los gráficos precedentes, y, tomando como referencia el criterio de la abertura de la compuerta de la compuerta inferior, se desarrolló el diagrama que se muestra a continuación, que permite obtener los porcentajes de descarga superior, e inferior, respectivamente, a partir del calado de aproximación a la compuerta-vertedero:

Figura 4. 1: Diagrama de cálculo de las descargas superior e inferior de la compuerta vertedero, en función de la abertura de la compuerta (a).



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Figura 4. 2: Diagrama de cálculo de las descargas superior e inferior de la compuerta vertedero, en función del ángulo de abertura de la clapeta superior (θ).



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

CAPÍTULO 5:

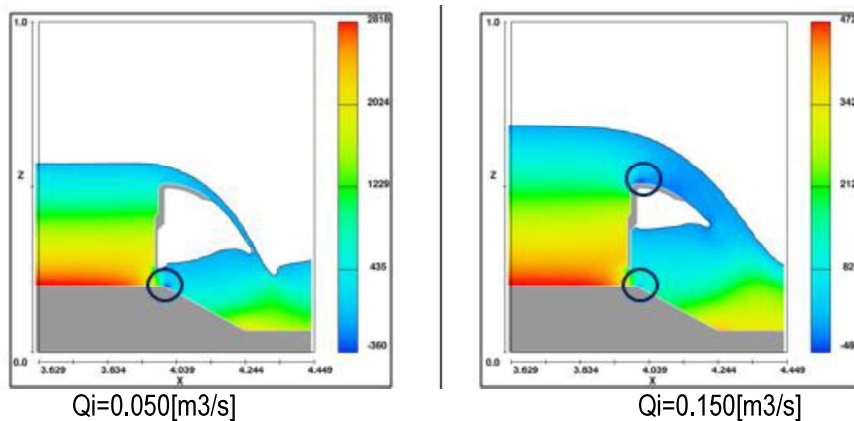
RESUMEN. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.

5.1. RESUMEN.

Se simuló con el paquete computacional Flow 3D, en los escenarios planteados, el comportamiento del flujo a través de la compuerta-vertedero propuesta por Peissner (1989), con distintos caudales, en tres diferentes condiciones de abertura de sus elementos (clapeta superior, y compuerta inferior). Sobre esta base, se determinaron los parámetros de que son de interés en el análisis del flujo combinado en esta estructura, a partir de los cuales se consigue definir sus características, primordialmente, la determinación numérica de los caudales de descarga superior e inferior, respectivamente.

La obtención de gráficos de la variación espacio-temporal de la presión, ha permitido identificar las zonas donde esta variable presenta sus valores máximos, y mínimos, inclusive las zonas donde se generan valores negativos de la presión.

Gráfico 5. 1: Variación espacial de la presión en la zona de interés – escenario de operación normal.

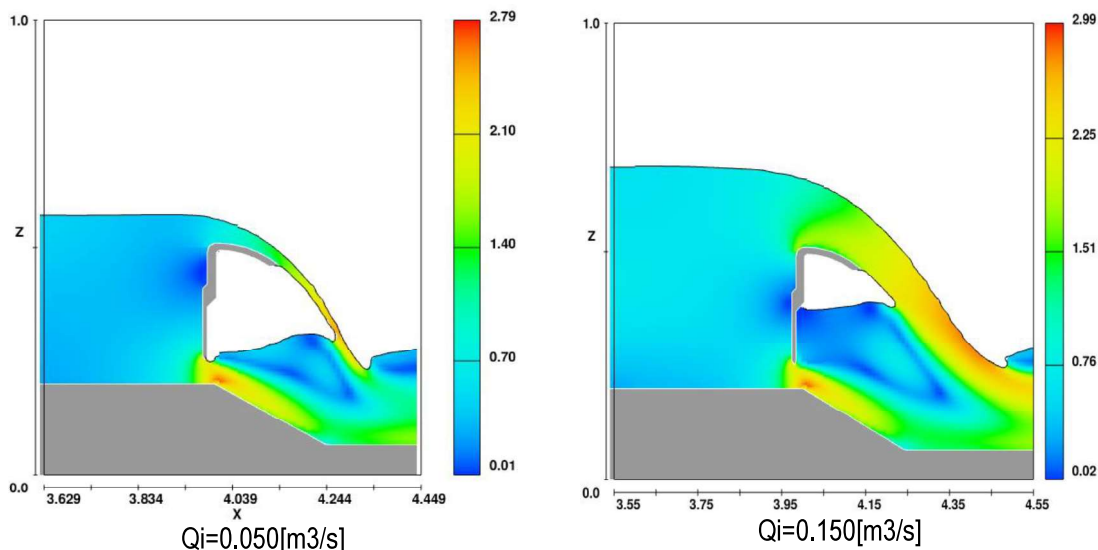


Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Mediante la visualización de los gráficos de variación espacio-temporal de la variable velocidad, se evidenció claramente que el flujo que descarga sobre la clapeta superior, presenta una aceleración debida a la reducción de la sección del flujo, que, conforme incrementa el caudal ensayado, se desarrolla más cerca de la intersección entre el paramento vertical, y la clapeta superior. El flujo mantiene el incremento de velocidad hacia aguas abajo, hasta obtener sus valores máximos cuando impacta con el flujo procedente de la compuerta inferior.

En cuanto a la descarga bajo la compuerta inferior, se evidencia que la velocidad del flujo, sufre un notable incremento, desde una distancia de aproximadamente 2 centímetros aguas arriba de su labio inferior, llegando a sus valores máximos en la arista donde inicia la depresión del fondo del canal; a partir de este sector, la velocidad del flujo disminuye por el efecto del impacto que sufre con el flujo procedente de la clapeta superior.

Gráfico 5. 2: Variación espacial de la velocidad en la zona de interés – escenario de operación normal.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Se evidenció que los vectores velocidad, en el plano “xz”, se separan al entrar en contacto con el paramento vertical de la compuerta-vertedero, y, al visualizar las líneas de corriente, se determinó la posición de la superficie de separación del flujo de aproximación a la estructura. Cabe indicar que esta localización resulta de considerar que en cada instante del tiempo de simulación se produce una ligera

variación de las líneas de corriente, por lo tanto, la posición del fondo virtual, varía levemente.

A partir de la identificación de la posición del fondo virtual, respecto al fondo del canal, validó este criterio, para caracterizar el flujo sobre la clapeta superior, en base a la altura ficticia del vertedero " W_a ".

En lo que respecta a los caudales de descarga, superior e inferior, se determinó que los valores generados mediante la modelación numérica, son concordantes con los resultados teóricos obtenidos mediante el diagrama de Naudascher-Castro-Peissner, desarrollado a partir del modelo físico de Peissner (1989). Dichos valores numéricos tienen diferencias pequeñas respecto a los valores teóricos.

En virtud de que en el modelo numérico se ha generado una adecuada caracterización de los fenómenos que se desarrollan en la estación experimental, se desarrollan dos escenarios de operación adicionales al estudiado por Peissner, que involucran la variación de la abertura de la compuerta inferior, y la clapeta superior, respectivamente.

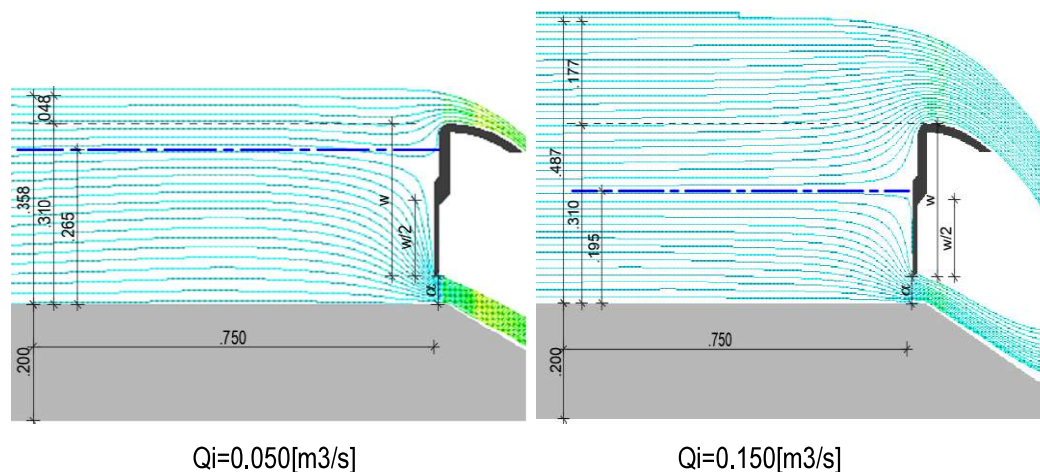
Sobre la base de los calados de aproximación a la compuerta-vertedero, procedentes de la modelación numérica, se emplearon las ecuaciones propuestas en la literatura técnica, para calcular los caudales de descarga bajo compuertas, y sobre vertederos, respectivamente, los cuales fueron comparados con los obtenidos en el modelo numérico, evidenciando que, las diferencias porcentuales son pequeñas, a pesar de que, las ecuaciones consideran un flujo bidimensional, en tanto que, la simulación numérica describe el flujo en tres dimensiones.

Finalmente, mediante la sintetización de los calados de aproximación, y caudales de descarga obtenidos en el modelo físico, para todas las pruebas realizadas, se establecieron correlaciones entre dichos parámetros; a partir de las cuales, se desarrollaron diagramas que permiten obtener los porcentajes de descarga superior, e inferior, respectivamente, en base al calado de aproximación a la estructura.

5.2. CONCLUSIONES.

- En el modelo numérico de la estación experimental estudiada por Peissner (1989), se logra obtener condiciones propicias que permiten contar con una adecuada representación del flujo y los fenómenos hidráulicos que se desarrollan en el flujo combinado superior e inferior en una compuerta vertedero. Bajo esta premisa, fue posible determinar numéricamente los caudales de descarga superior e inferior, respectivamente.
- Al realizar la simulación de tres escenarios de operación, con diferentes caudales, se obtienen las variaciones espacio-temporales de las variables del flujo, para cada prueba realizada, y, sobre la base de los resultados conseguidos en la modelación numérica, se han definido las características del flujo combinado, superior e inferior en una compuerta-vertedero, identificando particularmente los sectores donde se producen variaciones importantes de la velocidad del flujo, y la presión.
- A partir del análisis de la dirección de los vectores velocidad, y de las líneas de corriente, se determina que, efectivamente, existe una zona de separación de los flujos de descarga superior, e inferior, cuya posición respecto al fondo del canal, fue identificada. Al mantener constante la abertura de la compuerta inferior, la distancia desde el fondo del canal a la que se ubica esta zona disminuye, conforme incrementa el valor del calado de aproximación a la estructura, tendiendo a ubicarse la zona de separación, en el centro del paramento vertical de la estructura, y sin descender de esta localización.

Gráfico 5. 3: Ubicación de la superficie de separación de los flujos de descarga superior e inferior, medida desde el fondo del canal.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

- El criterio del fondo virtual es válido únicamente para la cuantificación de la descarga sobre la clapeta superior, pues este fondo no tiene incidencia en la carga sobre el vertedero, pero sí influencia en la geometría de este elemento, generando una altura ficticia, al reducir su longitud, la cual, para los fines prácticos, debe ser considerada únicamente desde dicho fondo, hasta la cresta del vertedero.
- Al realizar un análisis comparativo de los resultados generados en el modelo numérico, respecto a los obtenidos mediante el diagrama de Naudascher-Castro-Peissner, únicamente en el escenario de operación planteado por Peissner, se logró determinar que sus diferencias porcentuales son pequeñas, de tal manera que los valores obtenidos, en cada caso, son muy similares, particularmente en los valores que corresponden a la descarga inferior, cuyas diferencias entre los caudales numéricos, y los caudales teóricos son mínimas, teniéndose valores inferiores al 6.12% de discrepancia.

En este contexto, dada la similitud de los valores numéricos, y valores teóricos obtenidos, se establece que el diagrama de Naudascher-Peissner-Castro entrega resultados satisfactorios para la determinación de los

porcentajes de descarga superior, e inferior, respectivamente, y se validan los resultados del modelo numérico desarrollado.

- Al haber realizado simulaciones de tres escenarios diferentes, los cuales se plantearon considerando la variación en la abertura de la compuerta inferior, y la variación de la abertura de la clapeta superior, respectivamente, en dos condiciones adicionales, disímiles a las estudiadas por Peissner en su modelo físico, se ha incrementado el rango de funcionamiento de la estructura, en función de la abertura de sus dos componentes de descarga.
- Mediante la síntesis de los valores de las descargas superior, e inferior, respectivamente, y los calados de aproximación obtenidos en todas las simulaciones realizadas, se han podido establecer correlaciones entre estos dos parámetros, a partir de las cuales, se han desarrollado diagramas que permiten cuantificar los porcentajes del caudal que se descargan sobre la clapeta superior, y bajo la compuerta inferior, respectivamente (Ver figuras 4.1 y 4.2).
- El haber desarrollado en los dos escenarios finales, dos pruebas con caudales superiores a los 0.150 [m³/s], que es el máximo valor con el que puede ser empleado el diagrama de Naudascher-Castro-Peissner, ha permitido conocer las descargas superior, e inferior de la estructura, con un mayor rango de caudales (Ver figuras 4.1 y 4.2).
- Inmediatamente aguas abajo de la estructura de control, la lámina vertiente del flujo que descarga sobre el vertedero, choca contra el flujo procedente de la compuerta inferior. Sin embargo, en todos los casos analizados se produce aireación en la zona comprendida entre el vertedero y la lámina vertiente, por lo tanto, el vertedero mantiene una condición de descarga libre.
- Al analizar la descarga bajo la compuerta, considerando los criterios de sumergencia de Swamee, se determinó que en todas las pruebas realizadas, el calado aguas abajo de la estructura de control, no es suficientemente alto

para sumergir la descarga bajo la compuerta, por lo tanto, en todos los escenarios analizados se presenta una condición de descarga libre.

- Los resultados obtenidos respecto a los valores de las descargas superior, e inferior, respectivamente, en las pruebas realizadas con caudales altos, en las que se cuenta con mayores valores del número de Reynolds, tienen menores diferencias porcentuales respecto a los caudales teóricos, lo cual indica que efectivamente, el modelo de turbulencia $k-\epsilon$ RNG, tiene un mejor desempeño cuando se tiene número de Reynolds altos.
- La dinámica de fluidos computacional es una herramienta complementaria, que constituye un medio muy eficiente para realizar la cuantificación de caudales descargados a través de una estructura de control, por lo tanto, su aplicación permite obtener información confiable del flujo a través de una compuerta vertedero, prescindiendo del uso de coeficientes de descarga.

5.3. TRABAJOS FUTUROS.

Se ha estudiado una estructura que puede tener diferentes variaciones, en cuanto a la abertura de sus dos componentes: la clapeta superior, y la compuerta inferior, en tal virtud, se recomienda realizar trabajos adicionales que permitan cuantificar las descargas respectivas, para otras condiciones de abertura de sus elementos, diferentes a las presentadas en este documento.

El impacto del flujo que descarga sobre la clapeta superior, con el flujo procedente de la compuerta inferior es un fenómeno que podría ser analizado en un estudio posterior, para analizar la eficiencia en la disipación de energía en el cuenco al pie de la compuerta vertedero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

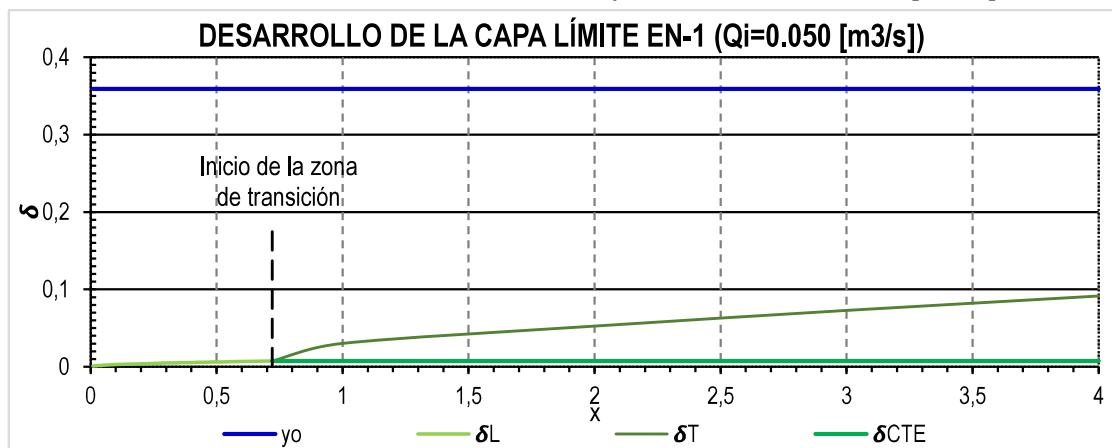
- ALHAMID ET AL (1996). *Discharge equation for simultaneous flow over rectangular weirs and below inverted triangular weirs*. Arabia Saudita: King Saud University.
- AZIM ET AL (1997). *Combined-free flow over weirs and below gates*, Zagazig: Zagazig University.
- BERGADÁ J. (2012). *Mecánica de fluidos. Breve introducción teórica con problemas resueltos*. Barcelona: Universitat Politècnica de Barcelona. 78-84-7653-943-9.
- CASTRO M (1983). *Abfluss-und Auflasbeiwerte fur den Entwurf von Stauklappen*. Karlsruhe: Universitaet Karlsruhe
- CASTRO M.-HIDALGO X. (2002). *Análisis experimental del flujo combinado superior e inferior en una compuerta plana*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. *Ingeniería Hidráulica en México*.
- CENGEL Y / CIMBALA J (2006). *Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones*. México DF: McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A. de CV. 970-105612-2.
- CHOW V. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. Santa Fe de Bogotá: McGrawHill. 958-600-228-4.
- DOMÍNGUEZ F. (1999). *Hidráulica – Santiago: Impresos Universia* .956-11-0793-6.
- FLACSO-MAE- PNUMA (2008). *GEO Ecuador Informe sobre el estado del medio ambiente*. Quito: FLACSO.
- FLOW SCIENCE INC. (2012) *Flow 3D 10.1.0 Documentation Release. Manual de Usuario*. New México: Los Alamos National laboratory.

- HABEEB M. Y KHASSAF S (2014): *Experimental investigation for flow through combined trapezoidal weir and rectangular gate*. Basra: University of Basrah.
- LÁZARO A. (2004). *Manual de hidráulica*. Alicante: Universidad de Alicante. 84-7908-320-4.
- PEISSNER K. (1989). *Abfluss - und Belastungskenngrößen bei gleichzeitig über- und unterströmten Wehrverschlüssen*. Karlsruhe: Universitaet Karlsruhe.
- ROCHA A. (2007). *Hidráulica de tuberías y canales*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- SOTELO G. (1997). *Hidráulica General*. México DF: Editorial Limusa S.A. 968-18-0503-8.
- STREETER V- (1970). *Mecánica de los fluidos*. México DF: McGraw-Hill de México.
- SWAMEE K. (1988). *Generalized Rectangular Weir Equations*. Gurgaon: Institute of Technology and Management. *Journal of irrigation and Drainage Engineering*.
- SWAMEE K. (1992). *SluiceGate Discharge Equations*. Gurgaon: Institute of Technology and Management. *Journal of irrigation and Drainage Engineering*.
- SWAMEE K. et al. (2001). *Viscosity and surface tension effects on rectangular weirs*. Gurgaon: Institute of Technology and Management. *Journal of irrigation and Drainage Engineering*. *Journal of Hydraulic Engineering*.

ANEXOS

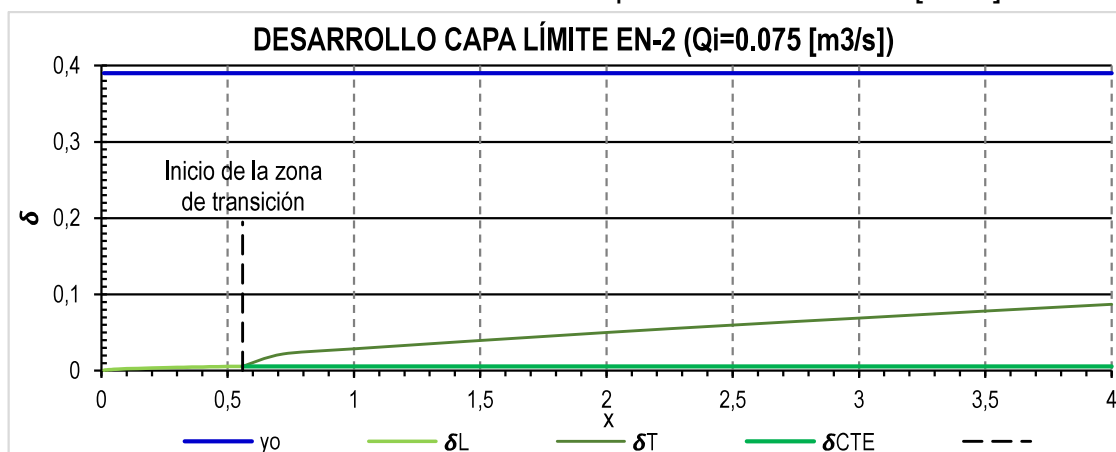
ANEXO A1: DESARROLLO DE LA CAPA LÍMITE, CALCULADOS A PARTIR DE LAS ECUACIONES (2.41), Y (2.42), CON BASE EN LOS CAUDALES ENSAYADOS.

Gráfico A1. 1: Desarrollo de la capa límite - $Q_i = 0.050$ [m³/s].



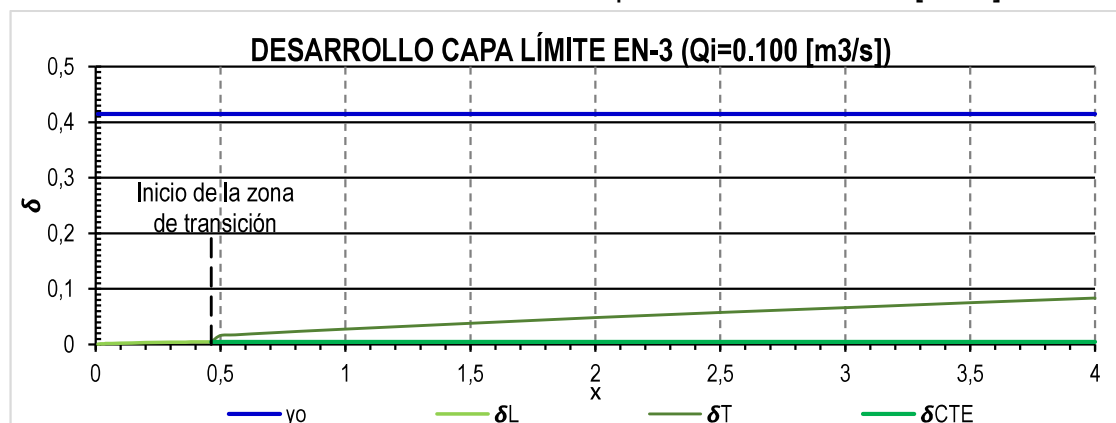
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico A1. 2: Desarrollo de la capa límite - $Q_i = 0.075$ [m³/s].

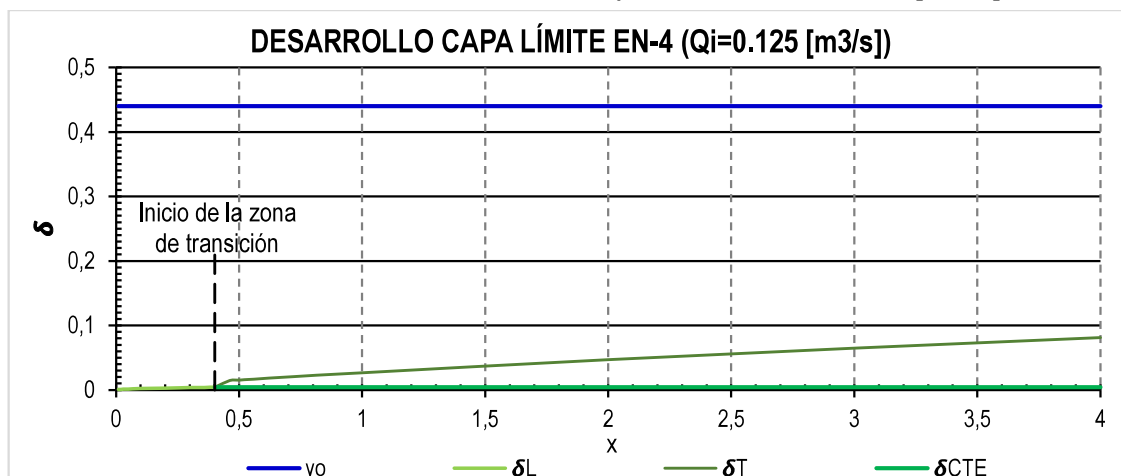
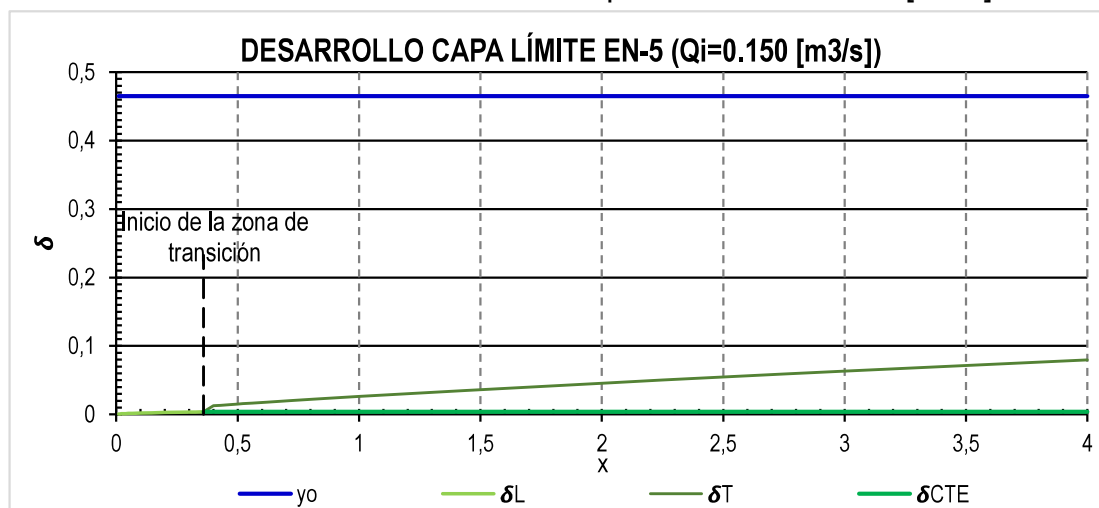
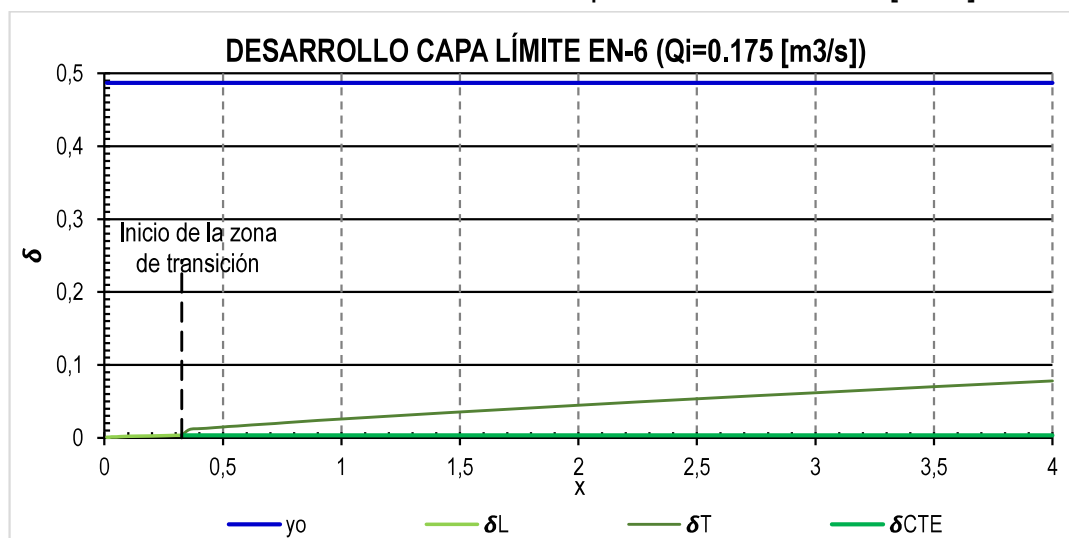


Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico A1. 3: Desarrollo de la capa límite - $Q_i = 0.100$ [m³/s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico A1. 4: Desarrollo de la capa límite - $Q_i = 0.125$ [m³/s].**Gráfico A1. 5:** Desarrollo de la capa límite - $Q_i = 0.150$ [m³/s].**Gráfico A1. 6:** Desarrollo de la capa límite - $Q_i = 0.125$ [m³/s].

ANEXO A 2: CARACTERÍSTICAS DE LOS BLOQUES DE MALLADO QUE CONFORMAN EL DOMINIO COMPUTACIONAL.

Gráfico A2. 1: Características del bloque de mallado No. 1.

Grid Information for Mesh Block 1: Block 1	
X direction	
Total number of real cells = 10	
Minimum cell size = 0.02 m	ati = 2
Maximum cell size = 0.02 m	ati = 3
Maximum adjacent cell size ratio = 1	ati = 3
Y direction	
Total number of real cells = 25	
Minimum cell size = 0.02 m	atj = 12
Maximum cell size = 0.02 m	atj = 23
Maximum adjacent cell size ratio = 1	atj = 23
Z direction	
Total number of real cells = 40	
Minimum cell size = 0.02 m	atk = 7
Maximum cell size = 0.02 m	atk = 18
Maximum adjacent cell size ratio = 1	atk = 18
Maximum aspect ratios	
Total number of real cells	X_Y direction: 1
10,000	Y_Z direction: 1
	Z_X direction: 1

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico A2. 2: Características del bloque de mallado No. 2.

Grid Information for Mesh Block 2: Block 2	
X direction	
Total number of real cells = 180	
Minimum cell size = 0.02 m	ati = 17
Maximum cell size = 0.0200002 m	ati = 108
Maximum adjacent cell size ratio = 1.00001	ati = 108
Y direction	
Total number of real cells = 35	
Minimum cell size = 0.02 m	atj = 17
Maximum cell size = 0.02 m	atj = 28
Maximum adjacent cell size ratio = 1	atj = 28
Z direction	
Total number of real cells = 50	
Minimum cell size = 0.02 m	atk = 17
Maximum cell size = 0.02 m	atk = 28
Maximum adjacent cell size ratio = 1	atk = 28
Maximum aspect ratios	
Total number of real cells	X_Y direction: 1.00001
315,000	Y_Z direction: 1
	Z_X direction: 1.00001

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico A2. 3: Características del bloque de mallado No. 3.

Grid Information for Mesh Block 3: Block 3	
X direction	
Total number of real cells = 41	
Minimum cell size = 0.00999999 m	ati = 2
Maximum cell size = 0.0100002 m	ati = 4
Maximum adjacent cell size ratio = 1.00002	ati = 4
Y direction	
Total number of real cells = 70	
Minimum cell size = 0.00999999 m	atj = 17
Maximum cell size = 0.0100001 m	atj = 55
Maximum adjacent cell size ratio = 1.00001	atj = 55
Z direction	
Total number of real cells = 30	
Minimum cell size = 0.00999999 m	atk = 17
Maximum cell size = 0.01 m	atk = 28
Maximum adjacent cell size ratio = 1	atk = 28
Maximum aspect ratios	
Total number of real cells	X_Y direction: 1.00002
86,100	Y_Z direction: 1.00001
	Z_X direction: 1.00002

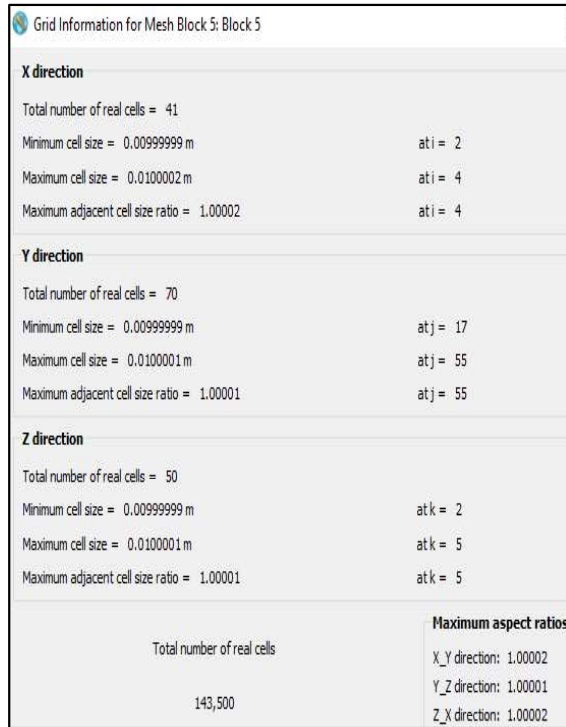
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico A2. 4: Características del bloque de mallado No. 4.

Grid Information for Mesh Block 4: Block 4	
X direction	
Total number of real cells = 41	
Minimum cell size = 0.00999999 m	ati = 2
Maximum cell size = 0.0100002 m	ati = 4
Maximum adjacent cell size ratio = 1.00002	ati = 4
Y direction	
Total number of real cells = 70	
Minimum cell size = 0.00999999 m	atj = 17
Maximum cell size = 0.0100001 m	atj = 55
Maximum adjacent cell size ratio = 1.00001	atj = 55
Z direction	
Total number of real cells = 20	
Minimum cell size = 0.00999999 m	atk = 2
Maximum cell size = 0.01 m	atk = 4
Maximum adjacent cell size ratio = 1	atk = 4
Maximum aspect ratios	
Total number of real cells	X_Y direction: 1.00002
57,400	Y_Z direction: 1.00001
	Z_X direction: 1.00002

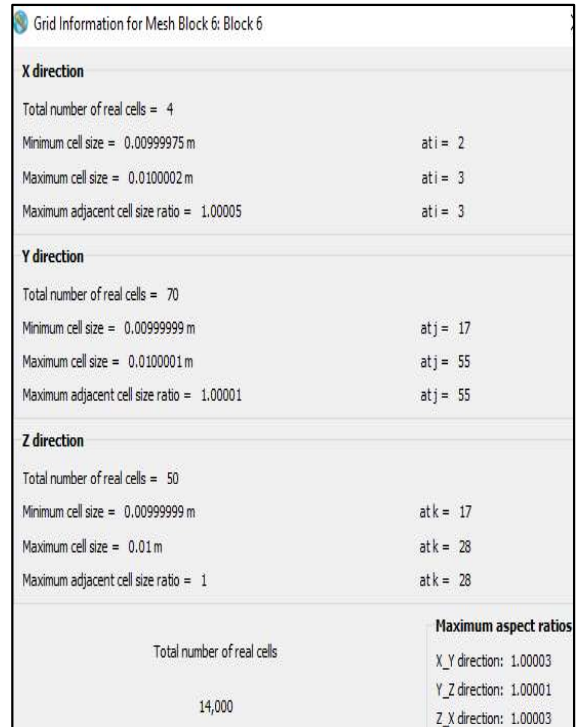
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico A2. 5: Características del bloque de mallado No. 5.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico A2. 6: Características del bloque de mallado No. 6.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico A2. 7: Características del bloque de mallado No. 7.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico A2. 8: Características del bloque de mallado No. 8.



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico A2. 9: Características del bloque de mallado No. 9.

Grid Information for Mesh Block 9: Block 9	
X direction	
Total number of real cells = 95	
Minimum cell size = 0.02 m	at i = 2
Maximum cell size = 0.0200005 m	at i = 9
Maximum adjacent cell size ratio = 1.00002	at i = 9
Y direction	
Total number of real cells = 35	
Minimum cell size = 0.02 m	at j = 17
Maximum cell size = 0.02 m	at j = 28
Maximum adjacent cell size ratio = 1	at j = 28
Z direction	
Total number of real cells = 28	
Minimum cell size = 0.0196428 m	at k = 19
Maximum cell size = 0.0196429 m	at k = 29
Maximum adjacent cell size ratio = 1	at k = 29
Total number of real cells	Maximum aspect ratios
93,100	X_Y direction: 1.00002
	Y_Z direction: 1.01819
	Z_X direction: 1.01821

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico A2. 10: Características del bloque de mallado No. 7.

Grid Information for Mesh Block 10: Block 10	
X direction	
Total number of real cells = 95	
Minimum cell size = 0.02 m	at i = 2
Maximum cell size = 0.0200005 m	at i = 9
Maximum adjacent cell size ratio = 1.00002	at i = 9
Y direction	
Total number of real cells = 35	
Minimum cell size = 0.02 m	at j = 17
Maximum cell size = 0.02 m	at j = 28
Maximum adjacent cell size ratio = 1	at j = 28
Z direction	
Total number of real cells = 22	
Minimum cell size = 0.0204545 m	at k = 2
Maximum cell size = 0.0204546 m	at k = 4
Maximum adjacent cell size ratio = 1	at k = 4
Total number of real cells	Maximum aspect ratios
73,150	X_Y direction: 1.00002
	Y_Z direction: 1.02273
	Z_X direction: 1.02273

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

**ANEXO B: REGISTROS HISTÓRICOS DE CAUDALES EN LAS
SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO DE LAS
PRUEBAS REALIZADAS PARA LA SELECCIÓN DEL
MODELO DE TURBULENCIA**

Tabla B 1: Registro histórico de caudales en las secciones de interés - Prueba KE-1/ $Q_i=0.080$ [m³/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO									
MODELO DE TURBULENCIA: k-ε RNG					PRUEBA KE-1: CAUDAL DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL = 0.8 [m ³ /s]				
Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]	Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]
0.00	0.0800	0.0000	0.0000	0.0000	30.6001	0.0800	0.0281	0.0493	0.0770
0.60	0.0800	0.0000	0.0000	0.0000	31.1999	0.0800	0.0277	0.0494	0.0768
1.20	0.0800	0.0000	0.0000	0.0000	31.7996	0.0800	0.0278	0.0497	0.0763
1.80	0.0800	0.0000	0.0280	0.0000	32.4002	0.0800	0.0284	0.0498	0.0763
2.40	0.0800	0.0000	0.0598	0.0000	33.0002	0.0800	0.0277	0.0496	0.0767
3.00	0.0800	0.0000	0.0586	0.0000	33.6000	0.0800	0.0283	0.0499	0.0769
3.60	0.0800	0.0000	0.0541	0.0279	34.1999	0.0800	0.0276	0.0502	0.0769
4.20	0.0800	0.0000	0.0501	0.0387	34.8001	0.0800	0.0281	0.0502	0.0781
4.80	0.0800	0.0000	0.0455	0.0344	35.4002	0.0800	0.0283	0.0503	0.0766
5.40	0.0800	0.0000	0.0431	0.0348	36.0000	0.0800	0.0284	0.0504	0.0768
6.00	0.0800	0.0000	0.0406	0.0400	36.5998	0.0800	0.0267	0.0501	0.0775
6.60	0.0800	0.0000	0.0399	0.0410	37.2001	0.0800	0.0278	0.0504	0.0769
7.20	0.0800	0.0000	0.0389	0.0391	37.8002	0.0800	0.0272	0.0506	0.0750
7.80	0.0800	0.0000	0.0382	0.0384	38.4002	0.0800	0.0288	0.0503	0.0765
8.40	0.0800	0.0000	0.0381	0.0378	38.9996	0.0800	0.0281	0.0508	0.0751
9.00	0.0800	0.0000	0.0382	0.0373	39.5997	0.0800	0.0291	0.0508	0.0757
9.60	0.0800	0.0000	0.0384	0.0372	40.2003	0.0800	0.0280	0.0507	0.0756
10.20	0.0800	0.0000	0.0381	0.0377	40.8003	0.0800	0.0291	0.0508	0.0762
10.80	0.0800	0.0000	0.0383	0.0376	41.3998	0.0800	0.0276	0.0506	0.0754
11.40	0.0800	0.0002	0.0390	0.0367	41.9999	0.0800	0.0288	0.0508	0.0761
12.00	0.0800	0.0000	0.0378	0.0371	42.5998	0.0800	0.0284	0.0508	0.0756
12.60	0.0800	0.0000	0.0388	0.0379	43.2003	0.0800	0.0286	0.0508	0.0767
13.20	0.0800	0.0038	0.0413	0.0364	43.8003	0.0800	0.0285	0.0510	0.0769
13.80	0.0800	0.0079	0.0423	0.0384	44.3997	0.0800	0.0280	0.0510	0.0773
14.40	0.0800	0.0110	0.0428	0.0430	45.0002	0.0800	0.0290	0.0509	0.0779
15.00	0.0800	0.0118	0.0427	0.0503	45.6002	0.0800	0.0280	0.0510	0.0785
15.60	0.0800	0.0129	0.0429	0.0490	46.1998	0.0800	0.0298	0.0510	0.0787
16.20	0.0800	0.0136	0.0433	0.0500	46.7999	0.0800	0.0296	0.0513	0.0790
16.80	0.0800	0.0135	0.0436	0.0535	47.3999	0.0800	0.0275	0.0516	0.0801
17.40	0.0800	0.0135	0.0444	0.0547	47.9999	0.0800	0.0282	0.0512	0.0802
18.00	0.0800	0.0163	0.0456	0.0554	48.6001	0.0800	0.0280	0.0515	0.0803
18.60	0.0800	0.0189	0.0464	0.0561	49.2001	0.0800	0.0284	0.0512	0.0794
19.20	0.0800	0.0208	0.0459	0.0590	49.7999	0.0800	0.0289	0.0515	0.0797
19.80	0.0800	0.0212	0.0464	0.0628	50.3997	0.0800	0.0283	0.0509	0.0792
20.40	0.0800	0.0203	0.0470	0.0648	51.0002	0.0800	0.0293	0.0513	0.0802
21.00	0.0800	0.0224	0.0479	0.0648	51.6000	0.0800	0.0287	0.0515	0.0775
21.60	0.0800	0.0219	0.0475	0.0652	52.1997	0.0800	0.0301	0.0512	0.0789

22.20	0.0800	0.0200	0.0477	0.0670	52.7997	0.0800	0.0275	0.0511	0.0794
22.80	0.0800	0.0243	0.0488	0.0664	53.3999	0.0800	0.0291	0.0516	0.0790
23.40	0.0800	0.0266	0.0485	0.0667	53.9997	0.0800	0.0285	0.0513	0.0776
24.00	0.0800	0.0258	0.0490	0.0699	54.6004	0.0800	0.0287	0.0512	0.0792
24.60	0.0800	0.0284	0.0480	0.0721	55.1997	0.0800	0.0289	0.0517	0.0789
25.20	0.0800	0.0288	0.0480	0.0731	55.8000	0.0800	0.0286	0.0515	0.0789
25.80	0.0800	0.0296	0.0482	0.0741	56.4000	0.0800	0.0283	0.0511	0.0791
26.40	0.0800	0.0284	0.0484	0.0751	56.9997	0.0800	0.0293	0.0516	0.0790
27.00	0.0800	0.0286	0.0490	0.0767	57.5996	0.0800	0.0284	0.0515	0.0780
27.60	0.0800	0.0288	0.0492	0.0757	58.2003	0.0800	0.0289	0.0515	0.0788
28.20	0.0800	0.0293	0.0495	0.0770	58.7998	0.0800	0.0291	0.0513	0.0777
28.80	0.0800	0.0281	0.0494	0.0769	59.3999	0.0800	0.0285	0.0511	0.0776
29.40	0.0800	0.0285	0.0493	0.0778	60.0002	0.0800	0.0286	0.0513	0.0775
30.00	0.0800	0.0279	0.0492	0.0763	.				
Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC									

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla B 2: Registro histórico de caudales en las secciones de interés - Prueba KW-1/ $Q_i=0.080$ [m³/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO									
MODELO DE TURBULENCIA: k- ω					PRUEBA KW-1: CAUDAL DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL = 0.80 [m ³ /s]				
Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]	Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]
0.00	0.0800	0.0000	0.0000	0.0000	30.60	0.0800	0.0253	0.0517	0.0721
0.60	0.0800	0.0000	0.0000	0.0000	31.20	0.0800	0.0267	0.0509	0.0730
1.80	0.0800	0.0000	0.0282	0.0000	32.40	0.0800	0.0281	0.0511	0.0762
2.40	0.0800	0.0000	0.0579	0.0000	33.00	0.0800	0.0252	0.0516	0.0770
3.00	0.0800	0.0000	0.0563	0.0000	33.60	0.0800	0.0265	0.0518	0.0770
3.60	0.0800	0.0000	0.0517	0.0297	34.20	0.0800	0.0263	0.0518	0.0760
4.20	0.0800	0.0000	0.0483	0.0343	34.80	0.0800	0.0265	0.0516	0.0762
4.80	0.0800	0.0000	0.0451	0.0348	35.40	0.0800	0.0268	0.0516	0.0761
5.40	0.0800	0.0000	0.0422	0.0339	36.00	0.0800	0.0263	0.0517	0.0766
6.00	0.0800	0.0000	0.0401	0.0379	36.60	0.0800	0.0265	0.0517	0.0762
6.60	0.0800	0.0004	0.0413	0.0378	37.20	0.0800	0.0247	0.0514	0.0764
7.20	0.0800	0.0000	0.0404	0.0395	37.80	0.0800	0.0251	0.0516	0.0759
7.80	0.0800	0.0000	0.0426	0.0413	38.40	0.0800	0.0254	0.0518	0.0746
8.40	0.0800	0.0000	0.0430	0.0390	39.00	0.0800	0.0253	0.0517	0.0750
9.00	0.0800	0.0000	0.0448	0.0396	39.60	0.0800	0.0249	0.0515	0.0754
9.60	0.0800	0.0000	0.0439	0.0409	40.20	0.0800	0.0251	0.0516	0.0757
10.20	0.0800	0.0000	0.0435	0.0427	40.80	0.0800	0.0259	0.0519	0.0750
10.80	0.0800	0.0000	0.0440	0.0413	41.40	0.0800	0.0250	0.0514	0.0751
11.40	0.0800	0.0000	0.0450	0.0420	42.00	0.0800	0.0254	0.0510	0.0759
12.00	0.0800	0.0000	0.0469	0.0423	42.60	0.0800	0.0266	0.0513	0.0743
12.60	0.0800	0.0000	0.0472	0.0438	43.20	0.0800	0.0283	0.0515	0.0761
13.20	0.0800	0.0000	0.0473	0.0452	43.80	0.0800	0.0265	0.0514	0.0769
14.40	0.0800	0.0013	0.0469	0.0457	45.00	0.0800	0.0259	0.0518	0.0762
15.00	0.0800	0.0022	0.0459	0.0462	45.60	0.0800	0.0264	0.0513	0.0763
15.60	0.0800	0.0057	0.0463	0.0463	46.20	0.0800	0.0242	0.0509	0.0759
16.20	0.0800	0.0069	0.0471	0.0478	46.80	0.0800	0.0260	0.0515	0.0754
16.80	0.0800	0.0071	0.0482	0.0516	47.40	0.0800	0.0261	0.0512	0.0717
17.40	0.0800	0.0089	0.0499	0.0535	48.00	0.0800	0.0272	0.0510	0.0785
18.00	0.0800	0.0090	0.0505	0.0535	48.60	0.0800	0.0270	0.0512	0.0760
19.20	0.0800	0.0124	0.0507	0.0566	49.80	0.0800	0.0277	0.0515	0.0775
19.80	0.0800	0.0136	0.0508	0.0579	50.40	0.0800	0.0266	0.0516	0.0777
20.40	0.0800	0.0133	0.0511	0.0605	51.00	0.0800	0.0245	0.0516	0.0777
21.00	0.0800	0.0150	0.0510	0.0615	51.60	0.0800	0.0261	0.0521	0.0760
21.60	0.0800	0.0168	0.0507	0.0627	52.20	0.0800	0.0246	0.0520	0.0752
22.20	0.0800	0.0207	0.0504	0.0631	52.80	0.0800	0.0263	0.0518	0.0746
22.80	0.0800	0.0215	0.0506	0.0653	53.40	0.0800	0.0251	0.0514	0.0752
23.40	0.0800	0.0215	0.0512	0.0685	54.00	0.0800	0.0249	0.0516	0.0759
24.00	0.0800	0.0209	0.0515	0.0700	54.60	0.0800	0.0241	0.0517	0.0750
24.60	0.0800	0.0235	0.0514	0.0704	55.20	0.0800	0.0239	0.0517	0.0751
25.20	0.0800	0.0254	0.0511	0.0703	55.80	0.0800	0.0251	0.0515	0.0729
25.80	0.0800	0.0239	0.0517	0.0722	56.40	0.0800	0.0259	0.0516	0.0698
26.40	0.0800	0.0236	0.0520	0.0747	57.00	0.0800	0.0266	0.0513	0.0716
27.00	0.0800	0.0246	0.0520	0.0735	57.60	0.0800	0.0267	0.0510	0.0743
27.60	0.0800	0.0242	0.0521	0.0734	58.20	0.0800	0.0258	0.0513	0.0784
28.20	0.0800	0.0237	0.0519	0.0743	58.80	0.0800	0.0251	0.0516	0.0785
28.80	0.0800	0.0235	0.0519	0.0743	59.40	0.0800	0.0251	0.0517	0.0773
29.40	0.0800	0.0216	0.0516	0.0739	60.00	0.0800	0.0239	0.0515	0.0763
30.00	0.0800	0.0231	0.0518	0.0730					

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla B 3: Registro histórico de caudales en las secciones de interés – Prueba KE-2/ $Q_i=0.090$ [m³/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO									
MODELO DE TURBULENCIA: k-ε RNG					PRUEBA KE-2: CAUDAL DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL= 0.90[m ³ /s]				
Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]	Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]
0.00	0.0900	0.0000	0.0000	0.0000	30.60	0.0900	0.0398	0.0520	0.0893
0.60	0.0900	0.0000	0.0000	0.0000	31.20	0.0900	0.0410	0.0517	0.0920
1.20	0.0900	0.0000	0.0000	0.0000	31.80	0.0900	0.0413	0.0508	0.0912
1.80	0.0900	0.0000	0.0339	0.0000	32.40	0.0900	0.0427	0.0502	0.0914
2.40	0.0900	0.0000	0.0660	0.0000	33.00	0.0900	0.0425	0.0501	0.0921
3.00	0.0900	0.0000	0.0585	0.0033	33.60	0.0900	0.0422	0.0502	0.0925
3.60	0.0900	0.0000	0.0563	0.0358	34.20	0.0900	0.0421	0.0508	0.0922
4.80	0.0900	0.0000	0.0479	0.0381	35.40	0.0900	0.0398	0.0516	0.0923
5.40	0.0900	0.0000	0.0445	0.0362	36.00	0.0900	0.0391	0.0518	0.0908
6.00	0.0900	0.0000	0.0429	0.0404	36.60	0.0900	0.0384	0.0517	0.0889
6.60	0.0900	0.0000	0.0424	0.0421	37.20	0.0900	0.0358	0.0513	0.0887
7.20	0.0900	0.0000	0.0422	0.0416	37.80	0.0900	0.0338	0.0514	0.0879
7.80	0.0900	0.0000	0.0419	0.0410	38.40	0.0900	0.0370	0.0514	0.0848
8.40	0.0900	0.0000	0.0416	0.0406	39.00	0.0900	0.0358	0.0514	0.0856
9.00	0.0900	0.0001	0.0415	0.0402	39.60	0.0900	0.0367	0.0516	0.0857
9.60	0.0900	0.0001	0.0414	0.0397	40.20	0.0900	0.0368	0.0519	0.0866
10.80	0.0900	0.0001	0.0411	0.0399	41.40	0.0900	0.0367	0.0519	0.0871
11.40	0.0900	0.0005	0.0416	0.0399	42.00	0.0900	0.0360	0.0520	0.0863
12.00	0.0900	0.0026	0.0430	0.0395	42.60	0.0900	0.0363	0.0521	0.0865
12.60	0.0900	0.0100	0.0450	0.0399	43.20	0.0900	0.0368	0.0521	0.0860
13.20	0.0900	0.0157	0.0460	0.0433	43.80	0.0900	0.0368	0.0523	0.0870
13.80	0.0900	0.0190	0.0464	0.0521	44.40	0.0900	0.0364	0.0522	0.0862
14.40	0.0900	0.0204	0.0459	0.0558	45.00	0.0900	0.0371	0.0524	0.0873
15.00	0.0900	0.0213	0.0463	0.0628	45.60	0.0900	0.0369	0.0525	0.0865
15.60	0.0900	0.0214	0.0456	0.0642	46.20	0.0900	0.0368	0.0525	0.0869
16.20	0.0900	0.0227	0.0462	0.0646	46.80	0.0900	0.0370	0.0525	0.0872
16.80	0.0900	0.0246	0.0467	0.0640	47.40	0.0900	0.0374	0.0524	0.0866
17.40	0.0900	0.0276	0.0483	0.0658	48.00	0.0900	0.0375	0.0526	0.0879
18.00	0.0900	0.0284	0.0491	0.0690	48.60	0.0900	0.0376	0.0529	0.0862
18.60	0.0900	0.0292	0.0500	0.0734	49.20	0.0900	0.0388	0.0529	0.0867
19.80	0.0900	0.0304	0.0497	0.0755	50.40	0.0900	0.0383	0.0530	0.0870
20.40	0.0900	0.0321	0.0496	0.0767	51.00	0.0900	0.0373	0.0528	0.0853
21.00	0.0900	0.0334	0.0503	0.0778	51.60	0.0900	0.0382	0.0529	0.0867
21.60	0.0900	0.0340	0.0504	0.0795	52.20	0.0900	0.0373	0.0529	0.0860
22.20	0.0900	0.0354	0.0508	0.0815	52.80	0.0900	0.0385	0.0529	0.0865
22.80	0.0900	0.0360	0.0511	0.0827	53.40	0.0900	0.0379	0.0528	0.0863
23.40	0.0900	0.0341	0.0511	0.0848	54.00	0.0900	0.0380	0.0528	0.0873
24.00	0.0900	0.0357	0.0515	0.0852	54.60	0.0900	0.0383	0.0529	0.0876
24.60	0.0900	0.0354	0.0519	0.0844	55.20	0.0900	0.0377	0.0527	0.0884
25.20	0.0900	0.0354	0.0517	0.0855	55.80	0.0900	0.0382	0.0528	0.0889
25.80	0.0900	0.0368	0.0522	0.0861	56.40	0.0900	0.0384	0.0525	0.0883
26.40	0.0900	0.0361	0.0520	0.0855	57.00	0.0900	0.0380	0.0525	0.0893
27.00	0.0900	0.0370	0.0522	0.0867	57.60	0.0900	0.0377	0.0525	0.0897
27.60	0.0900	0.0372	0.0523	0.0867	58.20	0.0900	0.0388	0.0526	0.0891
28.20	0.0900	0.0380	0.0525	0.0871	58.80	0.0900	0.0386	0.0527	0.0898
28.80	0.0900	0.0370	0.0525	0.0878	59.40	0.0900	0.0379	0.0524	0.0906
29.40	0.0900	0.0383	0.0526	0.0882	60.00	0.0900	0.0385	0.0527	0.0912
30.00	0.0900	0.0407	0.0531	0.0883					

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla B 4: Registro histórico de caudales en las secciones de interés - Prueba KW-2/Qi=0.090 [m3/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO										
MODELO DE TURBULENCIA: k- ω					PRUEBA KW-2:CAUDAL DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.90[m3/s]					
Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qs [m3/s]	Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qs [m3/s]	
0.00	0.0900	0.0000	0.0000	0.0000	30.60	0.0900	0.0000	0.0553	0.0801	
0.60	0.0900	0.0000	0.0000	0.0000	31.20	0.0900	0.0000	0.0535	0.0901	
1.20	0.0900	0.0000	0.0000	0.0000	31.80	0.0900	0.0000	0.0555	0.0905	
1.80	0.0900	0.0000	0.0322	0.0000	32.40	0.0900	0.0000	0.0563	0.0887	
2.40	0.0900	0.0000	0.0658	0.0000	33.00	0.0900	0.0000	0.0563	0.0893	
3.00	0.0900	0.0000	0.0573	0.0010	33.60	0.0900	0.0000	0.0561	0.0888	
4.20	0.0900	0.0000	0.0523	0.0373	34.80	0.0900	0.0000	0.0559	0.0909	
4.80	0.0900	0.0000	0.0487	0.0385	35.40	0.0900	0.0000	0.0559	0.0898	
5.40	0.0900	0.0000	0.0448	0.0394	36.00	0.0900	0.0000	0.0558	0.0865	
6.00	0.0900	0.0000	0.0440	0.0405	36.60	0.0900	0.0000	0.0560	0.0872	
6.60	0.0900	0.0000	0.0438	0.0410	37.20	0.0900	0.0000	0.0561	0.0876	
7.20	0.0900	0.0000	0.0440	0.0418	37.80	0.0900	0.0000	0.0563	0.0901	
7.80	0.0900	0.0000	0.0442	0.0419	38.40	0.0900	0.0000	0.0560	0.0914	
8.40	0.0900	0.0000	0.0460	0.0427	39.00	0.0900	0.0000	0.0561	0.0912	
9.00	0.0900	0.0000	0.0457	0.0416	39.60	0.0900	0.0000	0.0562	0.0897	
9.60	0.0900	0.0000	0.0456	0.0433	40.20	0.0900	0.0000	0.0558	0.0907	
10.80	0.0900	0.0000	0.0483	0.0480	41.40	0.0900	0.0000	0.0561	0.0874	
11.40	0.0900	0.0000	0.0487	0.0455	42.00	0.0900	0.0000	0.0554	0.0884	
12.00	0.0900	0.0000	0.0502	0.0429	42.60	0.0900	0.0000	0.0557	0.0904	
12.60	0.0900	0.0000	0.0512	0.0473	43.20	0.0900	0.0000	0.0558	0.0916	
13.80	0.0900	0.0000	0.0536	0.0518	44.40	0.0900	0.0000	0.0560	0.0912	
14.40	0.0900	0.0000	0.0531	0.0664	45.00	0.0900	0.0000	0.0561	0.0914	
15.00	0.0900	0.0000	0.0526	0.0564	45.60	0.0900	0.0000	0.0561	0.0914	
15.60	0.0900	0.0000	0.0528	0.0593	46.20	0.0900	0.0000	0.0561	0.0884	
16.20	0.0900	0.0000	0.0523	0.0609	46.80	0.0900	0.0000	0.0560	0.0898	
16.80	0.0900	0.0000	0.0540	0.0658	47.40	0.0900	0.0000	0.0560	0.0906	
17.40	0.0900	0.0000	0.0552	0.0668	48.00	0.0900	0.0000	0.0560	0.0894	
18.00	0.0900	0.0000	0.0557	0.0705	48.60	0.0900	0.0000	0.0553	0.0900	
18.60	0.0900	0.0000	0.0554	0.0723	49.20	0.0900	0.0000	0.0549	0.0920	
19.20	0.0900	0.0000	0.0557	0.0735	49.80	0.0900	0.0000	0.0558	0.0878	
19.80	0.0900	0.0000	0.0558	0.0747	50.40	0.0900	0.0000	0.0559	0.0874	
20.40	0.0900	0.0000	0.0563	0.0770	51.00	0.0900	0.0000	0.0554	0.0885	
21.00	0.0900	0.0000	0.0560	0.0785	51.60	0.0900	0.0000	0.0554	0.0894	
21.60	0.0900	0.0000	0.0562	0.0797	52.20	0.0900	0.0000	0.0556	0.0893	
22.20	0.0900	0.0000	0.0564	0.0810	52.80	0.0900	0.0000	0.0556	0.0903	
22.80	0.0900	0.0000	0.0564	0.0821	53.40	0.0900	0.0000	0.0555	0.0908	
23.40	0.0900	0.0000	0.0568	0.0828	54.00	0.0900	0.0000	0.0566	0.0899	
24.00	0.0900	0.0000	0.0568	0.0823	54.60	0.0900	0.0000	0.0565	0.0880	
24.60	0.0900	0.0000	0.0564	0.0854	55.20	0.0900	0.0000	0.0561	0.0891	
25.20	0.0900	0.0000	0.0561	0.0876	55.80	0.0900	0.0000	0.0563	0.0879	
25.80	0.0900	0.0000	0.0563	0.0864	56.40	0.0900	0.0000	0.0564	0.0869	
26.40	0.0900	0.0000	0.0564	0.0882	57.00	0.0900	0.0000	0.0562	0.0879	
27.00	0.0900	0.0000	0.0562	0.0879	57.60	0.0900	0.0000	0.0563	0.0881	
27.60	0.0900	0.0000	0.0564	0.0876	58.20	0.0900	0.0000	0.0565	0.0864	
28.20	0.0900	0.0000	0.0566	0.0871	58.80	0.0900	0.0000	0.0563	0.0886	
28.80	0.0900	0.0000	0.0565	0.0894	59.40	0.0900	0.0000	0.0564	0.0918	
29.40	0.0900	0.0000	0.0562	0.0892	60.00	0.0900	0.0000	0.0565	0.0919	
30.00	0.0900	0.0000	0.0563	0.0888						

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla B 5: Registro histórico de caudales en las secciones de interés - Prueba KE-3/ $Q_i=0.130$ [m³/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO										
MODELO DE TURBULENCIA: k-ε RNG					PRUEBA KE-3:CAUDAL DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.130[m ³ /s]					
Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]		Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]
0.00	0.130	0.0000	0.0000	0.0000		25.5	0.130	0.0741	0.0549	0.1281
1.00	0.130	0.0000	0.0000	0.0000		26.50	0.130	0.0745	0.0548	0.1282
2.00	0.130	0.0000	0.0723	0.0000		27.50	0.130	0.0748	0.0548	0.1279
3.00	0.130	0.0041	0.0596	0.0376		28.50	0.130	0.0749	0.0547	0.1293
4.00	0.130	0.0045	0.0563	0.0415		29.50	0.130	0.0752	0.0546	0.1295
5.00	0.130	0.0049	0.0509	0.0460		30.50	0.130	0.0754	0.0546	0.1295
6.00	0.130	0.0102	0.0480	0.0514		31.50	0.130	0.0755	0.0546	0.1298
7.00	0.130	0.0129	0.0467	0.0527		32.50	0.130	0.0757	0.0545	0.1300
8.00	0.130	0.0151	0.0454	0.0552		33.50	0.130	0.0758	0.0545	0.1301
9.00	0.130	0.0161	0.0444	0.0595		34.50	0.130	0.0758	0.0545	0.1297
10.0	0.130	0.0338	0.0460	0.0601		35.5	0.130	0.0757	0.0545	0.1300
11.0	0.130	0.0497	0.0482	0.0732		36.5	0.130	0.0755	0.0547	0.1300
12.0	0.130	0.0556	0.0494	0.0911		37.5	0.130	0.0754	0.0545	0.1281
13.0	0.130	0.0561	0.0510	0.1012		38.5	0.130	0.0753	0.0546	0.1291
14.0	0.130	0.0586	0.0522	0.1016		39.5	0.130	0.0753	0.0547	0.1299
15.0	0.130	0.0634	0.0532	0.1060		40.5	0.130	0.0753	0.0546	0.1300
16.0	0.130	0.0659	0.0540	0.1133		41.5	0.130	0.0754	0.0545	0.1294
17.0	0.130	0.0679	0.0540	0.1178		42.5	0.130	0.0754	0.0547	0.1299
18.0	0.130	0.0690	0.0543	0.1190		43.5	0.130	0.0754	0.0547	0.1300
19.0	0.130	0.0701	0.0544	0.1206		44.5	0.130	0.0754	0.0547	0.1294
20.0	0.130	0.0713	0.0546	0.1229		45.5	0.130	0.0754	0.0547	0.1295
21.0	0.130	0.0721	0.0548	0.1245		46.5	0.130	0.0754	0.0546	0.1296
22.0	0.130	0.0725	0.0550	0.1271		47.5	0.130	0.0755	0.0546	0.1296
23.0	0.130	0.0730	0.0550	0.1268		48.5	0.130	0.0754	0.0545	0.1297
24.0	0.130	0.0735	0.0551	0.1271		49.5	0.130	0.0754	0.0546	0.1296
25.0	0.130	0.0739	0.0550	0.1275		50.0	0.130	0.0755	0.0546	0.1296

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla B 6: Registro histórico de caudales en las secciones de interés - Prueba KW-3/Qi=0.130 [m3/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO									
MODELO DE TURBULENCIA: k- ω					PRUEBA KW-3:CAUDAL DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.130[m3/s]				
Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qs [m3/s]	Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qs [m3/s]
0.00	0.1300	0.0000	0.0000	0.0000	26.00	0.1300	0.0773	0.0516	0.1289
0.50	0.1300	0.0000	0.0000	0.0000	26.50	0.1300	0.0771	0.0517	0.1290
1.00	0.1300	0.0000	0.0000	0.0000	27.00	0.1300	0.0765	0.0517	0.1295
2.00	0.1300	0.0000	0.0739	0.0000	28.00	0.1300	0.0767	0.0518	0.1280
2.50	0.1300	0.0020	0.0638	0.0000	28.50	0.1300	0.0768	0.0517	0.1285
3.00	0.1300	0.0038	0.0626	0.0390	29.00	0.1300	0.0768	0.0517	0.1288
3.50	0.1300	0.0096	0.0547	0.0471	29.50	0.1300	0.0771	0.0516	0.1287
4.00	0.1300	0.0108	0.0574	0.0425	30.00	0.1300	0.0776	0.0514	0.1286
4.50	0.1300	0.0187	0.0520	0.0452	30.50	0.1300	0.0775	0.0513	0.1295
5.00	0.1300	0.0147	0.0539	0.0512	31.00	0.1300	0.0771	0.0515	0.1292
5.50	0.1300	0.0129	0.0539	0.0446	31.50	0.1300	0.0766	0.0521	0.1293
6.00	0.1300	0.0124	0.0530	0.0564	32.00	0.1300	0.0765	0.0521	0.1292
6.50	0.1300	0.0119	0.0525	0.0610	32.50	0.1300	0.0760	0.0522	0.1291
7.00	0.1300	0.0181	0.0508	0.0598	33.00	0.1300	0.0763	0.0522	0.1289
7.50	0.1300	0.0187	0.0498	0.0623	33.50	0.1300	0.0765	0.0525	0.1278
8.00	0.1300	0.0206	0.0508	0.0626	34.00	0.1300	0.0768	0.0522	0.1281
8.50	0.1300	0.0181	0.0516	0.0627	34.50	0.1300	0.0768	0.0520	0.1298
9.00	0.1300	0.0199	0.0508	0.0678	35.00	0.1300	0.0768	0.0519	0.1291
10.00	0.1300	0.0168	0.0554	0.0676	36.00	0.1300	0.0763	0.0520	0.1286
10.50	0.1300	0.0229	0.0578	0.0691	36.50	0.1300	0.0764	0.0520	0.1279
11.00	0.1300	0.0277	0.0589	0.0714	37.00	0.1300	0.0766	0.0519	0.1288
11.50	0.1300	0.0367	0.0578	0.0758	37.50	0.1300	0.0770	0.0516	0.1287
12.00	0.1300	0.0466	0.0566	0.0807	38.00	0.1300	0.0776	0.0511	0.1287
12.50	0.1300	0.0479	0.0582	0.0877	38.50	0.1300	0.0778	0.0514	0.1291
13.00	0.1300	0.0484	0.0583	0.0962	39.00	0.1300	0.0759	0.0521	0.1296
13.50	0.1300	0.0515	0.0566	0.1015	39.50	0.1300	0.0763	0.0527	0.1298
14.00	0.1300	0.0526	0.0558	0.1034	40.00	0.1300	0.0762	0.0528	0.1281
14.50	0.1300	0.0545	0.0558	0.1042	40.50	0.1300	0.0764	0.0527	0.1295
15.00	0.1300	0.0587	0.0554	0.1056	41.00	0.1300	0.0767	0.0525	0.1290
15.50	0.1300	0.0636	0.0560	0.1087	41.50	0.1300	0.0771	0.0522	0.1294
16.00	0.1300	0.0639	0.0553	0.1123	42.00	0.1300	0.0768	0.0521	0.1295
16.50	0.1300	0.0654	0.0540	0.1169	42.50	0.1300	0.0764	0.0517	0.1300
17.00	0.1300	0.0675	0.0530	0.1178	43.00	0.1300	0.0760	0.0516	0.1291
17.50	0.1300	0.0697	0.0528	0.1188	43.50	0.1300	0.0756	0.0520	0.1283
18.00	0.1300	0.0711	0.0529	0.1186	44.00	0.1300	0.0754	0.0524	0.1276
18.50	0.1300	0.0719	0.0527	0.1207	44.50	0.1300	0.0756	0.0521	0.1278
19.00	0.1300	0.0727	0.0523	0.1239	45.00	0.1300	0.0762	0.0517	0.1279
19.50	0.1300	0.0734	0.0524	0.1241	45.50	0.1300	0.0774	0.0513	0.1279
20.00	0.1300	0.0723	0.0528	0.1245	46.00	0.1300	0.0777	0.0514	0.1283
20.50	0.1300	0.0738	0.0534	0.1254	46.50	0.1300	0.0772	0.0526	0.1291
21.00	0.1300	0.0746	0.0532	0.1254	47.00	0.1300	0.0778	0.0525	0.1297
21.50	0.1300	0.0750	0.0528	0.1274	47.50	0.1300	0.0775	0.0528	0.1312
22.00	0.1300	0.0765	0.0522	0.1274	48.00	0.1300	0.0776	0.0533	0.1308
22.50	0.1300	0.0763	0.0516	0.1272	48.50	0.1300	0.0782	0.0531	0.1307
23.00	0.1300	0.0775	0.0517	0.1277	49.00	0.1300	0.0792	0.0520	0.1300
23.50	0.1300	0.0771	0.0516	0.1283	49.50	0.1300	0.0793	0.0516	0.1295
24.00	0.1300	0.0778	0.0519	0.1286	50.00	0.1300	0.0788	0.0514	0.1306
25.00	0.1300	0.0770	0.0518	0.1292	Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.				

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla B 7: Registro histórico de caudales en las secciones de interés - Prueba KE-4/ $Q_i=0.150$ [m³/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO									
MODELO DE TURBULENCIA: k-ε RNG					PRUEBA KE-4: CAUDAL DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.150[m ³ /s]				
Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]	Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]
0.00	0.1500	0.0000	0.0000	0.0000	26.00	0.1500	0.0952	0.0547	0.1503
0.50	0.1500	0.0000	0.0000	0.0000	26.50	0.1500	0.0955	0.0546	0.1501
1.00	0.1500	0.0000	0.0000	0.0000	27.00	0.1500	0.0956	0.0545	0.1497
1.50	0.1500	0.0000	0.0335	0.0000	27.50	0.1500	0.0957	0.0545	0.1499
2.00	0.1500	0.0000	0.0731	0.0000	28.00	0.1500	0.0958	0.0544	0.1500
2.50	0.1500	0.0126	0.0643	0.0000	28.50	0.1500	0.0958	0.0544	0.1498
3.00	0.1500	0.0111	0.0631	0.0382	29.00	0.1500	0.0959	0.0544	0.1500
4.00	0.1500	0.0187	0.0558	0.0550	30.00	0.1500	0.0961	0.0542	0.1501
4.50	0.1500	0.0148	0.0551	0.0494	30.50	0.1500	0.0961	0.0541	0.1502
5.00	0.1500	0.0142	0.0532	0.0584	31.00	0.1500	0.0961	0.0541	0.1499
5.50	0.1500	0.0174	0.0510	0.0627	31.50	0.1500	0.0960	0.0541	0.1500
6.00	0.1500	0.0211	0.0492	0.0630	32.00	0.1500	0.0960	0.0541	0.1501
6.50	0.1500	0.0227	0.0491	0.0645	32.50	0.1500	0.0959	0.0541	0.1500
7.00	0.1500	0.0238	0.0487	0.0676	33.00	0.1500	0.0958	0.0541	0.1498
7.50	0.1500	0.0256	0.0485	0.0699	33.50	0.1500	0.0958	0.0542	0.1497
8.00	0.1500	0.0271	0.0483	0.0708	34.00	0.1500	0.0957	0.0542	0.1497
8.50	0.1500	0.0278	0.0479	0.0719	34.50	0.1500	0.0956	0.0542	0.1496
9.00	0.1500	0.0295	0.0480	0.0730	35.00	0.1500	0.0956	0.0542	0.1497
9.50	0.1500	0.0428	0.0498	0.0740	35.50	0.1500	0.0956	0.0543	0.1496
10.00	0.1500	0.0558	0.0498	0.0763	36.00	0.1500	0.0956	0.0543	0.1497
10.50	0.1500	0.0647	0.0507	0.0871	36.50	0.1500	0.0956	0.0543	0.1496
11.00	0.1500	0.0704	0.0511	0.0981	37.00	0.1500	0.0956	0.0543	0.1497
11.50	0.1500	0.0729	0.0517	0.1114	37.50	0.1500	0.0956	0.0543	0.1497
12.00	0.1500	0.0747	0.0523	0.1165	38.00	0.1500	0.0956	0.0543	0.1497
12.50	0.1500	0.0751	0.0528	0.1199	38.50	0.1500	0.0956	0.0543	0.1497
13.00	0.1500	0.0760	0.0534	0.1233	39.00	0.1500	0.0956	0.0543	0.1498
13.50	0.1500	0.0776	0.0539	0.1242	39.50	0.1500	0.0956	0.0543	0.1498
14.00	0.1500	0.0796	0.0543	0.1262	40.00	0.1500	0.0956	0.0543	0.1498
15.00	0.1500	0.0854	0.0551	0.1314	41.00	0.1500	0.0956	0.0543	0.1500
15.50	0.1500	0.0852	0.0551	0.1349	41.50	0.1500	0.0956	0.0543	0.1499
16.00	0.1500	0.0863	0.0554	0.1378	42.00	0.1500	0.0956	0.0542	0.1497
16.50	0.1500	0.0867	0.0555	0.1388	42.50	0.1500	0.0956	0.0542	0.1497
17.00	0.1500	0.0876	0.0556	0.1395	43.00	0.1500	0.0956	0.0542	0.1497
17.50	0.1500	0.0879	0.0556	0.1403	43.50	0.1500	0.0956	0.0542	0.1498
18.00	0.1500	0.0888	0.0556	0.1415	44.00	0.1500	0.0956	0.0543	0.1495
18.50	0.1500	0.0895	0.0557	0.1419	44.50	0.1500	0.0956	0.0543	0.1499
19.00	0.1500	0.0901	0.0557	0.1432	45.00	0.1500	0.0956	0.0543	0.1499
19.50	0.1500	0.0905	0.0557	0.1441	45.50	0.1500	0.0956	0.0543	0.1499
20.00	0.1500	0.0910	0.0557	0.1448	46.00	0.1500	0.0956	0.0543	0.1498
20.50	0.1500	0.0913	0.0556	0.1454	46.50	0.1500	0.0956	0.0543	0.1499
21.00	0.1500	0.0917	0.0556	0.1460	47.00	0.1500	0.0956	0.0543	0.1499
21.50	0.1500	0.0922	0.0556	0.1463	47.50	0.1500	0.0956	0.0543	0.1498
22.00	0.1500	0.0925	0.0555	0.1468	48.00	0.1500	0.0956	0.0543	0.1498
22.50	0.1500	0.0929	0.0554	0.1473	48.50	0.1500	0.0956	0.0543	0.1499
23.00	0.1500	0.0933	0.0553	0.1475	49.00	0.1500	0.0956	0.0543	0.1498
23.50	0.1500	0.0937	0.0551	0.1476	49.50	0.1500	0.0956	0.0543	0.1499
24.00	0.1500	0.0944	0.0551	0.1485	50.00	0.1500	0.0956	0.0543	0.1499
25.00	0.1500	0.0950	0.0549	0.1498					

Qi= Caudal de ingreso al D

Qa=Descarga superior

Qb=Descarga inferior

Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla B 8: Registro histórico de caudales en las secciones de interés - Prueba KW-4/Qi=0.15 [m3/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO										
MODELO DE TURBULENCIA: k- ω					PRUEBA KW-4: CAUDAL DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL= 0.150[m3/s]					
Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qs [m3/s]	Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qs [m3/s]	
0.00	0.1500	0.0000	0.0000	0.0000	26.00	0.1500	0.0987	0.0523	0.1496	
0.50	0.1500	0.0000	0.0000	0.0000	26.50	0.1500	0.0989	0.0520	0.1506	
1.00	0.1500	0.0000	0.0000	0.0000	27.00	0.1500	0.0991	0.0521	0.1538	
1.50	0.1500	0.0000	0.0349	0.0000	27.50	0.1500	0.0988	0.0518	0.1507	
2.00	0.1500	0.0000	0.0761	0.0000	28.00	0.1500	0.0991	0.0514	0.1511	
2.50	0.1500	0.0132	0.0654	0.0000	28.50	0.1500	0.0991	0.0516	0.1503	
3.00	0.1500	0.0117	0.0625	0.0410	29.00	0.1500	0.0993	0.0515	0.1522	
3.50	0.1500	0.0191	0.0581	0.0617	29.50	0.1500	0.0993	0.0517	0.1520	
4.00	0.1500	0.0269	0.0570	0.0628	30.00	0.1500	0.0991	0.0513	0.1514	
5.00	0.1500	0.0269	0.0539	0.0614	31.00	0.1500	0.0988	0.0517	0.1517	
5.50	0.1500	0.0245	0.0558	0.0685	31.50	0.1500	0.0990	0.0518	0.1523	
6.00	0.1500	0.0276	0.0554	0.0748	32.00	0.1500	0.0992	0.0515	0.1506	
6.50	0.1500	0.0270	0.0564	0.0795	32.50	0.1500	0.0994	0.0517	0.1518	
7.00	0.1500	0.0248	0.0558	0.0782	33.00	0.1500	0.0995	0.0516	0.1504	
7.50	0.1500	0.0277	0.0554	0.0813	33.50	0.1500	0.1000	0.0514	0.1503	
8.00	0.1500	0.0273	0.0557	0.0803	34.00	0.1500	0.1001	0.0513	0.1481	
8.50	0.1500	0.0278	0.0563	0.0798	34.50	0.1500	0.1001	0.0510	0.1482	
9.00	0.1500	0.0321	0.0558	0.0814	35.00	0.1500	0.1003	0.0508	0.1492	
9.50	0.1500	0.0347	0.0573	0.0842	35.50	0.1500	0.0998	0.0510	0.1515	
10.00	0.1500	0.0410	0.0575	0.0855	36.00	0.1500	0.0994	0.0513	0.1513	
10.50	0.1500	0.0497	0.0587	0.0901	36.50	0.1500	0.0986	0.0516	0.1508	
11.00	0.1500	0.0525	0.0573	0.0961	37.00	0.1500	0.0986	0.0514	0.1480	
11.50	0.1500	0.0573	0.0565	0.1058	37.50	0.1500	0.0983	0.0514	0.1487	
12.00	0.1500	0.0628	0.0565	0.1076	38.00	0.1500	0.0980	0.0512	0.1488	
12.50	0.1500	0.0687	0.0558	0.1146	38.50	0.1500	0.0981	0.0512	0.1461	
13.00	0.1500	0.0743	0.0553	0.1171	39.00	0.1500	0.0984	0.0510	0.1468	
13.50	0.1500	0.0800	0.0547	0.1236	39.50	0.1500	0.0987	0.0509	0.1499	
14.00	0.1500	0.0841	0.0544	0.1313	40.00	0.1500	0.0988	0.0508	0.1495	
15.00	0.1500	0.0841	0.0545	0.1424	41.00	0.1500	0.0992	0.0511	0.1472	
15.50	0.1500	0.0887	0.0542	0.1427	41.50	0.1500	0.0987	0.0518	0.1497	
16.00	0.1500	0.0910	0.0530	0.1422	42.00	0.1500	0.0980	0.0518	0.1523	
16.50	0.1500	0.0927	0.0530	0.1456	42.50	0.1500	0.0981	0.0520	0.1492	
17.00	0.1500	0.0918	0.0528	0.1468	43.00	0.1500	0.0981	0.0527	0.1464	
17.50	0.1500	0.0931	0.0528	0.1490	43.50	0.1500	0.0985	0.0522	0.1452	
18.00	0.1500	0.0935	0.0524	0.1457	44.00	0.1500	0.0984	0.0524	0.1500	
18.50	0.1500	0.0943	0.0520	0.1502	44.50	0.1500	0.0984	0.0525	0.1500	
19.00	0.1500	0.0956	0.0517	0.1497	45.00	0.1500	0.0989	0.0523	0.1506	
19.50	0.1500	0.0970	0.0518	0.1486	45.50	0.1500	0.0991	0.0521	0.1459	
20.00	0.1500	0.0982	0.0516	0.1473	46.00	0.1500	0.0993	0.0521	0.1473	
20.50	0.1500	0.0975	0.0513	0.1484	46.50	0.1500	0.0992	0.0524	0.1523	
21.00	0.1500	0.0977	0.0512	0.1497	47.00	0.1500	0.0985	0.0529	0.1549	
21.50	0.1500	0.0982	0.0509	0.1489	47.50	0.1500	0.0981	0.0529	0.1567	
22.00	0.1500	0.0989	0.0511	0.1501	48.00	0.1500	0.0979	0.0529	0.1570	
22.50	0.1500	0.0995	0.0508	0.1469	48.50	0.1500	0.0984	0.0527	0.1547	
23.00	0.1500	0.0997	0.0507	0.1502	49.00	0.1500	0.0988	0.0527	0.1572	
23.50	0.1500	0.0993	0.0507	0.1507	49.50	0.1500	0.1000	0.0516	0.1563	
24.00	0.1500	0.0999	0.0510	0.1503	50.00	0.1500	0.0992	0.0515	0.1563	
25.00	0.1500	0.0995	0.0514	0.1497						

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

ANEXO C: REGISTROS HISTÓRICOS DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL.

Tabla C 1: Registro histórico de caudales de salida en las secciones de interés EN-1/ $Q_i=0.05[m^3/s]$.

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO												
ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL						PRUEBA EN-1: (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL = 0.05 [m3/s])						
Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]	Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]	
0.00	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	30.60	0.050	0.000	0.040	0.040	0.039	
0.60	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	31.20	0.050	0.000	0.041	0.041	0.039	
1.20	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	31.80	0.050	0.001	0.041	0.042	0.039	
1.80	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	32.40	0.050	0.000	0.041	0.041	0.041	
2.40	0.050	0.000	0.033	0.033	0.000	33.00	0.050	0.001	0.041	0.042	0.041	
3.00	0.050	0.000	0.047	0.047	0.000	33.60	0.050	0.002	0.041	0.043	0.041	
4.80	0.050	0.000	0.041	0.041	0.026	35.40	0.050	0.003	0.041	0.045	0.047	
5.40	0.050	0.000	0.039	0.039	0.028	36.00	0.050	0.006	0.042	0.048	0.045	
6.00	0.050	0.000	0.036	0.036	0.032	36.60	0.050	0.005	0.041	0.046	0.045	
6.60	0.050	0.000	0.033	0.033	0.035	37.20	0.050	0.006	0.041	0.046	0.049	
7.80	0.050	0.000	0.031	0.031	0.032	38.40	0.050	0.007	0.041	0.047	0.046	
8.40	0.050	0.000	0.031	0.031	0.032	39.00	0.050	0.008	0.040	0.048	0.046	
9.00	0.050	0.000	0.031	0.031	0.031	39.60	0.050	0.009	0.040	0.048	0.047	
9.60	0.050	0.000	0.030	0.030	0.030	40.20	0.050	0.009	0.039	0.049	0.048	
10.20	0.050	0.000	0.031	0.031	0.030	40.80	0.050	0.011	0.039	0.050	0.047	
10.80	0.050	0.000	0.034	0.034	0.029	41.40	0.050	0.009	0.039	0.048	0.048	
11.40	0.050	0.000	0.033	0.033	0.030	42.00	0.050	0.010	0.039	0.048	0.048	
12.00	0.050	0.000	0.030	0.030	0.034	42.60	0.050	0.010	0.039	0.049	0.048	
13.20	0.050	0.000	0.027	0.027	0.029	43.80	0.050	0.009	0.039	0.049	0.049	
13.80	0.050	0.000	0.027	0.027	0.028	44.40	0.050	0.008	0.039	0.047	0.049	
14.40	0.050	0.000	0.028	0.028	0.028	45.00	0.050	0.009	0.039	0.048	0.049	
15.00	0.050	0.000	0.028	0.028	0.028	45.60	0.050	0.008	0.040	0.048	0.048	
16.20	0.050	0.000	0.029	0.029	0.028	46.80	0.050	0.008	0.040	0.048	0.048	
16.80	0.050	0.000	0.030	0.030	0.026	47.40	0.050	0.009	0.040	0.049	0.048	
17.40	0.050	0.000	0.032	0.032	0.028	48.00	0.050	0.009	0.040	0.049	0.049	
18.00	0.050	0.000	0.033	0.033	0.028	48.60	0.050	0.011	0.041	0.051	0.049	
18.60	0.050	0.000	0.034	0.034	0.030	49.20	0.050	0.008	0.040	0.048	0.049	
19.20	0.050	0.000	0.034	0.034	0.031	49.80	0.050	0.009	0.041	0.050	0.050	
19.80	0.050	0.000	0.034	0.034	0.031	50.40	0.050	0.010	0.041	0.051	0.049	
20.40	0.050	0.000	0.034	0.034	0.032	51.00	0.050	0.009	0.041	0.050	0.050	
21.00	0.050	0.000	0.034	0.034	0.031	51.60	0.050	0.008	0.041	0.049	0.050	
21.60	0.050	0.000	0.034	0.034	0.032	52.20	0.050	0.010	0.041	0.051	0.050	
22.20	0.050	0.000	0.034	0.034	0.032	52.80	0.050	0.011	0.040	0.051	0.050	
22.80	0.050	0.000	0.034	0.034	0.032	53.40	0.050	0.014	0.039	0.053	0.050	
23.40	0.050	0.000	0.034	0.034	0.032	54.00	0.050	0.013	0.038	0.051	0.050	
24.00	0.050	0.000	0.035	0.035	0.033	54.60	0.050	0.013	0.038	0.052	0.050	
24.60	0.050	0.000	0.035	0.035	0.034	55.20	0.050	0.015	0.038	0.053	0.050	
25.20	0.050	0.000	0.036	0.036	0.035	55.80	0.050	0.013	0.038	0.051	0.050	
25.80	0.050	0.000	0.036	0.036	0.035	56.40	0.050	0.015	0.038	0.053	0.050	
26.40	0.050	0.000	0.037	0.037	0.035	57.00	0.050	0.014	0.037	0.051	0.050	
27.00	0.050	0.000	0.037	0.037	0.035	57.60	0.050	0.015	0.036	0.051	0.050	
27.60	0.050	0.000	0.038	0.038	0.036	58.20	0.050	0.014	0.036	0.051	0.050	
28.20	0.050	0.000	0.038	0.038	0.036	58.80	0.050	0.014	0.036	0.050	0.050	
28.80	0.050	0.000	0.039	0.039	0.037	59.40	0.050	0.015	0.036	0.051	0.050	
29.40	0.050	0.000	0.040	0.040	0.038	60.00	0.050	0.016	0.035	0.051	0.050	
30.00	0.050	0.000	0.040	0.040	0.038	PROM	0.050	0.011	0.039	0.050	0.049	

RÉGIMEN PERMANENTE

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla C 2: Registro histórico de caudales de salida en las secciones de interés EN-2/ $Q_i=0.07$ [m³/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO												
ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL						PRUEBA EN-2: (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL = 0.07 [m ³ /s])						
Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qa+Qb [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]		Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qa+Qb [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]
0.50	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000		26.00	0.070	0.021	0.045	0.066	0.061
1.00	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000		26.50	0.070	0.022	0.044	0.066	0.061
1.50	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000		27.00	0.070	0.023	0.044	0.067	0.060
2.00	0.070	0.000	0.033	0.033	0.000		27.50	0.070	0.023	0.044	0.067	0.061
2.50	0.070	0.000	0.054	0.054	0.000		28.00	0.070	0.024	0.045	0.068	0.061
3.00	0.070	0.000	0.057	0.057	0.000		28.50	0.070	0.022	0.045	0.067	0.062
4.00	0.070	0.000	0.048	0.048	0.028		29.50	0.070	0.022	0.046	0.068	0.063
4.50	0.070	0.000	0.044	0.044	0.033		30.00	0.070	0.022	0.046	0.068	0.064
5.00	0.070	0.000	0.042	0.042	0.031		30.50	0.070	0.022	0.046	0.068	0.064
5.50	0.070	0.000	0.040	0.040	0.034		31.00	0.070	0.022	0.046	0.067	0.065
6.00	0.070	0.000	0.038	0.038	0.037		31.50	0.070	0.022	0.046	0.068	0.065
6.50	0.070	0.000	0.037	0.037	0.038		32.00	0.070	0.022	0.046	0.068	0.064
7.00	0.070	0.000	0.036	0.036	0.037		32.50	0.070	0.022	0.046	0.068	0.064
7.50	0.070	0.000	0.036	0.036	0.036		33.00	0.070	0.022	0.046	0.068	0.064
8.00	0.070	0.000	0.036	0.036	0.036		33.50	0.070	0.023	0.046	0.069	0.064
8.50	0.070	0.000	0.036	0.036	0.036		34.00	0.070	0.022	0.046	0.068	0.065
9.50	0.070	0.000	0.036	0.036	0.035		35.00	0.070	0.023	0.046	0.070	0.067
10.00	0.070	0.000	0.036	0.036	0.035		35.50	0.070	0.023	0.046	0.069	0.067
10.50	0.070	0.000	0.036	0.036	0.035		36.00	0.070	0.022	0.046	0.068	0.068
11.00	0.070	0.000	0.036	0.036	0.035		36.50	0.070	0.024	0.047	0.070	0.067
11.50	0.070	0.000	0.036	0.036	0.034		37.00	0.070	0.023	0.047	0.070	0.066
12.00	0.070	0.000	0.036	0.036	0.034		37.50	0.070	0.024	0.047	0.071	0.067
12.50	0.070	0.000	0.037	0.037	0.035		38.00	0.070	0.023	0.047	0.070	0.068
13.00	0.070	0.000	0.037	0.037	0.035		38.50	0.070	0.023	0.047	0.070	0.068
13.50	0.070	0.000	0.038	0.038	0.035		39.00	0.070	0.023	0.047	0.070	0.068
14.00	0.070	0.000	0.039	0.039	0.036		39.50	0.070	0.023	0.047	0.070	0.068
14.50	0.070	0.000	0.040	0.040	0.036		40.00	0.070	0.024	0.047	0.071	0.068
15.00	0.070	0.000	0.041	0.041	0.037		40.50	0.070	0.023	0.047	0.070	0.069
15.50	0.070	0.002	0.042	0.044	0.038		41.00	0.070	0.023	0.047	0.069	0.069
16.00	0.070	0.003	0.042	0.045	0.039		41.50	0.070	0.024	0.047	0.071	0.069
16.50	0.070	0.003	0.042	0.046	0.040		42.00	0.070	0.023	0.047	0.070	0.069
17.00	0.070	0.004	0.042	0.046	0.043		42.50	0.070	0.022	0.047	0.069	0.069
17.50	0.070	0.005	0.042	0.048	0.045		43.00	0.070	0.023	0.047	0.070	0.069
18.00	0.070	0.008	0.042	0.050	0.045		43.50	0.070	0.023	0.047	0.070	0.069
18.50	0.070	0.008	0.042	0.050	0.046		44.00	0.070	0.023	0.047	0.070	0.070
19.00	0.070	0.008	0.042	0.050	0.047		44.50	0.070	0.023	0.048	0.071	0.068
19.50	0.070	0.009	0.043	0.051	0.048		45.00	0.070	0.023	0.047	0.070	0.069
20.00	0.070	0.012	0.044	0.056	0.048		45.50	0.070	0.023	0.047	0.070	0.069
20.50	0.070	0.014	0.045	0.059	0.049		46.00	0.070	0.022	0.047	0.069	0.070
21.00	0.070	0.015	0.046	0.060	0.050		46.50	0.070	0.024	0.047	0.071	0.070
21.50	0.070	0.014	0.046	0.060	0.053		47.00	0.070	0.023	0.047	0.070	0.069
22.00	0.070	0.015	0.046	0.062	0.056		47.50	0.070	0.024	0.047	0.072	0.070
22.50	0.070	0.016	0.047	0.063	0.056		48.00	0.070	0.026	0.047	0.073	0.070
23.00	0.070	0.015	0.047	0.061	0.057		48.50	0.070	0.024	0.046	0.070	0.069
23.50	0.070	0.015	0.047	0.062	0.058		49.00	0.070	0.024	0.047	0.071	0.071
24.00	0.070	0.018	0.047	0.065	0.058		49.50	0.070	0.024	0.047	0.071	0.071
24.50	0.070	0.018	0.046	0.064	0.058		50.00	0.070	0.025	0.047	0.072	0.070
25.00	0.070	0.020	0.045	0.065	0.060		PROM	0.070	0.023	0.047	0.070	0.069

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla C 3: Registro histórico de caudales de salida en las secciones de interés EN-3/ $Q_i=0.09$ [m³/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO												
ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL						PRUEBA EN-3: (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL = 0.09 [m ³ /s])						
Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qa+Qb [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]		Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qa+Qb [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]
0.00	0.090	0.000	0.000	0.000	0.000		25.80	0.090	0.037	0.052	0.089	0.086
0.60	0.090	0.000	0.000	0.000	0.000		26.40	0.090	0.036	0.052	0.088	0.086
1.20	0.090	0.000	0.000	0.000	0.000		27.00	0.090	0.037	0.052	0.089	0.087
1.80	0.090	0.000	0.034	0.034	0.000		27.60	0.090	0.037	0.052	0.090	0.087
2.40	0.090	0.000	0.066	0.066	0.003		28.20	0.090	0.038	0.053	0.090	0.087
3.00	0.090	0.000	0.059	0.059	3.316		28.80	0.090	0.037	0.052	0.089	0.088
3.60	0.090	0.000	0.056	0.056	35.832		29.40	0.090	0.038	0.053	0.091	0.088
4.20	0.090	0.000	0.052	0.052	41.334		30.00	0.090	0.041	0.053	0.094	0.088
4.80	0.090	0.000	0.048	0.048	38.127		30.60	0.090	0.040	0.052	0.092	0.089
5.40	0.090	0.000	0.044	0.044	36.178		31.20	0.090	0.041	0.052	0.093	0.092
6.00	0.090	0.000	0.043	0.043	40.387		31.80	0.090	0.041	0.051	0.092	0.091
6.60	0.090	0.000	0.042	0.042	42.060		32.40	0.090	0.043	0.050	0.093	0.091
7.20	0.090	0.000	0.042	0.042	41.648		33.00	0.090	0.042	0.050	0.093	0.092
7.80	0.090	0.000	0.042	0.042	40.986		33.60	0.090	0.042	0.050	0.092	0.093
8.40	0.090	0.000	0.042	0.042	40.600		34.20	0.090	0.042	0.051	0.093	0.092
9.00	0.090	0.000	0.042	0.042	40.206		34.80	0.090	0.041	0.051	0.092	0.092
9.60	0.090	0.000	0.041	0.042	39.661		35.40	0.090	0.040	0.052	0.091	0.092
10.20	0.090	0.000	0.041	0.042	39.316		36.00	0.090	0.039	0.052	0.091	0.091
10.80	0.090	0.000	0.041	0.041	39.877		36.60	0.090	0.038	0.052	0.090	0.089
11.40	0.090	0.000	0.042	0.042	39.873		37.20	0.090	0.036	0.051	0.087	0.089
12.00	0.090	0.003	0.043	0.046	39.522		37.80	0.090	0.034	0.051	0.085	0.088
12.60	0.090	0.010	0.045	0.055	39.942		38.40	0.090	0.037	0.051	0.088	0.085
13.20	0.090	0.016	0.046	0.062	43.339		39.00	0.090	0.036	0.051	0.087	0.086
13.80	0.090	0.019	0.046	0.065	52.147		39.60	0.090	0.037	0.052	0.088	0.086
14.40	0.090	0.020	0.046	0.066	55.839		40.20	0.090	0.037	0.052	0.089	0.087
15.00	0.090	0.021	0.046	0.068	62.848		40.80	0.090	0.036	0.052	0.088	0.087
15.60	0.090	0.021	0.046	0.067	64.229		41.40	0.090	0.037	0.052	0.089	0.087
16.20	0.090	0.023	0.046	0.069	64.565		42.00	0.090	0.036	0.052	0.088	0.086
16.80	0.090	0.025	0.047	0.071	63.980		42.60	0.090	0.036	0.052	0.088	0.086
17.40	0.090	0.028	0.048	0.076	65.795		43.20	0.090	0.037	0.052	0.089	0.086
18.00	0.090	0.028	0.049	0.077	68.981		43.80	0.090	0.037	0.052	0.089	0.087
18.60	0.090	0.029	0.050	0.079	73.389		44.40	0.090	0.036	0.052	0.089	0.086
19.20	0.090	0.030	0.050	0.080	74.439		45.00	0.090	0.037	0.052	0.090	0.087
19.80	0.090	0.030	0.050	0.080	75.511		45.60	0.090	0.037	0.052	0.089	0.087
20.40	0.090	0.032	0.050	0.082	76.710		46.20	0.090	0.037	0.052	0.089	0.087
21.00	0.090	0.033	0.050	0.084	77.835		46.80	0.090	0.037	0.053	0.090	0.087
21.60	0.090	0.034	0.050	0.084	79.473		47.40	0.090	0.037	0.052	0.090	0.087
22.20	0.090	0.035	0.051	0.086	81.524		48.00	0.090	0.038	0.053	0.090	0.088
22.80	0.090	0.036	0.051	0.087	82.725		48.60	0.090	0.038	0.053	0.091	0.086
23.40	0.090	0.034	0.051	0.085	84.800		49.20	0.090	0.039	0.053	0.092	0.087
24.00	0.090	0.036	0.052	0.087	85.212		49.80	0.090	0.036	0.053	0.089	0.087
24.60	0.090	0.035	0.052	0.087	84.427		50.40	0.090	0.038	0.053	0.091	0.087
25.20	0.090	0.035	0.052	0.087	85.516		51.00	0.090	0.037	0.053	0.090	0.085
							PROM	0.090	0.038	0.052	0.090	0.088

RÉGIMEN PERMANENTE

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla C 4: Registro histórico de caudales de salida en las secciones de interés EN-4/Qi=0.11 [m3/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO												
ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL						PRUEBA EN-4: (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL = 0.11 [m3/s])						
Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]	Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]	
0.50	0.110	0.000	0.000	0.000	0.000	26.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
1.00	0.110	0.000	0.040	0.040	0.000	26.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
1.50	0.110	0.001	0.064	0.064	0.000	27.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
2.50	0.110	0.001	0.056	0.057	0.034	28.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
3.00	0.110	0.003	0.057	0.061	0.041	28.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
3.50	0.110	0.000	0.051	0.051	0.043	29.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
4.00	0.110	0.000	0.049	0.049	0.041	29.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
4.50	0.110	0.003	0.048	0.051	0.041	30.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
5.00	0.110	0.003	0.047	0.051	0.036	30.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
5.50	0.110	0.009	0.048	0.057	0.047	31.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
6.00	0.110	0.017	0.050	0.067	0.049	31.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
6.50	0.110	0.023	0.052	0.075	0.052	32.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
7.00	0.110	0.030	0.052	0.081	0.056	32.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
7.50	0.110	0.033	0.054	0.087	0.069	33.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
8.00	0.110	0.038	0.054	0.092	0.074	33.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
8.50	0.110	0.041	0.055	0.096	0.079	34.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
9.00	0.110	0.044	0.055	0.099	0.084	34.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
9.50	0.110	0.046	0.055	0.101	0.087	35.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
10.00	0.110	0.048	0.055	0.103	0.092	35.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
10.50	0.110	0.049	0.055	0.104	0.094	36.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
11.00	0.110	0.050	0.055	0.105	0.097	36.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
11.50	0.110	0.050	0.055	0.106	0.100	37.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
12.00	0.110	0.051	0.055	0.106	0.102	37.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
12.50	0.110	0.052	0.055	0.107	0.103	38.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
13.50	0.110	0.052	0.055	0.108	0.105	39.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
14.00	0.110	0.053	0.055	0.108	0.106	39.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
14.50	0.110	0.053	0.055	0.108	0.106	40.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
15.00	0.110	0.053	0.055	0.108	0.106	40.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
15.50	0.110	0.053	0.055	0.108	0.107	41.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
16.00	0.110	0.054	0.055	0.109	0.107	41.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
16.50	0.110	0.054	0.055	0.109	0.107	42.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
17.00	0.110	0.054	0.055	0.109	0.108	42.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
17.50	0.110	0.054	0.055	0.109	0.108	43.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
18.00	0.110	0.054	0.055	0.109	0.108	43.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
18.50	0.110	0.054	0.055	0.109	0.108	44.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
19.00	0.110	0.054	0.055	0.109	0.108	44.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
19.50	0.110	0.055	0.055	0.109	0.109	45.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
20.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.109	45.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
20.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.109	46.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
21.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.109	46.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
21.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	47.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.109	
22.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	47.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
22.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.109	48.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
23.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.109	48.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
23.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.109	49.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
24.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	49.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
24.50	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	50.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	
25.00	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	PROM	0.110	0.055	0.055	0.110	0.110	

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla C 5: Registro histórico de caudales de salida en las secciones de interés EN-5/ $Q_i=0.13$ [m³/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO												
ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL						PRUEBA EN-5: (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL = 0.13 [m ³ /s])						
Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qa+Qb [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]	RÉGIMEN PERMANENTE	Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qa+Qb [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]
0.50	0.130	0.000	0.000	0.000	0.000		26.00	0.130	0.074	0.055	0.129	0.128
1.00	0.130	0.000	0.000	0.000	0.000		26.50	0.130	0.075	0.055	0.129	0.128
1.50	0.130	0.000	0.000	0.000	0.000		27.00	0.130	0.075	0.055	0.129	0.129
2.00	0.130	0.000	0.072	0.072	0.000		27.50	0.130	0.075	0.055	0.130	0.128
2.50	0.130	0.002	0.064	0.065	0.000		28.00	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130
3.00	0.130	0.009	0.055	0.064	0.041		29.00	0.130	0.075	0.055	0.130	0.129
3.50	0.130	0.005	0.056	0.061	0.042		29.50	0.130	0.075	0.055	0.130	0.129
4.00	0.130	0.007	0.053	0.060	0.046		30.00	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130
4.50	0.130	0.005	0.051	0.056	0.046		30.50	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130
5.00	0.130	0.008	0.049	0.057	0.048		31.00	0.130	0.076	0.055	0.130	0.130
5.50	0.130	0.010	0.048	0.058	0.051		31.50	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130
6.00	0.130	0.011	0.047	0.058	0.054		32.00	0.130	0.076	0.055	0.130	0.130
6.50	0.130	0.013	0.047	0.060	0.053		32.50	0.130	0.076	0.055	0.130	0.130
7.00	0.130	0.014	0.046	0.060	0.054		33.00	0.130	0.076	0.055	0.130	0.130
7.50	0.130	0.015	0.045	0.060	0.055		33.50	0.130	0.076	0.055	0.130	0.130
8.00	0.130	0.015	0.045	0.060	0.058		34.00	0.130	0.076	0.055	0.130	0.129
8.50	0.130	0.016	0.044	0.061	0.060		34.50	0.130	0.076	0.055	0.130	0.130
9.00	0.130	0.021	0.045	0.066	0.060		35.00	0.130	0.076	0.055	0.130	0.130
9.50	0.130	0.034	0.046	0.080	0.060		35.50	0.130	0.076	0.055	0.130	0.130
10.00	0.130	0.042	0.047	0.090	0.063		36.00	0.130	0.076	0.055	0.130	0.130
10.50	0.130	0.050	0.048	0.098	0.073		36.50	0.130	0.076	0.055	0.130	0.130
11.00	0.130	0.054	0.049	0.102	0.083		37.00	0.130	0.076	0.055	0.130	0.130
11.50	0.130	0.056	0.050	0.106	0.096		38.00	0.130	0.075	0.055	0.130	0.129
12.00	0.130	0.056	0.051	0.107	0.101		38.50	0.130	0.075	0.055	0.130	0.129
12.50	0.130	0.057	0.052	0.108	0.101		39.00	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130
13.00	0.130	0.059	0.052	0.111	0.102	39.50	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130	
13.50	0.130	0.061	0.053	0.114	0.103	40.00	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130	
14.00	0.130	0.063	0.053	0.117	0.106	40.50	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130	
14.50	0.130	0.064	0.054	0.118	0.109	41.00	0.130	0.075	0.055	0.130	0.129	
15.00	0.130	0.066	0.054	0.120	0.113	41.50	0.130	0.075	0.055	0.130	0.129	
15.50	0.130	0.068	0.054	0.122	0.115	42.00	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130	
16.00	0.130	0.068	0.054	0.122	0.118	42.50	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130	
16.50	0.130	0.068	0.054	0.123	0.119	43.00	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130	
17.00	0.130	0.069	0.054	0.123	0.119	43.50	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130	
17.50	0.130	0.070	0.054	0.124	0.120	44.00	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130	
18.00	0.130	0.070	0.054	0.125	0.121	44.50	0.130	0.075	0.055	0.130	0.129	
18.50	0.130	0.071	0.055	0.125	0.122	45.00	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130	
19.00	0.130	0.071	0.055	0.126	0.123	45.50	0.130	0.075	0.055	0.130	0.129	
19.50	0.130	0.072	0.055	0.126	0.124	46.00	0.130	0.076	0.055	0.130	0.130	
20.00	0.130	0.072	0.055	0.127	0.125	46.50	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130	
20.50	0.130	0.072	0.055	0.127	0.126	47.00	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130	
21.00	0.130	0.072	0.055	0.127	0.127	47.50	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130	
21.50	0.130	0.073	0.055	0.128	0.127	48.00	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130	
22.00	0.130	0.073	0.055	0.128	0.127	48.50	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130	
22.50	0.130	0.073	0.055	0.128	0.127	49.00	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130	
23.00	0.130	0.073	0.055	0.129	0.127	49.50	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130	
23.50	0.130	0.074	0.055	0.129	0.127	50.00	0.130	0.075	0.055	0.130	0.130	
24.00	0.130	0.074	0.055	0.129	0.127							
24.50	0.130	0.074	0.055	0.129	0.128							
25.00	0.130	0.074	0.055	0.129	0.128							
							PROM	0.130	0.075	0.055	0.130	0.129

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla C 6: Registro histórico de caudales de salida en las secciones de interés EN-6/Qi=0.15[m3/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO												
ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL						PRUEBA EN-6: (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL = 0.15 [m3/s])						
Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]	RÉGIMEN PERMANENTE	Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]
0.50	0.150	0.000	0.000	0.000	0.000		26.00	0.150	0.095	0.055	0.150	0.150
1.50	0.150	0.000	0.033	0.033	0.000		27.00	0.150	0.096	0.055	0.150	0.150
2.00	0.150	0.000	0.073	0.073	0.000		27.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
2.50	0.150	0.013	0.064	0.077	0.000		28.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
3.00	0.150	0.011	0.063	0.074	0.038		28.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
3.50	0.150	0.024	0.056	0.079	0.051		29.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
4.00	0.150	0.019	0.056	0.074	0.055		29.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
4.50	0.150	0.015	0.055	0.070	0.049		30.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
5.00	0.150	0.014	0.053	0.067	0.058		30.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
5.50	0.150	0.017	0.051	0.068	0.063		31.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
6.00	0.150	0.021	0.049	0.070	0.063		31.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
6.50	0.150	0.023	0.049	0.072	0.065		32.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
7.00	0.150	0.024	0.049	0.072	0.068		32.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
7.50	0.150	0.026	0.049	0.074	0.070		33.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
8.00	0.150	0.027	0.048	0.075	0.071		33.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
8.50	0.150	0.028	0.048	0.076	0.072		34.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
9.00	0.150	0.029	0.048	0.077	0.073		34.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
9.50	0.150	0.043	0.050	0.093	0.074		35.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
10.00	0.150	0.056	0.050	0.106	0.076		35.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
10.50	0.150	0.065	0.051	0.115	0.087		36.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
11.00	0.150	0.070	0.051	0.121	0.098		36.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
11.50	0.150	0.073	0.052	0.125	0.111		37.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
12.00	0.150	0.075	0.052	0.127	0.116		37.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
12.50	0.150	0.075	0.053	0.128	0.120		38.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
13.00	0.150	0.076	0.053	0.129	0.123		38.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150
13.50	0.150	0.078	0.054	0.131	0.124	39.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
14.00	0.150	0.080	0.054	0.134	0.126	39.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
14.50	0.150	0.083	0.055	0.137	0.129	40.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
15.00	0.150	0.085	0.055	0.141	0.131	40.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
15.50	0.150	0.085	0.055	0.140	0.135	41.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
16.00	0.150	0.086	0.055	0.142	0.138	41.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
16.50	0.150	0.087	0.056	0.142	0.139	42.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
17.00	0.150	0.088	0.056	0.143	0.140	42.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
17.50	0.150	0.088	0.056	0.143	0.140	43.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
18.50	0.150	0.089	0.056	0.145	0.142	44.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
19.00	0.150	0.090	0.056	0.146	0.143	44.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
19.50	0.150	0.091	0.056	0.146	0.144	45.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
20.00	0.150	0.091	0.056	0.147	0.145	45.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
20.50	0.150	0.091	0.056	0.147	0.145	46.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
21.00	0.150	0.092	0.056	0.147	0.146	46.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
21.50	0.150	0.092	0.056	0.148	0.146	47.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
22.00	0.150	0.092	0.055	0.148	0.147	47.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
22.50	0.150	0.093	0.055	0.148	0.147	48.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
23.00	0.150	0.093	0.055	0.149	0.148	48.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
23.50	0.150	0.094	0.055	0.149	0.148	49.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
24.00	0.150	0.094	0.055	0.149	0.149	49.50	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
24.50	0.150	0.095	0.055	0.150	0.148	50.00	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	
25.00	0.150	0.095	0.055	0.150	0.150	PROM	0.150	0.096	0.054	0.150	0.150	

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

ANEXO D: REGISTROS DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL.

Tabla D 1: Registro de la variación temporal del calado de aproximación y la carga sobre el vertedero en la sección de interés /Prueba EN-1/ $Q_i=0.05$ [m³/s].

VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y CARGA SOBRE EL VERTEDERO (75 cm AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO)									
ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL			PRUEBA: EN-1 (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.05 [m ³ /s])						
Time [s]	yo [m]	h [m]	Time [s]	yo [m]	h [m]	Time [s]	yo [m]	h [m]	
0.50	0.000		20.50	0.318	0.008	40.00	0.352	0.042	
1.50	0.016		21.50	0.316	0.006	41.00	0.354	0.044	
2.00	0.032		22.00	0.315	0.005	41.50	0.358	0.048	
2.50	0.048		22.50	0.319	0.009	42.00	0.361	0.051	
3.00	0.065		23.00	0.322	0.012	42.50	0.358	0.048	
3.50	0.059		23.50	0.327	0.017	43.00	0.355	0.045	
4.00	0.053		24.00	0.331	0.021	43.50	0.354	0.044	
4.50	0.054		24.50	0.336	0.026	44.00	0.352	0.042	
5.00	0.055		25.00	0.341	0.031	44.50	0.353	0.043	
5.50	0.065		25.50	0.341	0.031	45.00	0.353	0.043	
6.00	0.075		26.00	0.340	0.030	45.50	0.353	0.043	
6.50	0.123		26.50	0.338	0.028	46.00	0.352	0.042	
7.00	0.171		27.00	0.336	0.026	46.50	0.353	0.043	
7.50	0.184		27.50	0.337	0.027	47.00	0.353	0.043	
8.00	0.197		28.00	0.338	0.028	47.50	0.356	0.046	
8.50	0.201		28.50	0.336	0.026	48.00	0.358	0.048	
9.00	0.205		29.00	0.334	0.024	48.50	0.357	0.047	
9.50	0.210		29.50	0.342	0.032	49.00	0.356	0.046	
10.00	0.214		30.00	0.350	0.040	49.50	0.356	0.046	
10.50	0.217		30.50	0.350	0.040	50.00	0.356	0.046	
11.00	0.220		31.00	0.349	0.039	50.50	0.355	0.045	
11.50	0.223		31.50	0.345	0.035	51.00	0.354	0.044	
12.00	0.225		32.00	0.340	0.030	51.50	0.358	0.048	
12.50	0.222		32.50	0.341	0.031	52.00	0.362	0.052	
13.00	0.219		33.00	0.342	0.032	52.50	0.365	0.055	
13.50	0.229		33.50	0.346	0.036	53.00	0.367	0.057	
14.00	0.238		34.00	0.349	0.039	53.50	0.367	0.057	
14.50	0.245		34.50	0.347	0.037	54.00	0.366	0.056	
15.00	0.251		35.00	0.344	0.034	54.50	0.364	0.054	
15.50	0.245		35.50	0.345	0.035	55.00	0.361	0.051	
16.00	0.239		36.00	0.342	0.032	55.50	0.363	0.053	
16.50	0.250		36.50	0.344	0.034	56.00	0.365	0.055	
17.00	0.260		37.00	0.346	0.036	56.50	0.364	0.054	
17.50	0.266		37.50	0.347	0.037	57.00	0.362	0.052	
18.00	0.271		38.00	0.348	0.038	57.50	0.361	0.051	
18.50	0.276		38.50	0.349	0.039	58.00	0.359	0.049	
19.00	0.280		39.00	0.349	0.039	58.50	0.361	0.051	
19.50	0.300		39.5	0.3505	0.0405	59.00	0.363	0.053	
						60.00	0.361	0.051	
						PROM	0.358	0.048	

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla D 2: Registro de la variación temporal del calado de aproximación y la carga sobre el vertedero en la sección de interés / Prueba EN-2/ $Q_i=0.07$ [m³/s].

VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y DE LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO (75 cm AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO)						
ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL			PRUEBA: EN-2 (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.07 [m ³ /s])			
Time [s]	yo [m]	h [m]		Time [s]	yo [m]	h [m]
0.00	0.000			25.50	0.386	0.076
0.50	0.000			26.00	0.388	0.078
1.00	0.000			26.50	0.388	0.078
1.50	0.023			27.00	0.388	0.078
2.00	0.047			27.50	0.388	0.078
2.50	0.059			28.00	0.388	0.078
3.00	0.072			28.50	0.389	0.079
3.50	0.072			29.00	0.389	0.079
4.00	0.073			29.50	0.389	0.079
5.00	0.180			30.50	0.390	0.080
5.50	0.204			31.00	0.391	0.081
6.00	0.228			31.50	0.390	0.080
6.50	0.237			32.00	0.389	0.079
7.00	0.245			32.50	0.389	0.079
7.50	0.252			33.00	0.388	0.078
8.00	0.258			33.50	0.389	0.079
8.50	0.262			34.00	0.389	0.079
9.00	0.265			34.50	0.389	0.079
9.50	0.265			35.00	0.389	0.079
10.00	0.265			35.50	0.389	0.079
10.50	0.266			36.00	0.389	0.079
11.00	0.267			36.50	0.390	0.080
11.50	0.267			37.00	0.390	0.080
12.00	0.266			37.50	0.390	0.080
12.50	0.270			38.00	0.389	0.079
13.00	0.274			38.50	0.389	0.079
13.50	0.281			39.00	0.388	0.078
14.00	0.288			39.50	0.389	0.079
14.50	0.299			40.00	0.390	0.080
15.00	0.310	0.000		40.50	0.390	0.080
15.50	0.321	0.011		41.00	0.390	0.080
16.00	0.332	0.022		41.50	0.389	0.079
16.50	0.336	0.026		42.00	0.388	0.078
17.00	0.339	0.029		42.50	0.388	0.078
17.50	0.344	0.034		43.00	0.388	0.078
18.00	0.348	0.038		43.50	0.389	0.079
18.50	0.349	0.039		44.00	0.389	0.079
19.00	0.350	0.040		44.50	0.389	0.079
19.50	0.356	0.046		45.00	0.390	0.080
20.00	0.361	0.051		45.50	0.394	0.084
20.50	0.367	0.057		46.00	0.391	0.081
21.00	0.372	0.062		46.50	0.391	0.081
21.50	0.372	0.062		47.00	0.391	0.081
22.00	0.372	0.062		47.50	0.392	0.082
22.50	0.371	0.061		48.00	0.392	0.082
23.00	0.370	0.060		48.50	0.392	0.082
23.50	0.374	0.064		49.00	0.391	0.081
24.00	0.377	0.067		49.50	0.393	0.083
24.50	0.381	0.071		50.00	0.394	0.084
25.00	0.384	0.074		PROMEDIO	0.390	0.080

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla D 3: Registro de la variación temporal del calado de aproximación y la carga sobre el vertedero en la sección de interés / Prueba EN-3/ $Q_i=0.09$ [m³/s].

VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y DE LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO (75 cm AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO)						
ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL			PRUEBA: EN-3 (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.09 [m ³ /s])			
Time [s]	yo [m]	H [m]		Time [s]	yo [m]	h [m]
0.00	0.000			26.00	0.412	0.102
1.00	0.000			27.00	0.413	0.103
1.50	0.031			27.50	0.413	0.103
2.00	0.062			28.00	0.413	0.103
3.00	0.081			29.00	0.414	0.104
3.50	0.123			29.50	0.416	0.106
4.00	0.165			30.00	0.418	0.108
4.50	0.210			30.50	0.420	0.110
5.00	0.255			31.00	0.421	0.111
5.50	0.270			31.50	0.422	0.112
6.00	0.284			32.00	0.422	0.112
6.50	0.290			32.50	0.422	0.112
7.00	0.295			33.00	0.422	0.112
7.50	0.299			33.50	0.421	0.111
8.00	0.303			34.00	0.420	0.110
8.50	0.304			34.50	0.420	0.110
9.00	0.305			35.00	0.419	0.109
9.50	0.306			35.50	0.419	0.109
10.00	0.306			36.00	0.418	0.108
10.50	0.308			36.50	0.414	0.104
11.00	0.310			37.00	0.410	0.100
11.50	0.323			37.50	0.412	0.102
12.00	0.335	0.025		38.00	0.413	0.103
12.50	0.354	0.044		38.50	0.414	0.104
13.00	0.372	0.062		39.00	0.414	0.104
13.50	0.379	0.069		39.50	0.414	0.104
14.00	0.385	0.075		40.00	0.413	0.103
14.50	0.387	0.077		40.50	0.413	0.103
15.00	0.389	0.079		41.00	0.413	0.103
15.50	0.391	0.081		41.50	0.412	0.102
16.00	0.393	0.083		42.00	0.411	0.101
16.50	0.395	0.085		42.50	0.411	0.101
17.00	0.397	0.087		43.00	0.411	0.101
17.50	0.399	0.089		43.50	0.412	0.102
18.00	0.401	0.091		44.00	0.412	0.102
18.50	0.402	0.092		44.50	0.412	0.102
19.00	0.402	0.092		45.00	0.412	0.102
19.50	0.409	0.099		45.50	0.413	0.103
20.00	0.415	0.105		46.00	0.413	0.103
20.50	0.411	0.101		46.50	0.414	0.104
21.00	0.407	0.097		47.00	0.414	0.104
21.50	0.409	0.099		47.50	0.414	0.104
22.00	0.411	0.101		48.00	0.414	0.104
22.50	0.410	0.100		48.50	0.415	0.105
23.00	0.409	0.099		49.00	0.415	0.105
23.50	0.409	0.099		49.50	0.415	0.105
24.00	0.408	0.098		50.00	0.415	0.105
24.50	0.409	0.099		50.50	0.415	0.105
25.00	0.410	0.100		51.00	0.414	0.104
25.50	0.411	0.101		PROMEDIO	0.415	0.105

RÉGIMEN PERMANENTE

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla D 4: Registro de la variación temporal del calado de aproximación y la carga sobre el vertedero en la sección de interés / Prueba EN-4/ $Q_i=0.11$ [m³/s].

VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y DE LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO (75 cm AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO)						
ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL			PRUEBA: EN-4 (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.11 [m ³ /s])			
Time [s]	yo [m]	h [m]		Time [s]	yo [m]	h [m]
0.00	0		RÉGIMEN PERMANENTE	25.00	0.439	0.129
1.00	0.082			26.00	0.439	0.129
1.50	0.089			26.50	0.439	0.129
2.00	0.096			27.00	0.439	0.129
2.50	0.152			27.50	0.439	0.129
3.00	0.207			28.00	0.439	0.129
4.00	0.281			29.00	0.439	0.129
4.50	0.312	0.002		29.50	0.439	0.129
5.00	0.342	0.032		30.00	0.439	0.129
5.50	0.361	0.051		30.50	0.44	0.13
6.00	0.379	0.069		31.00	0.44	0.13
6.50	0.392	0.082		31.50	0.44	0.13
7.00	0.404	0.094		32.00	0.44	0.13
7.50	0.413	0.103		32.50	0.44	0.13
8.00	0.421	0.111		33.00	0.44	0.13
8.50	0.426	0.116		33.50	0.44	0.13
9.00	0.43	0.12		34.00	0.44	0.13
9.50	0.433	0.123		34.50	0.44	0.13
10.00	0.435	0.125		35.00	0.44	0.13
10.50	0.436	0.126		35.50	0.44	0.13
11.00	0.437	0.127		36.00	0.44	0.13
11.50	0.438	0.128		36.50	0.44	0.13
12.00	0.438	0.128		37.00	0.44	0.13
12.50	0.439	0.129		37.50	0.44	0.13
13.00	0.439	0.129		38.00	0.44	0.13
13.50	0.439	0.129		38.50	0.44	0.13
14.00	0.439	0.129		39.00	0.44	0.13
14.50	0.439	0.129		39.50	0.44	0.13
15.00	0.439	0.129		40.00	0.44	0.13
15.50	0.439	0.129		40.50	0.44	0.13
16.00	0.439	0.129		41.00	0.44	0.13
16.50	0.44	0.13		41.50	0.441	0.131
17.00	0.44	0.13		42.00	0.441	0.131
17.50	0.44	0.13		42.50	0.441	0.131
18.00	0.439	0.129		43.00	0.441	0.131
18.50	0.44	0.13		43.50	0.441	0.131
19.00	0.44	0.13		44.00	0.44	0.13
19.50	0.44	0.13		44.50	0.441	0.131
20.00	0.44	0.13		45.00	0.441	0.131
20.50	0.44	0.13		45.50	0.441	0.131
21.00	0.44	0.13		46.00	0.441	0.131
21.50	0.44	0.13		46.50	0.441	0.131
22.00	0.44	0.13		47.00	0.441	0.131
22.50	0.44	0.13		47.50	0.441	0.131
23.00	0.44	0.13		48.00	0.44	0.13
23.50	0.44	0.13		48.50	0.44	0.13
24.00	0.44	0.13		49.00	0.44	0.13
24.50	0.44	0.13		49.50	0.44	0.13
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba				50.00	0.44	0.13
				PROMEDIO	0.4400	0.1300

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla D 5: Registro de la variación temporal del calado de aproximación y la carga sobre el vertedero en la sección de interés / Prueba EN-5/ $Q_i=0.13$ [m³/s].

VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y DE LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO (75 cm AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO)						
ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL			PRUEBA: EN-5 (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.13 [m ³ /s])			
Time [s]	yo [m]	h [m]		Time [s]	yo [m]	h [m]
0.00	0		RÉGIMEN PERMANENTE	25.50	0.465	0.155
0.50	0			26.00	0.465	0.155
1.50	0.04			27.00	0.465	0.155
2.00	0.08			27.50	0.465	0.155
2.50	0.094			28.00	0.465	0.155
3.00	0.107			28.50	0.465	0.155
3.50	0.199			29.00	0.465	0.155
4.00	0.291			29.50	0.465	0.155
4.50	0.316	0.006		30.00	0.465	0.155
5.00	0.341	0.031		30.50	0.465	0.155
5.50	0.354	0.044		31.00	0.465	0.155
6.00	0.367	0.057		31.50	0.465	0.155
6.50	0.372	0.062		32.00	0.465	0.155
7.00	0.376	0.066		32.50	0.465	0.155
7.50	0.377	0.067		33.00	0.465	0.155
8.00	0.378	0.068		33.50	0.465	0.155
8.50	0.38	0.07		34.00	0.465	0.155
9.00	0.382	0.072		34.50	0.465	0.155
9.50	0.401	0.091		35.00	0.465	0.155
10.00	0.419	0.109		35.50	0.465	0.155
10.50	0.432	0.122		36.00	0.465	0.155
11.00	0.445	0.135		36.50	0.465	0.155
11.50	0.447	0.137		37.00	0.465	0.155
12.00	0.449	0.139		37.50	0.465	0.155
12.50	0.449	0.139		38.00	0.465	0.155
13.00	0.448	0.138		38.50	0.465	0.155
13.50	0.45	0.14		39.00	0.465	0.155
14.00	0.452	0.142		39.50	0.465	0.155
14.50	0.455	0.145		40.00	0.465	0.155
15.00	0.457	0.147		40.50	0.465	0.155
15.50	0.459	0.149		41.00	0.465	0.155
16.00	0.46	0.15		41.50	0.465	0.155
16.50	0.461	0.151		42.00	0.465	0.155
17.00	0.461	0.151		42.50	0.465	0.155
17.50	0.462	0.152		43.00	0.465	0.155
18.00	0.462	0.152		43.50	0.465	0.155
18.50	0.463	0.153		44.00	0.465	0.155
19.00	0.463	0.153		44.50	0.465	0.155
19.50	0.464	0.154		45.00	0.465	0.155
20.00	0.464	0.154		45.50	0.465	0.155
20.50	0.464	0.154		46.00	0.465	0.155
21.00	0.464	0.154		46.50	0.465	0.155
21.50	0.464	0.154		47.00	0.465	0.155
22.00	0.464	0.154		47.50	0.465	0.155
22.50	0.464	0.154		48.00	0.465	0.155
23.00	0.464	0.154		48.50	0.465	0.155
23.50	0.464	0.154		49.00	0.465	0.155
24.00	0.464	0.154		49.50	0.465	0.155
24.50	0.465	0.155		50.00	0.465	0.155
25.00	0.465	0.155		PROMEDIO	0.4650	0.1550

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

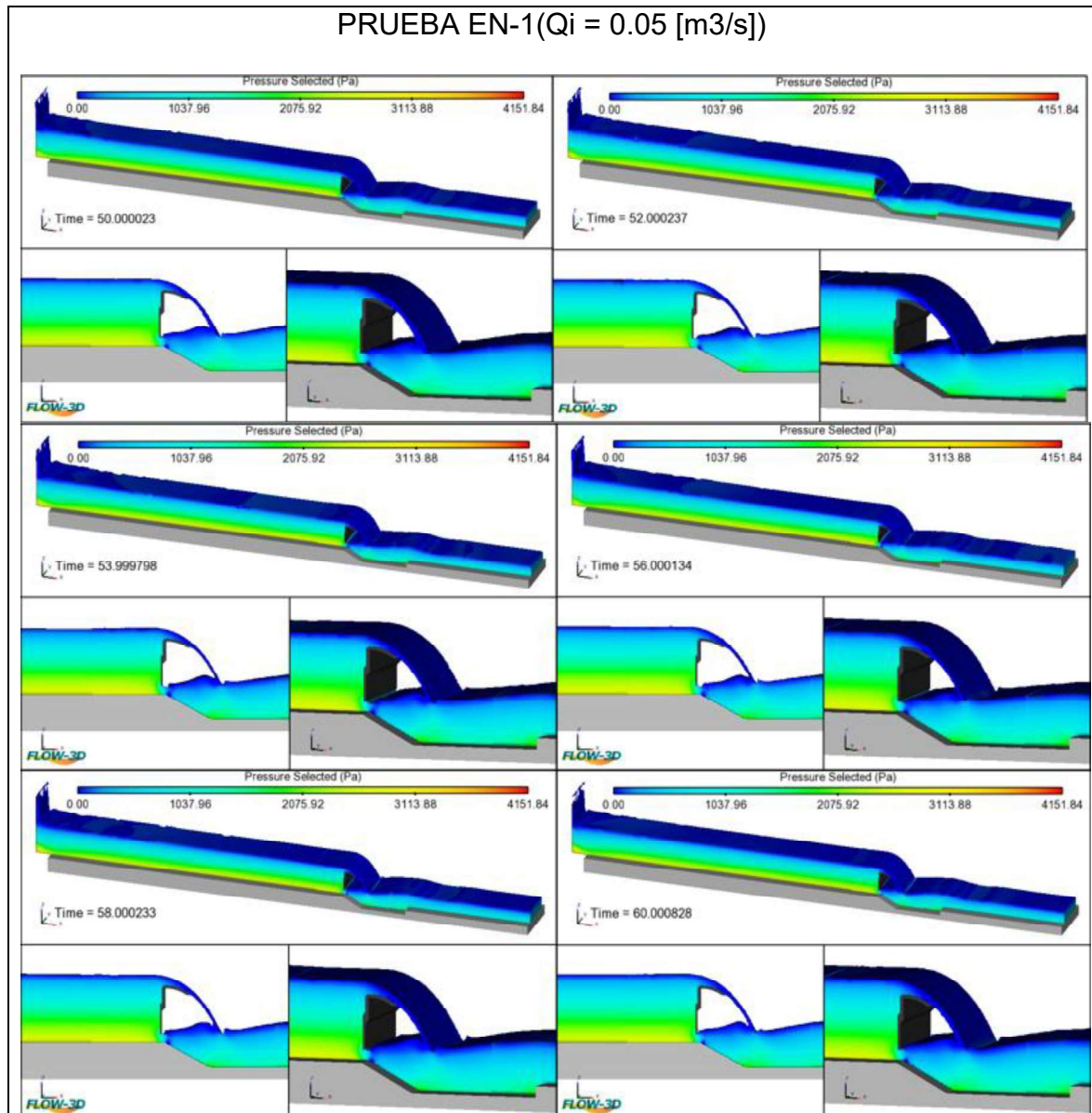
Tabla D 6: Registro de la variación temporal del calado de aproximación y la carga sobre el vertedero en la sección de interés / Prueba EN-6/ $Q_i=0.15$ [m³/s].

VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y DE LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO (75 cm AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO)						
ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL			PRUEBA: EN-6(Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.15 [m ³ /s])			
Time [s]	yo [m]	h [m]		Time [s]	yo [m]	h[m]
0.00	0		RÉGIMEN PERMANENTE	25.50	0.488	0.178
0.50	0			26.00	0.488	0.178
1.00	0			26.50	0.488	0.178
1.50	0.043			27.00	0.488	0.178
2.00	0.0863			27.50	0.488	0.178
2.50	0.106			28.00	0.487	0.177
3.00	0.126			28.50	0.487	0.177
3.50	0.223			29.00	0.487	0.177
4.00	0.319			29.50	0.487	0.177
4.50	0.343	0.033		30.00	0.487	0.177
5.00	0.367	0.057		30.50	0.487	0.177
5.50	0.383	0.073		31.00	0.487	0.177
6.00	0.399	0.089		31.50	0.487	0.177
6.50	0.402	0.092		32.00	0.487	0.177
7.00	0.405	0.095		32.50	0.488	0.178
7.50	0.406	0.096		33.00	0.488	0.178
8.00	0.407	0.097		33.50	0.488	0.178
8.50	0.413	0.103		34.00	0.487	0.177
9.00	0.419	0.109		34.50	0.487	0.177
9.50	0.436	0.126		35.00	0.487	0.177
10.00	0.453	0.143		35.50	0.487	0.177
10.50	0.463	0.153		36.00	0.487	0.177
11.00	0.472	0.162		36.50	0.487	0.177
11.50	0.474	0.164		37.00	0.487	0.177
12.00	0.475	0.165		37.50	0.487	0.177
12.50	0.476	0.166		38.00	0.487	0.177
13.00	0.477	0.167		38.50	0.487	0.177
13.50	0.479	0.169		39.00	0.487	0.177
14.00	0.481	0.171		39.50	0.488	0.178
14.50	0.483	0.173		40.00	0.488	0.178
15.00	0.485	0.175		40.50	0.488	0.178
15.50	0.485	0.175		41.00	0.487	0.177
16.00	0.485	0.175		41.50	0.487	0.177
16.50	0.485	0.175		42.00	0.487	0.177
17.00	0.485	0.175		42.50	0.487	0.177
17.50	0.486	0.176		43.00	0.487	0.177
18.00	0.486	0.176		43.50	0.487	0.177
18.50	0.487	0.177		44.00	0.487	0.177
19.00	0.487	0.177		44.50	0.487	0.177
19.50	0.487	0.177		45.00	0.487	0.177
20.00	0.487	0.177		45.50	0.487	0.177
20.50	0.487	0.177		46.00	0.487	0.177
21.00	0.487	0.177		46.50	0.487	0.177
21.50	0.488	0.178		47.00	0.487	0.177
22.00	0.488	0.178		47.50	0.487	0.177
22.50	0.488	0.178		48.00	0.487	0.177
23.00	0.488	0.178		48.50	0.487	0.177
23.50	0.488	0.178		49.00	0.487	0.177
24.00	0.488	0.178		49.50	0.487	0.177
24.50	0.488	0.178		50.00	0.487	0.177
25.00	0.488	0.178	PROMEDIO	0.487	0.177	

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

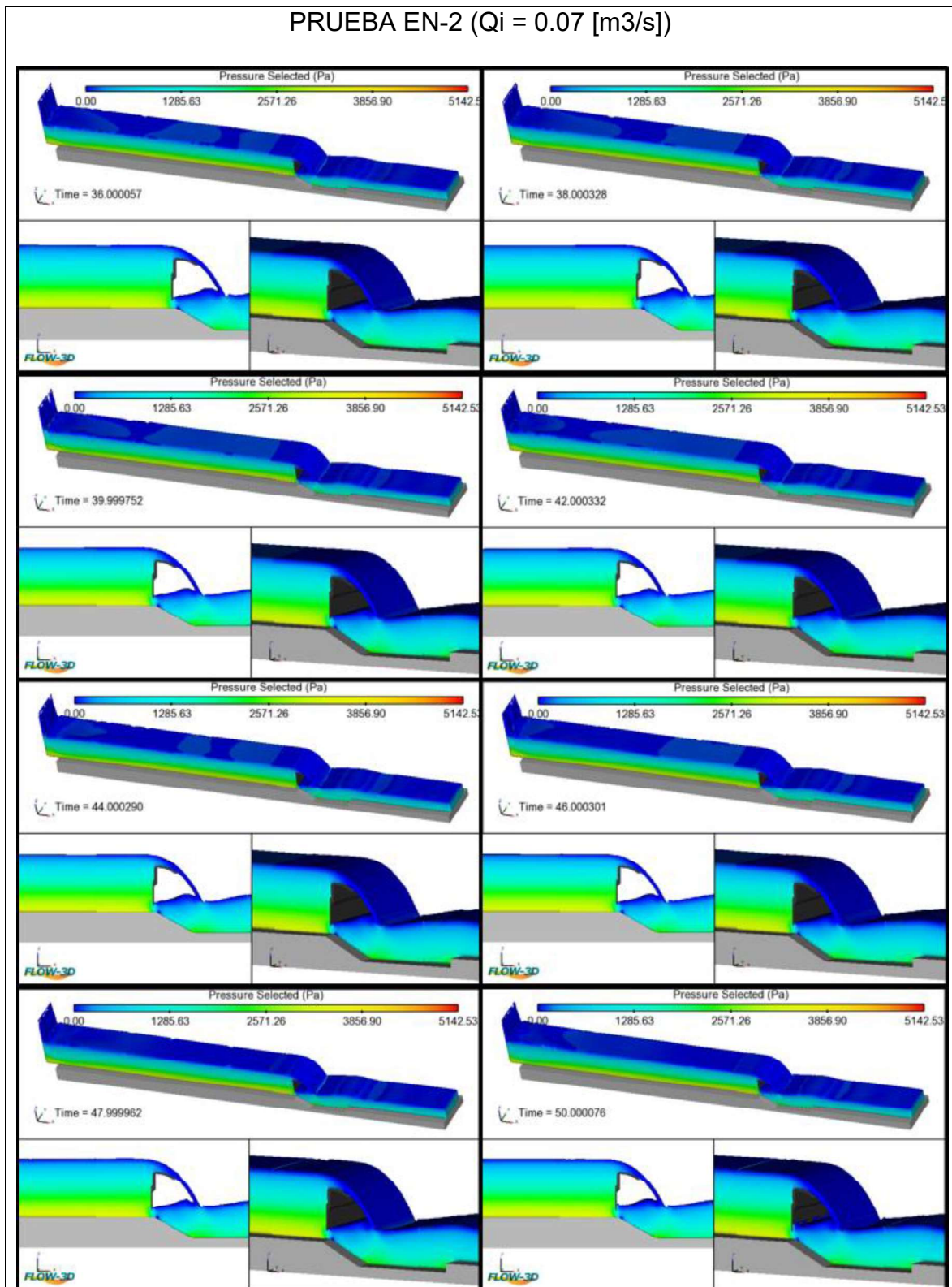
**ANEXO E: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS
ESCENARIO DE OPERACIÓN NORMAL.**

Gráfico E 1: Presiones desarrolladas en el dominio computacional Prueba EN-1 $Q_i=0.050$ [m³/s].



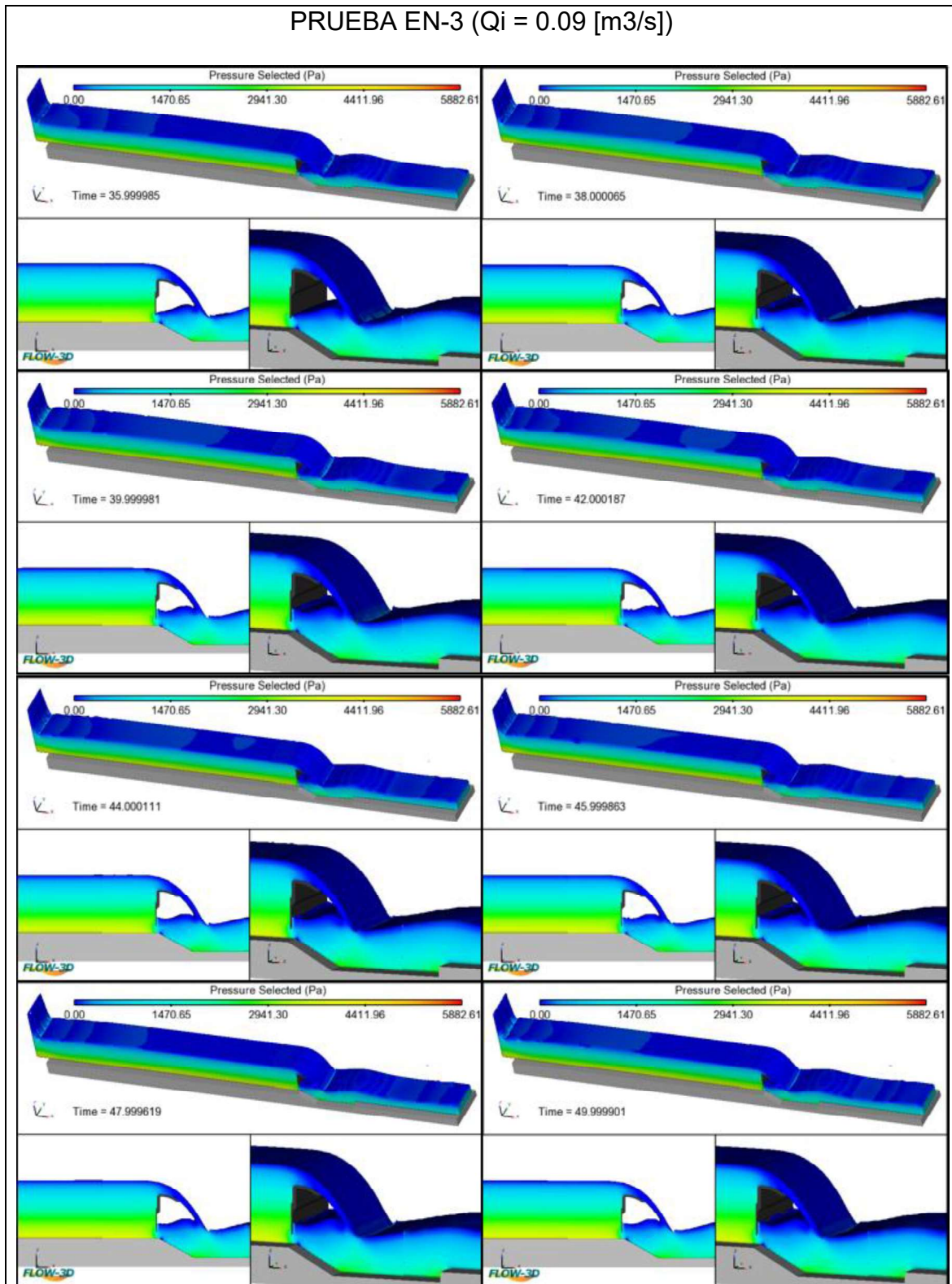
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico E 2: Presiones desarrolladas en el dominio computacional Prueba EN-2 $Q_i=0.075$ [m³/s].



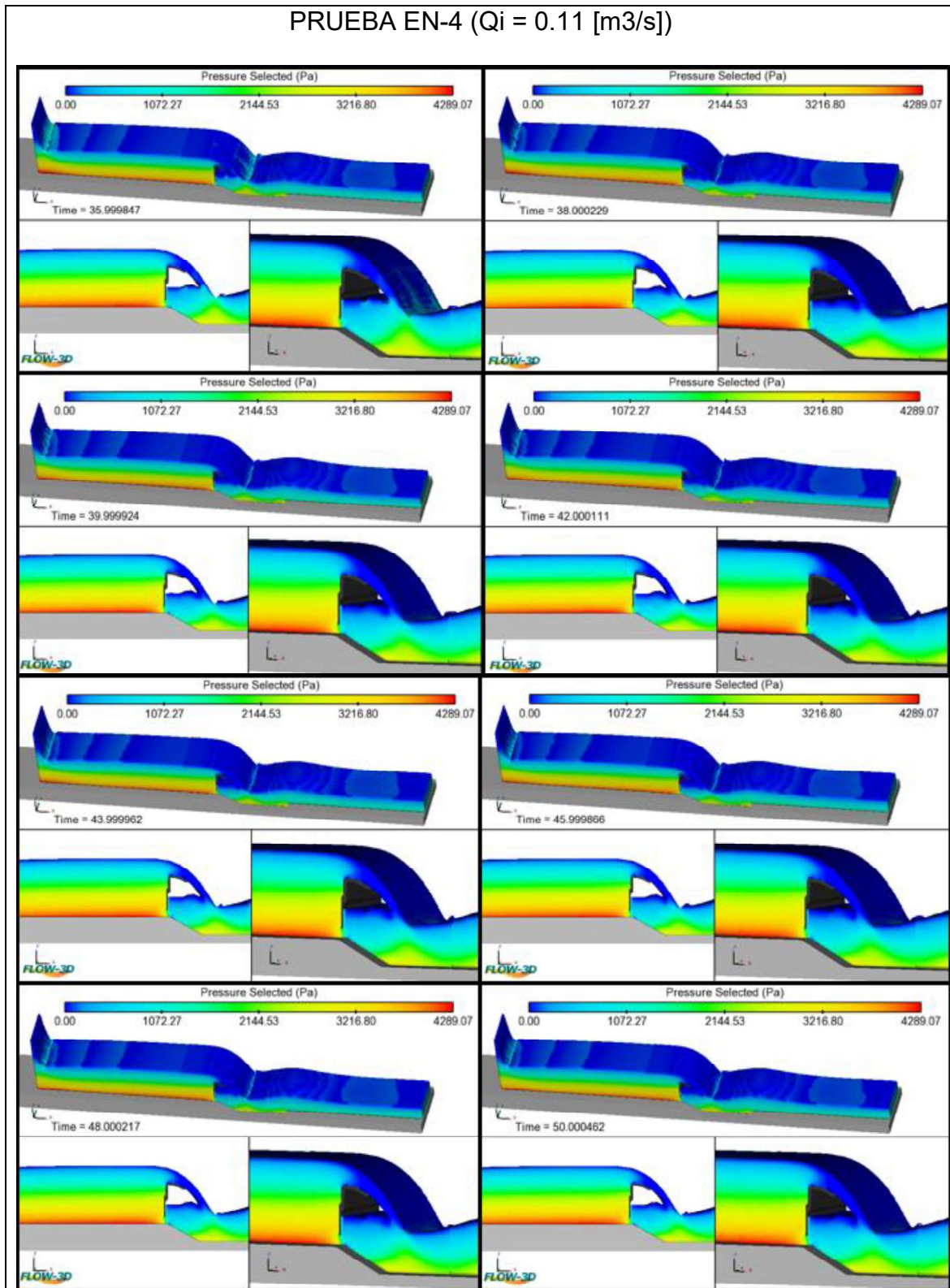
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico E 3: Presiones desarrolladas en el dominio computacional Prueba EN-3 $Q_i=0.090$ [m³/s].



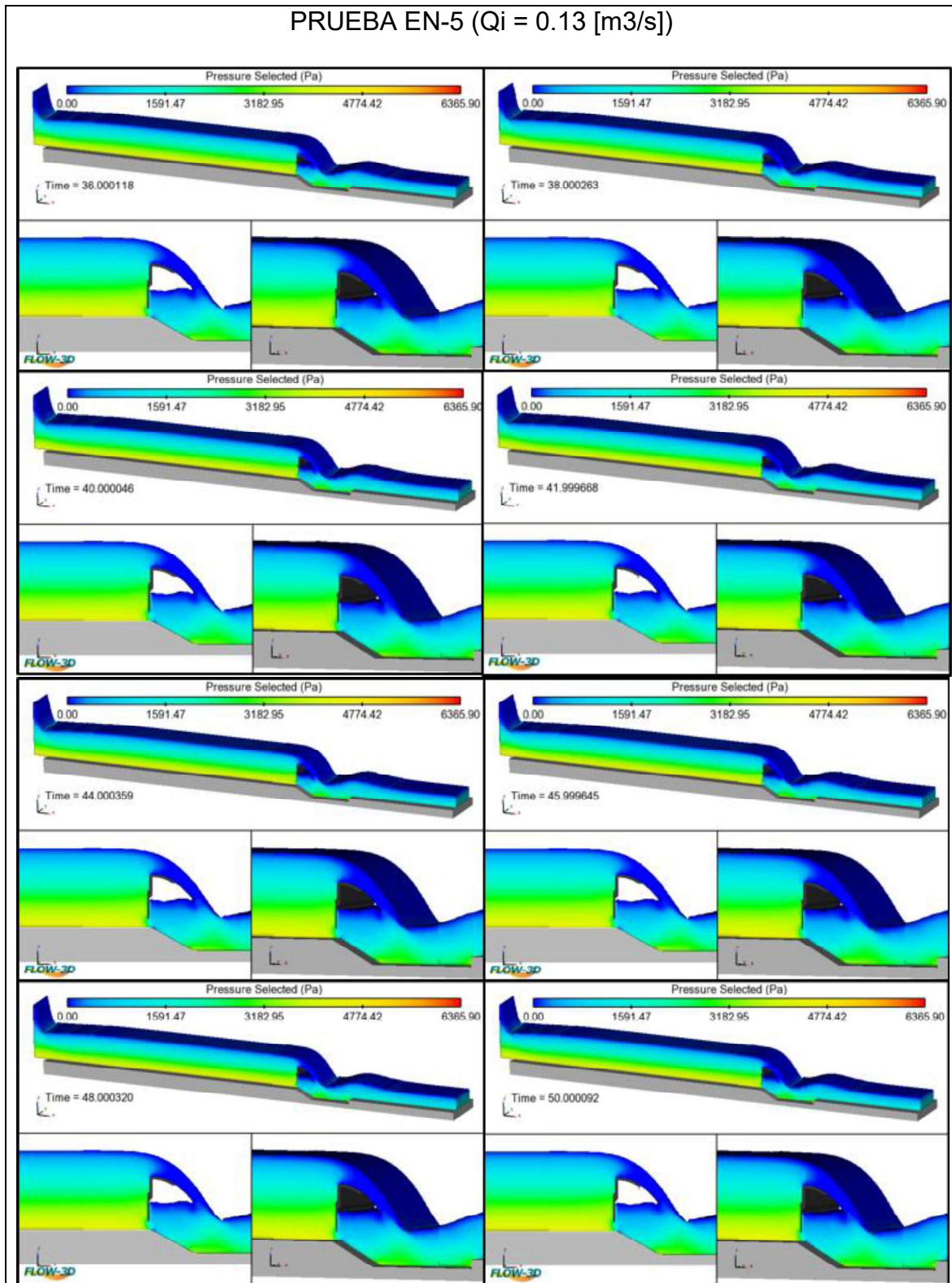
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico E 4: Presiones desarrolladas en el dominio computacional Prueba EN-4 $Q_i=0.110$ [m³/s].



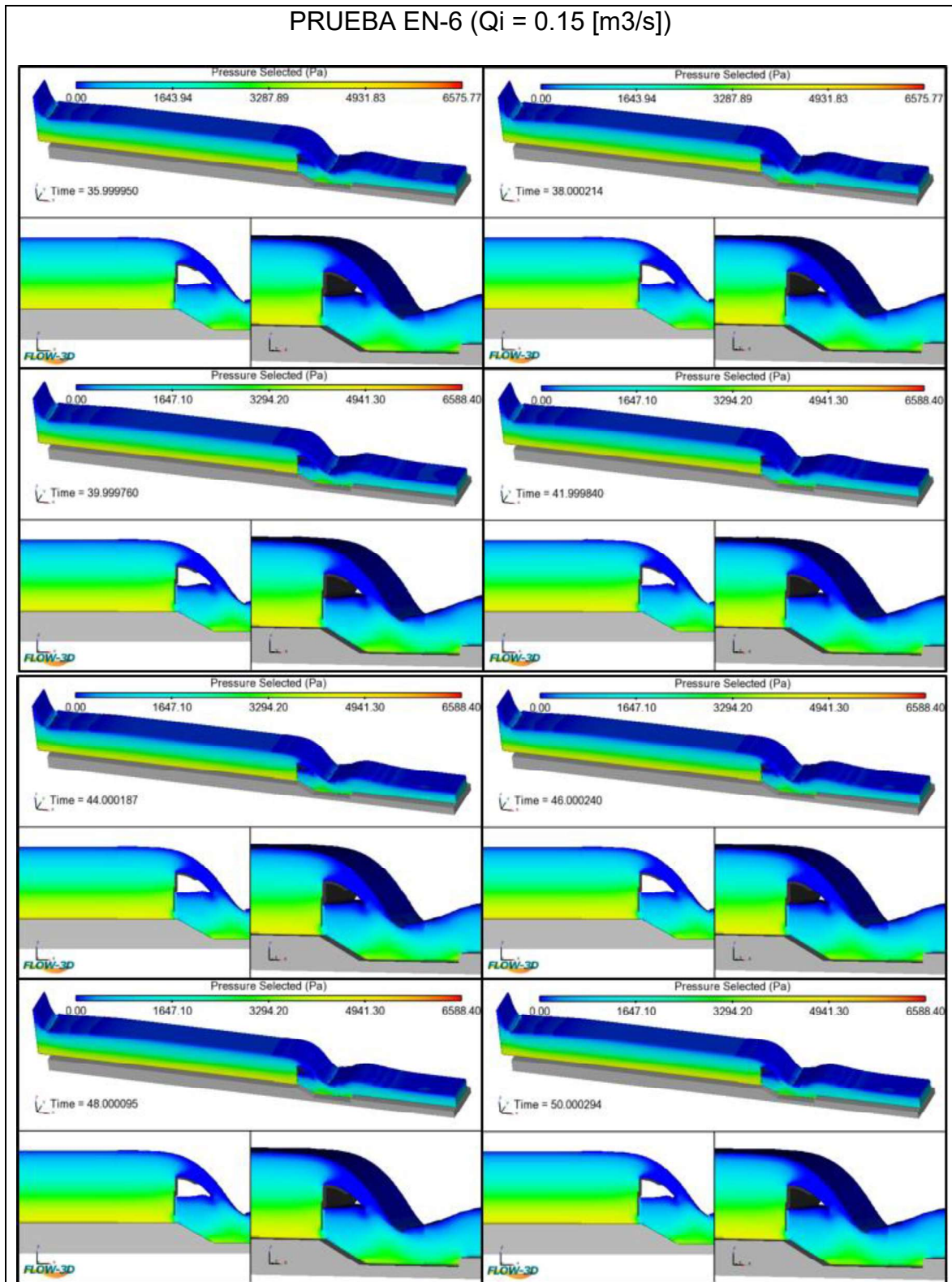
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico E 5: Presiones desarrolladas en el dominio computacional Prueba EN-5 $Q_i=0.130$ [m³/s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

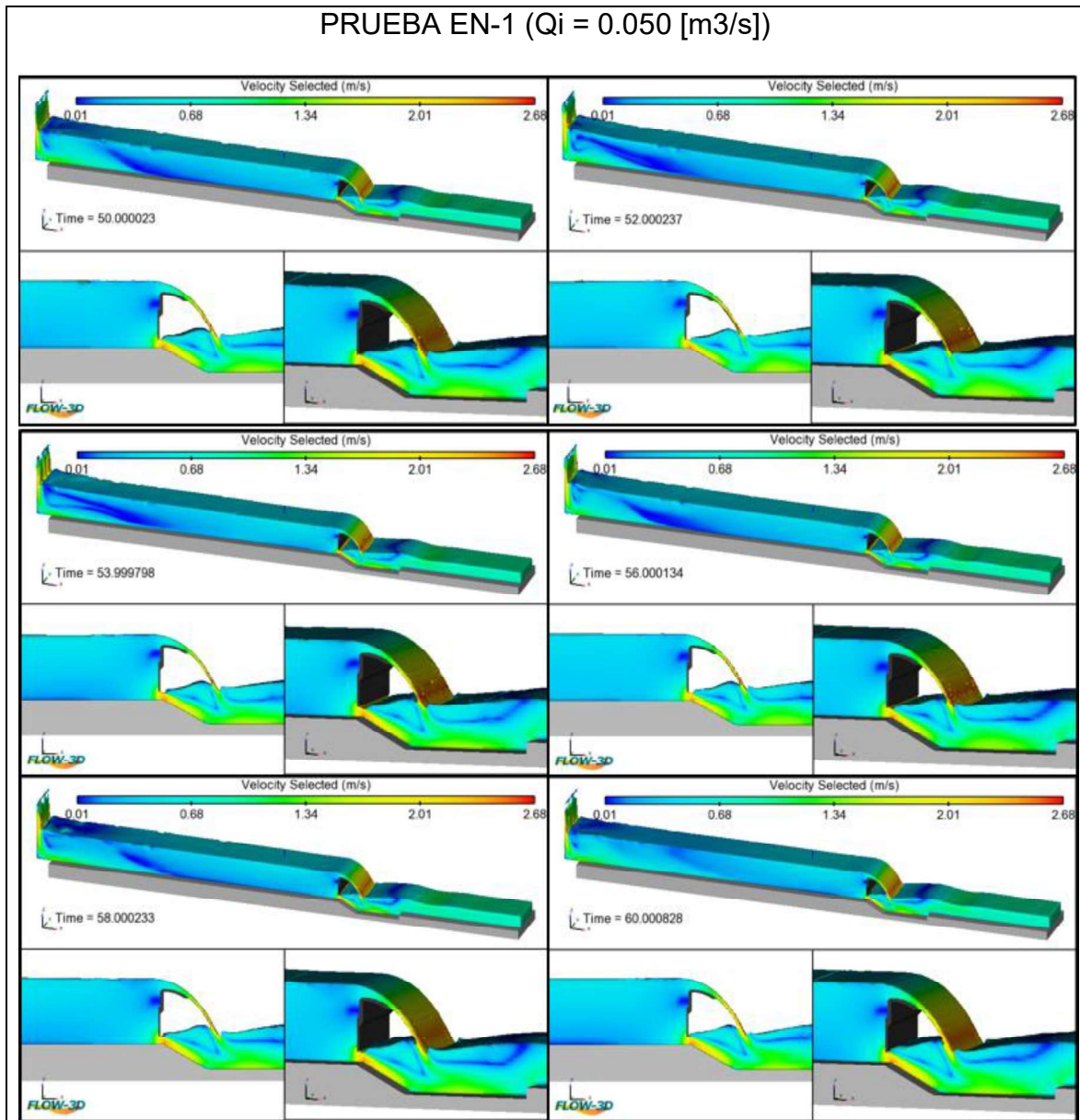
Gráfico E 6: Presiones desarrolladas en el dominio computacional Prueba EN-6 $Q_i=0.150$ [m³/s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

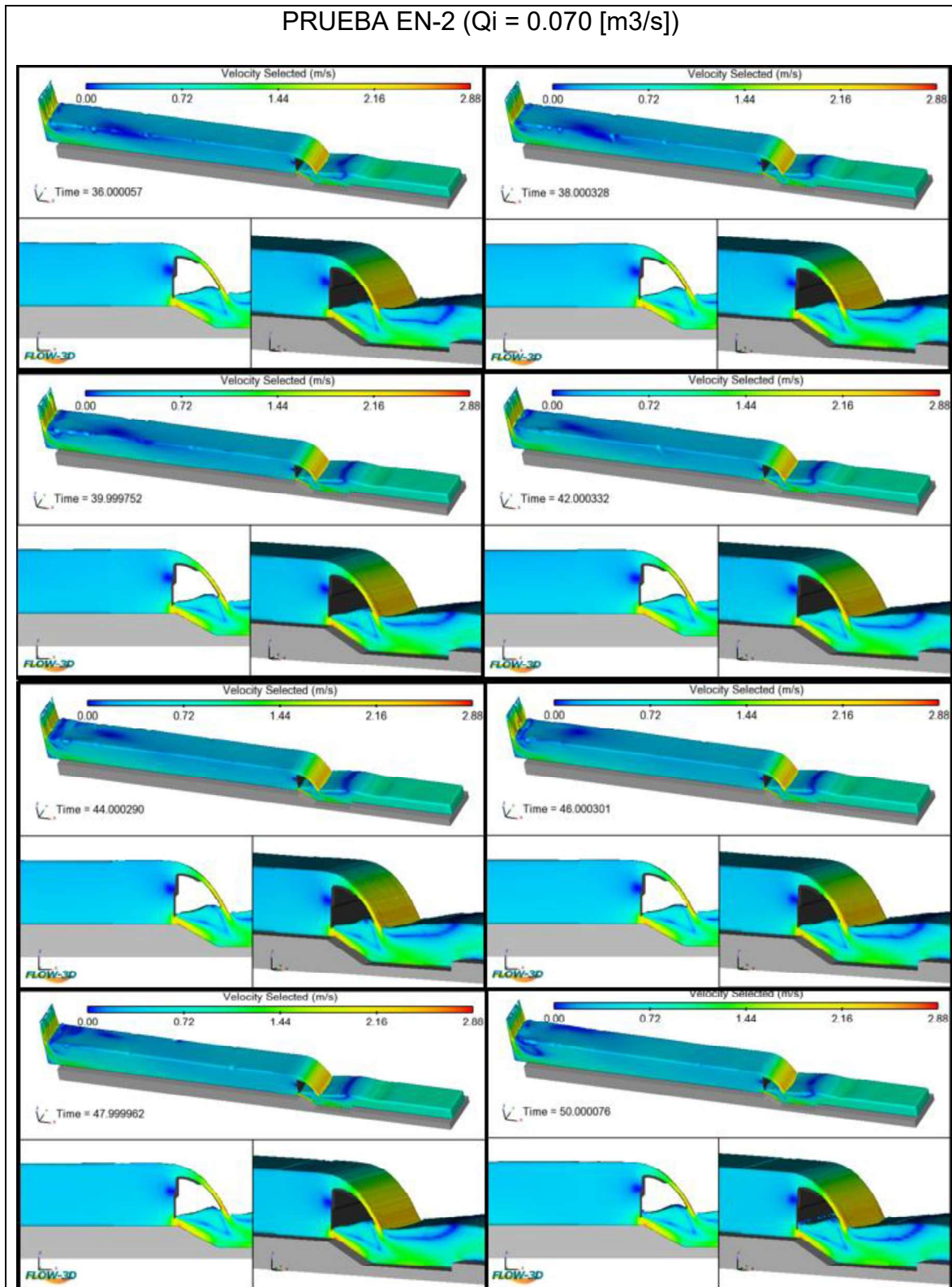
**ANEXO F: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL
DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO
DE OPERACIÓN NORMAL.**

Gráfico F 1: Velocidades en el dominio computacional Prueba EN-1 $Q_i=0.050$ [m³/s].



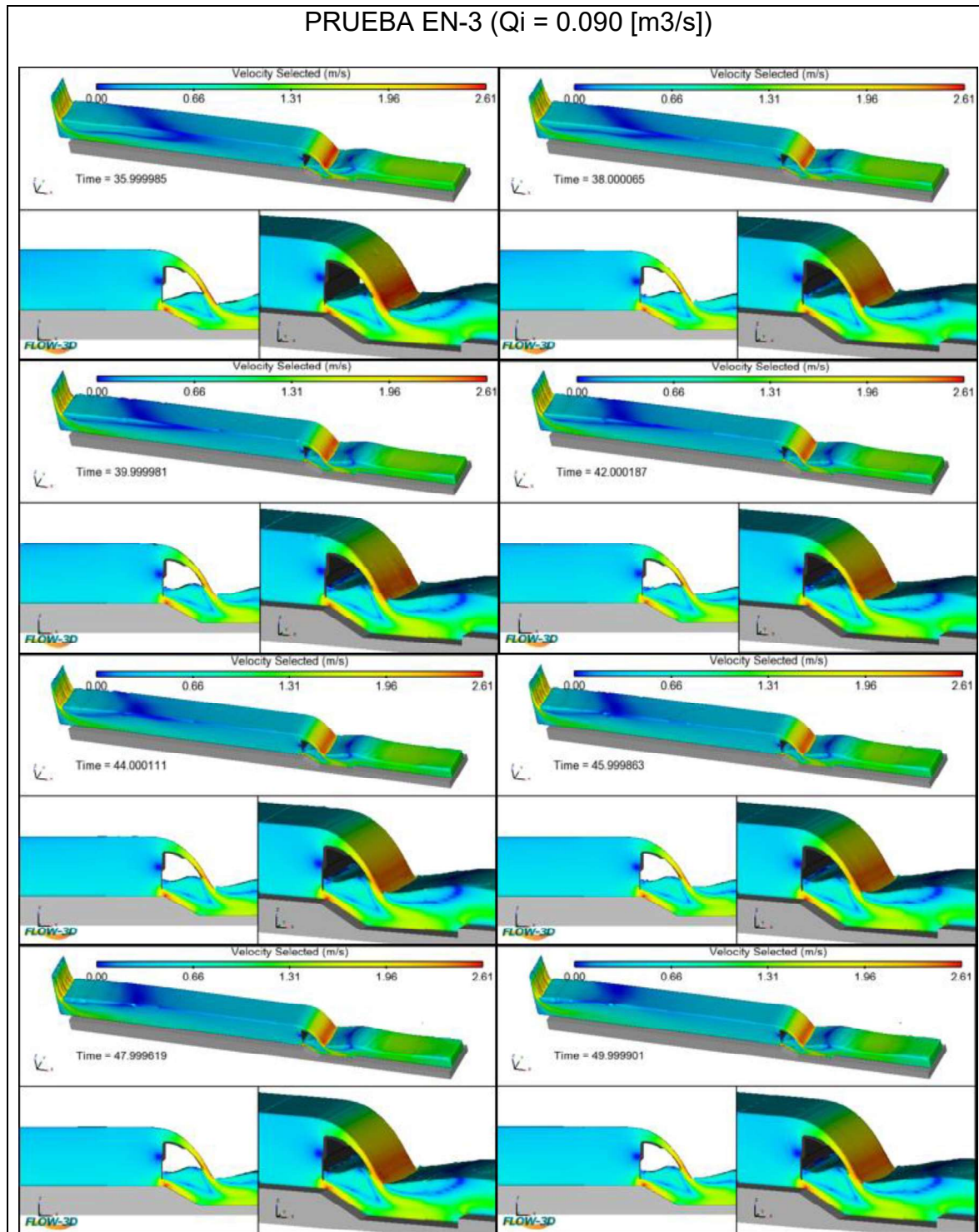
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico F 2: Velocidades en el dominio computacional Prueba EN-2 $Q_i=0.070$ [m³/s].



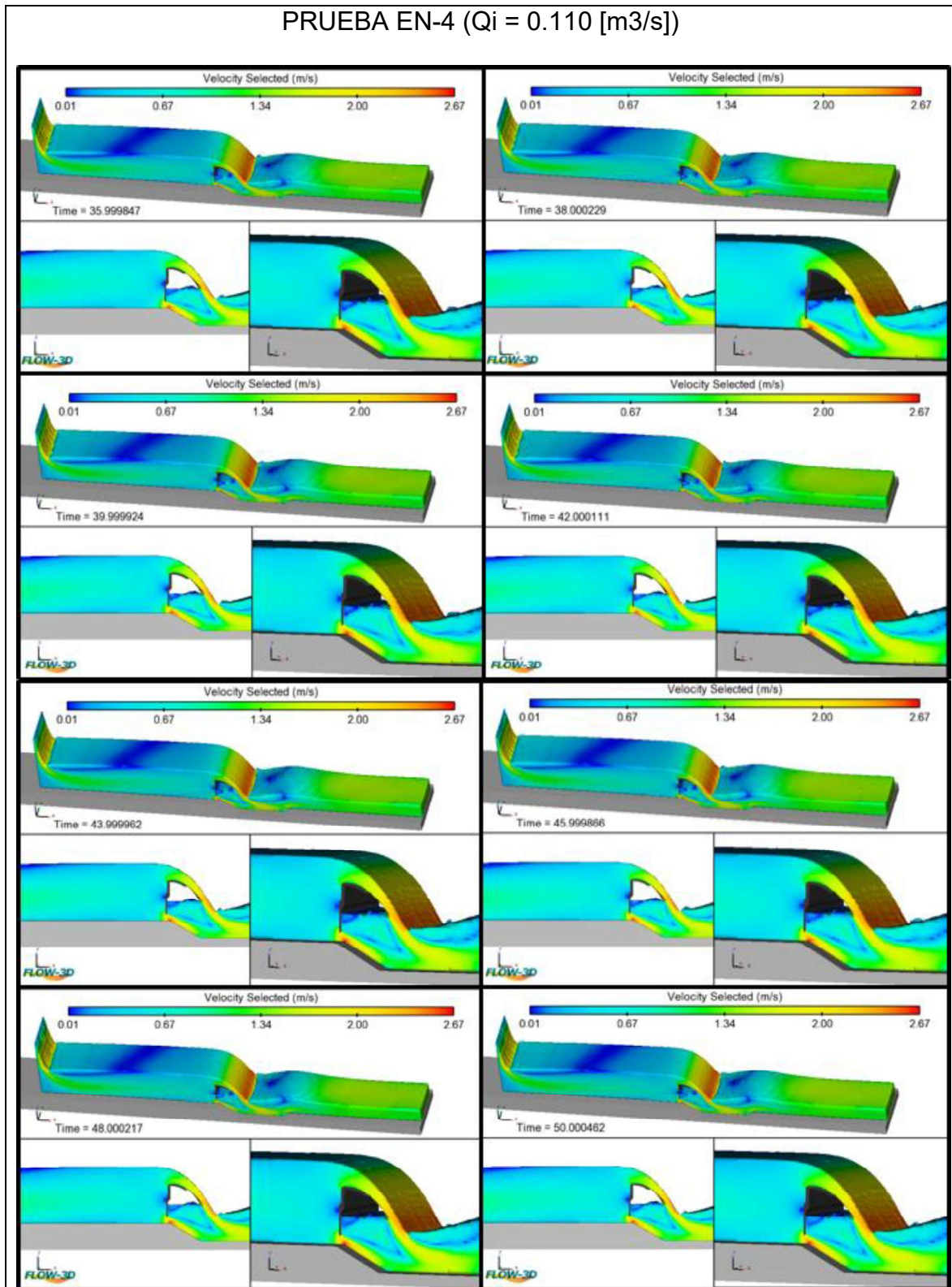
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico F 3: Velocidades en el dominio computacional Prueba EN-3 $Q_i=0.090$ [m³/s].



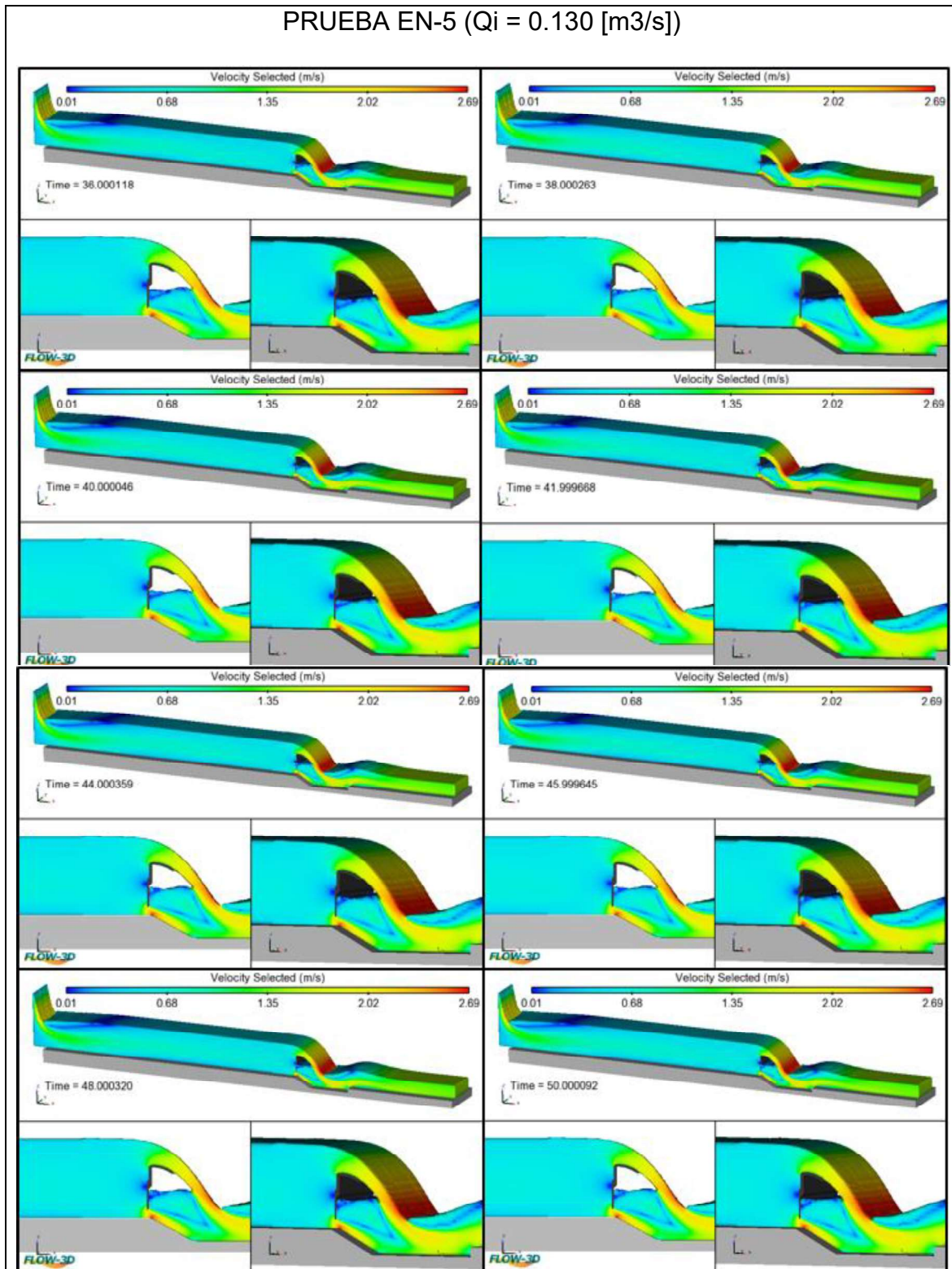
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico F 4: Velocidades en el dominio computacional Prueba EN-4 $Q_i=0.110$ [m³/s].



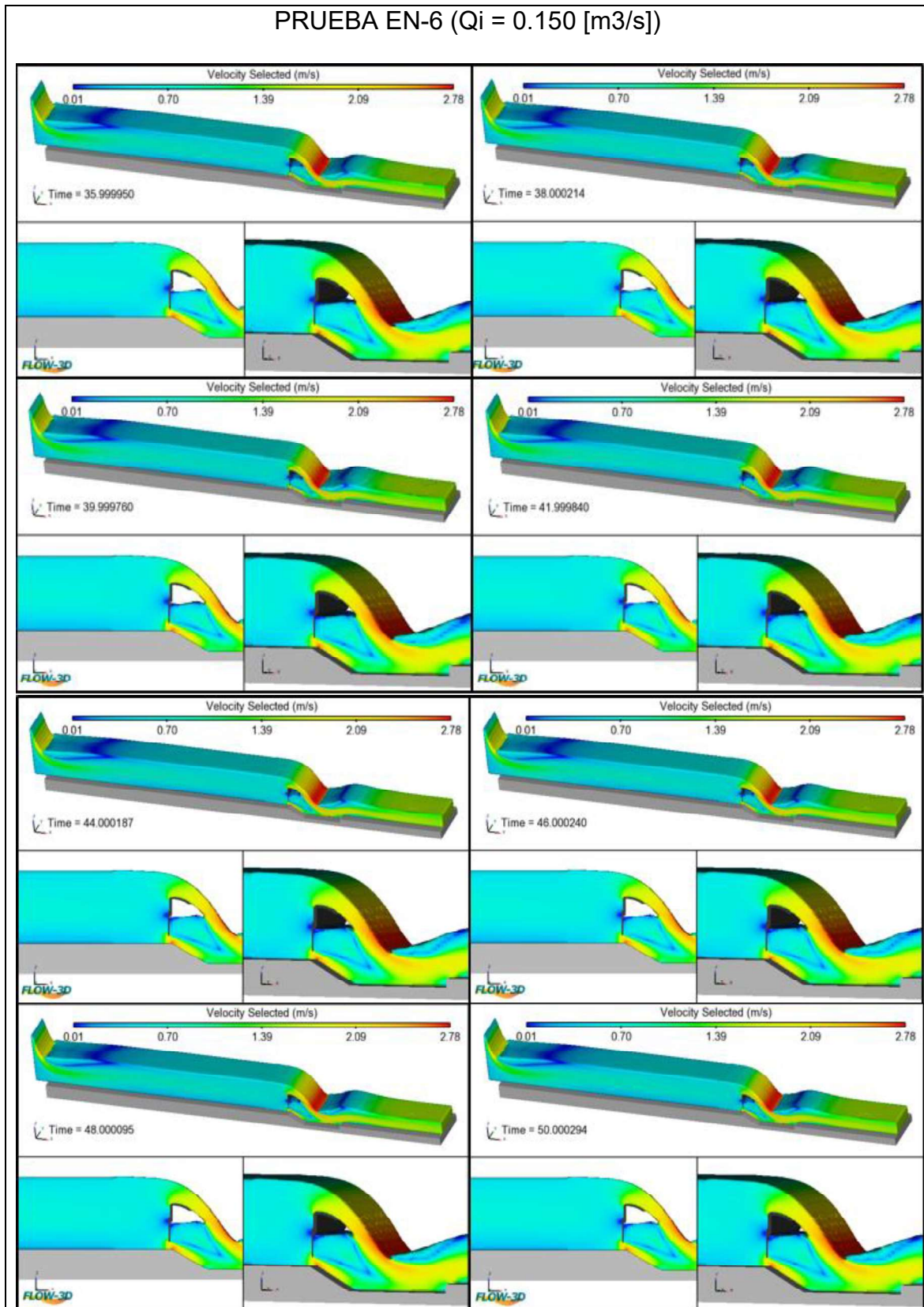
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico F 5: Velocidades en el dominio computacional Prueba EN-5 $Q_i=0.130$ [m³/s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico F 6: Velocidades en el dominio computacional Prueba EN-6 $Q_i=0.150$ [m³/s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

ANEXO G: REGISTROS HISTÓRICOS DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN “A”.

Tabla G 1: Registro histórico de caudales de salida en las secciones de interés Prueba EA-1/Qi=0.075 [m3/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO												
ESCENARIO DE OPERACIÓN A						PRUEBA: EA-1 (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.075 [m3/s])						
Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]	Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]	
0.5	0.075	0.000	0.000	0.000	0.000	26.5	0.075	0.020	0.050	0.069	0.064	
1.0	0.075	0.000	0.000	0.000	0.000	27.0	0.075	0.019	0.050	0.069	0.065	
2.0	0.075	0.000	0.036	0.036	0.000	28.0	0.075	0.022	0.049	0.071	0.065	
3.0	0.075	0.000	0.057	0.057	0.000	29.0	0.075	0.026	0.048	0.074	0.065	
4.0	0.075	0.000	0.050	0.050	0.032	30.0	0.075	0.025	0.048	0.074	0.068	
4.5	0.075	0.000	0.045	0.045	0.034	30.5	0.075	0.025	0.049	0.074	0.070	
5.0	0.075	0.000	0.043	0.043	0.032	31.0	0.075	0.026	0.049	0.075	0.070	
6.0	0.075	0.000	0.039	0.039	0.039	32.0	0.075	0.026	0.049	0.075	0.072	
7.0	0.075	0.000	0.038	0.038	0.039	33.0	0.075	0.027	0.049	0.076	0.072	
7.5	0.075	0.000	0.037	0.037	0.037	33.5	0.075	0.026	0.049	0.075	0.073	
8.0	0.075	0.000	0.036	0.036	0.037	34.0	0.075	0.025	0.049	0.074	0.074	
9.0	0.075	0.000	0.036	0.036	0.036	35.0	0.075	0.027	0.049	0.076	0.074	
9.5	0.075	0.000	0.036	0.036	0.036	35.5	0.075	0.025	0.049	0.075	0.074	
10.0	0.075	0.000	0.035	0.035	0.036	36.0	0.075	0.026	0.049	0.075	0.075	
10.5	0.075	0.000	0.036	0.036	0.035	36.5	0.075	0.026	0.049	0.075	0.074	
11.0	0.075	0.000	0.036	0.036	0.035	37.0	0.075	0.026	0.049	0.076	0.073	
11.5	0.075	0.000	0.036	0.036	0.035	37.5	0.075	0.027	0.049	0.076	0.073	
12.0	0.075	0.000	0.036	0.036	0.035	38.0	0.075	0.027	0.048	0.075	0.073	
12.5	0.075	0.000	0.037	0.037	0.035	38.5	0.075	0.027	0.048	0.075	0.073	
13.0	0.075	0.000	0.037	0.037	0.035	39.0	0.075	0.027	0.048	0.075	0.073	
13.5	0.075	0.000	0.039	0.040	0.036	39.5	0.075	0.026	0.048	0.075	0.073	
14.0	0.075	0.001	0.041	0.041	0.036	40.0	0.075	0.027	0.049	0.076	0.073	
14.5	0.075	0.001	0.041	0.043	0.038	40.5	0.075	0.026	0.049	0.075	0.073	
15.0	0.075	0.001	0.042	0.043	0.039	41.0	0.075	0.025	0.049	0.074	0.073	
15.5	0.075	0.002	0.042	0.044	0.040	41.5	0.075	0.025	0.049	0.074	0.074	
16.0	0.075	0.002	0.043	0.044	0.043	42.0	0.075	0.026	0.049	0.075	0.074	
16.5	0.075	0.003	0.043	0.046	0.045	42.5	0.075	0.025	0.049	0.074	0.074	
17.0	0.075	0.003	0.044	0.047	0.044	43.0	0.075	0.025	0.049	0.074	0.075	
17.5	0.075	0.003	0.044	0.047	0.044	43.5	0.075	0.026	0.049	0.074	0.074	
18.0	0.075	0.003	0.045	0.047	0.045	44.0	0.075	0.025	0.049	0.074	0.074	
18.5	0.075	0.005	0.046	0.051	0.045	44.5	0.075	0.025	0.049	0.073	0.075	
19.0	0.075	0.007	0.047	0.055	0.044	45.0	0.075	0.026	0.049	0.075	0.075	
19.5	0.075	0.009	0.048	0.057	0.047	45.5	0.075	0.025	0.049	0.074	0.075	
20.0	0.075	0.009	0.049	0.058	0.049	46.0	0.075	0.026	0.049	0.075	0.075	
20.5	0.075	0.009	0.049	0.058	0.052	46.5	0.075	0.026	0.049	0.075	0.074	
21.0	0.075	0.010	0.049	0.059	0.053	47.0	0.075	0.026	0.049	0.075	0.075	
21.5	0.075	0.010	0.050	0.060	0.055	47.5	0.075	0.026	0.049	0.075	0.075	
22.0	0.075	0.011	0.050	0.061	0.057	48.0	0.075	0.026	0.049	0.074	0.075	
22.5	0.075	0.009	0.050	0.059	0.057	48.5	0.075	0.026	0.049	0.075	0.075	
23.0	0.075	0.010	0.050	0.061	0.058	49.0	0.075	0.026	0.049	0.075	0.075	
23.5	0.075	0.014	0.051	0.064	0.058	49.5	0.075	0.026	0.049	0.075	0.075	
24.0	0.075	0.016	0.051	0.066	0.058	50.0	0.075	0.026	0.049	0.075	0.075	
24.5	0.075	0.017	0.051	0.069	0.060	PROM	0.075	0.026	0.049	0.075	0.074	
25.0	0.075	0.018	0.051	0.069	0.061							

RÉGIMEN PERMANENTE

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla G 2: Registro histórico de caudales de salida en las secciones de interés Prueba EA-2/Qi=0.100 [m3/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO												
ESCENARIO DE OPERACIÓN A						EA-2 CAUDAL DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL = 0.100 [m3/s]						
Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]		Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]
0.5	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000		26.0	0.100	0.041	0.054	0.095	0.093
1.0	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000		26.5	0.100	0.041	0.054	0.096	0.094
1.5	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000		27.0	0.100	0.042	0.054	0.096	0.094
2.5	0.100	0.000	0.064	0.064	0.000		28.0	0.100	0.042	0.054	0.097	0.095
3.0	0.100	0.000	0.058	0.058	0.015		28.5	0.100	0.042	0.055	0.097	0.096
3.5	0.100	0.000	0.056	0.056	0.033		29.0	0.100	0.043	0.055	0.097	0.096
4.0	0.100	0.000	0.053	0.053	0.036		29.5	0.100	0.043	0.055	0.098	0.096
5.0	0.100	0.000	0.046	0.046	0.034		30.5	0.100	0.043	0.055	0.098	0.097
5.5	0.100	0.000	0.045	0.045	0.038		31.0	0.100	0.043	0.055	0.098	0.097
6.0	0.100	0.000	0.043	0.043	0.040		31.5	0.100	0.044	0.055	0.099	0.097
6.5	0.100	0.000	0.043	0.043	0.043		32.0	0.100	0.043	0.055	0.099	0.097
7.0	0.100	0.000	0.043	0.043	0.042		32.5	0.100	0.043	0.055	0.099	0.098
7.5	0.100	0.000	0.043	0.042	0.041		33.0	0.100	0.043	0.055	0.099	0.098
8.0	0.100	0.000	0.042	0.042	0.041		33.5	0.100	0.044	0.055	0.099	0.098
8.5	0.100	0.000	0.042	0.042	0.040		34.0	0.100	0.044	0.055	0.099	0.098
9.0	0.100	0.000	0.042	0.043	0.040		34.5	0.100	0.044	0.055	0.099	0.098
9.5	0.100	0.001	0.043	0.044	0.041		35.0	0.100	0.044	0.055	0.099	0.099
10.0	0.100	0.001	0.043	0.044	0.041		35.5	0.100	0.044	0.055	0.099	0.098
10.5	0.100	0.000	0.043	0.043	0.042		36.0	0.100	0.044	0.056	0.100	0.099
11.0	0.100	0.002	0.043	0.045	0.044		36.5	0.100	0.044	0.056	0.100	0.099
11.5	0.100	0.009	0.046	0.054	0.045		37.0	0.100	0.044	0.056	0.100	0.099
12.0	0.100	0.014	0.047	0.061	0.043		37.5	0.100	0.044	0.056	0.100	0.099
12.5	0.100	0.019	0.047	0.067	0.048		38.0	0.100	0.044	0.056	0.100	0.099
13.0	0.100	0.023	0.045	0.069	0.053		38.5	0.100	0.044	0.056	0.100	0.099
13.5	0.100	0.026	0.045	0.071	0.058		39.0	0.100	0.044	0.055	0.100	0.099
14.0	0.100	0.027	0.045	0.072	0.063		39.5	0.100	0.044	0.055	0.100	0.099
14.5	0.100	0.027	0.046	0.073	0.067		40.0	0.100	0.044	0.056	0.100	0.099
15.0	0.100	0.027	0.048	0.075	0.070		40.5	0.100	0.045	0.056	0.100	0.099
15.5	0.100	0.028	0.047	0.075	0.071		41.0	0.100	0.045	0.056	0.100	0.099
16.0	0.100	0.029	0.049	0.078	0.073		41.5	0.100	0.044	0.056	0.100	0.099
16.5	0.100	0.033	0.049	0.083	0.073		42.0	0.100	0.045	0.056	0.100	0.099
17.0	0.100	0.034	0.050	0.084	0.075		42.5	0.100	0.045	0.056	0.100	0.099
17.5	0.100	0.034	0.051	0.085	0.078		43.0	0.100	0.045	0.056	0.100	0.099
18.0	0.100	0.035	0.051	0.086	0.079		43.5	0.100	0.044	0.056	0.100	0.099
18.5	0.100	0.034	0.052	0.086	0.082		44.0	0.100	0.045	0.056	0.100	0.099
19.0	0.100	0.035	0.052	0.087	0.083		44.5	0.100	0.044	0.056	0.100	0.099
19.5	0.100	0.035	0.052	0.088	0.083		45.0	0.100	0.045	0.056	0.100	0.099
20.0	0.100	0.036	0.053	0.089	0.084		45.5	0.100	0.044	0.056	0.100	0.099
20.5	0.100	0.037	0.053	0.090	0.085		46.0	0.100	0.045	0.056	0.100	0.099
21.0	0.100	0.038	0.053	0.091	0.086		46.5	0.100	0.045	0.055	0.100	0.099
21.5	0.100	0.039	0.053	0.092	0.087		47.0	0.100	0.045	0.056	0.100	0.099
22.0	0.100	0.039	0.053	0.092	0.088		47.5	0.100	0.045	0.056	0.100	0.099
22.5	0.100	0.039	0.054	0.093	0.090		48.0	0.100	0.045	0.055	0.100	0.099
23.0	0.100	0.040	0.054	0.093	0.092		48.5	0.100	0.045	0.055	0.100	0.099
23.5	0.100	0.040	0.054	0.093	0.092		49.0	0.100	0.045	0.055	0.100	0.099
24.0	0.100	0.040	0.054	0.094	0.092		49.5	0.100	0.045	0.056	0.101	0.100
24.5	0.100	0.040	0.054	0.094	0.092		50.0	0.100	0.045	0.055	0.100	0.099
25.0	0.100	0.041	0.054	0.095	0.093		PROM	0.100	0.044	0.056	0.100	0.099

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla G 3: Registro histórico de caudales de salida en las secciones de interés Prueba EA-3/Qi=0.125 [m3/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO												
ESCENARIO DE OPERACIÓN A						EA-3 CAUDAL DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL = 0.125 [m3/s]						
Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]		Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]
0.5	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000		26.0	0.125	0.067	0.056	0.123	0.122
1.0	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000		26.5	0.125	0.067	0.056	0.124	0.123
1.5	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000		27.0	0.125	0.067	0.056	0.124	0.123
2.5	0.125	0.001	0.063	0.065	0.000		28.0	0.125	0.068	0.056	0.124	0.123
3.5	0.125	0.001	0.055	0.056	0.039		29.0	0.125	0.068	0.056	0.124	0.123
4.0	0.125	0.000	0.057	0.057	0.040		29.5	0.125	0.068	0.056	0.124	0.124
4.5	0.125	0.002	0.054	0.055	0.049		30.0	0.125	0.068	0.056	0.124	0.124
5.0	0.125	0.000	0.051	0.051	0.043		30.5	0.125	0.068	0.056	0.124	0.123
5.5	0.125	0.003	0.050	0.053	0.047		31.0	0.125	0.068	0.056	0.124	0.124
6.0	0.125	0.003	0.048	0.050	0.041		31.5	0.125	0.069	0.056	0.124	0.124
6.5	0.125	0.003	0.048	0.051	0.048		32.0	0.125	0.069	0.056	0.125	0.124
7.0	0.125	0.004	0.047	0.052	0.047		32.5	0.125	0.069	0.056	0.125	0.124
7.5	0.125	0.006	0.047	0.053	0.049		33.0	0.125	0.069	0.056	0.125	0.124
8.0	0.125	0.006	0.047	0.053	0.048		33.5	0.125	0.069	0.056	0.125	0.124
8.5	0.125	0.007	0.046	0.053	0.048		34.0	0.125	0.069	0.056	0.125	0.125
9.0	0.125	0.007	0.046	0.052	0.050		34.5	0.125	0.069	0.056	0.125	0.124
9.5	0.125	0.008	0.045	0.053	0.052		35.0	0.125	0.069	0.056	0.125	0.125
10.0	0.125	0.019	0.048	0.067	0.051		35.5	0.125	0.069	0.056	0.125	0.124
10.5	0.125	0.028	0.049	0.077	0.052		36.0	0.125	0.069	0.056	0.125	0.125
11.0	0.125	0.036	0.050	0.086	0.058		36.5	0.125	0.069	0.056	0.125	0.125
11.5	0.125	0.040	0.050	0.090	0.068		37.0	0.125	0.069	0.056	0.125	0.124
12.0	0.125	0.043	0.050	0.094	0.078		37.5	0.125	0.069	0.056	0.125	0.124
12.5	0.125	0.044	0.050	0.095	0.083		38.0	0.125	0.069	0.056	0.125	0.124
13.0	0.125	0.044	0.051	0.096	0.087		38.5	0.125	0.069	0.055	0.124	0.124
13.5	0.125	0.045	0.052	0.097	0.091		39.0	0.125	0.069	0.055	0.125	0.125
14.0	0.125	0.047	0.053	0.100	0.092		39.5	0.125	0.070	0.056	0.125	0.125
14.5	0.125	0.050	0.054	0.104	0.093		40.0	0.125	0.070	0.056	0.125	0.125
15.0	0.125	0.053	0.054	0.107	0.095		40.5	0.125	0.069	0.056	0.125	0.124
15.5	0.125	0.055	0.055	0.109	0.099		41.0	0.125	0.070	0.056	0.125	0.125
16.0	0.125	0.056	0.055	0.111	0.101		41.5	0.125	0.069	0.056	0.125	0.124
16.5	0.125	0.057	0.055	0.112	0.106		42.0	0.125	0.070	0.056	0.125	0.124
17.0	0.125	0.058	0.055	0.113	0.108		42.5	0.125	0.069	0.056	0.125	0.124
17.5	0.125	0.058	0.055	0.114	0.109		43.0	0.125	0.069	0.056	0.125	0.124
18.0	0.125	0.059	0.056	0.115	0.110		43.5	0.125	0.069	0.056	0.125	0.125
18.5	0.125	0.061	0.056	0.116	0.111		44.0	0.125	0.069	0.056	0.125	0.126
19.0	0.125	0.062	0.056	0.118	0.113		44.5	0.125	0.069	0.056	0.125	0.124
19.5	0.125	0.063	0.056	0.119	0.114		45.0	0.125	0.069	0.056	0.125	0.125
20.0	0.125	0.063	0.056	0.119	0.116		45.5	0.125	0.069	0.056	0.125	0.125
20.5	0.125	0.064	0.056	0.120	0.117		46.0	0.125	0.069	0.056	0.125	0.124
21.0	0.125	0.064	0.056	0.120	0.119		46.5	0.125	0.069	0.056	0.125	0.124
21.5	0.125	0.064	0.056	0.121	0.118		47.0	0.125	0.069	0.056	0.125	0.125
22.0	0.125	0.065	0.056	0.121	0.120		47.5	0.125	0.069	0.056	0.125	0.125
22.5	0.125	0.065	0.056	0.122	0.120		48.0	0.125	0.069	0.056	0.125	0.123
23.0	0.125	0.066	0.056	0.122	0.120		48.5	0.125	0.070	0.056	0.125	0.124
23.5	0.125	0.066	0.056	0.122	0.120		49.0	0.125	0.069	0.056	0.125	0.125
24.0	0.125	0.066	0.056	0.122	0.120		49.5	0.125	0.069	0.056	0.125	0.124
24.5	0.125	0.067	0.056	0.123	0.122		50.0	0.125	0.069	0.056	0.125	0.125
25.0	0.125	0.067	0.056	0.123	0.121		PROM	0.125	0.069	0.056	0.125	0.124

RÉGIMEN PERMANENTE

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla G 4: Registro histórico de caudales de salida en las secciones de interés Prueba EA-4/ $Q_i=0.150$ [m³/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO												
ESCENARIO DE OPERACIÓN A						PRUEBA: EA-4 (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.150 [m ³ /s])						
Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qa+Qb [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]		Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qa+Qb [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]
0.5	0.150	0.000	0.000	0.000	0.000		26.0	0.150	0.093	0.056	0.149	0.147
1.0	0.150	0.000	0.000	0.000	0.000		26.5	0.150	0.094	0.056	0.150	0.148
1.5	0.150	0.000	0.035	0.035	0.000		27.0	0.150	0.093	0.056	0.150	0.147
2.5	0.150	0.009	0.064	0.072	0.000		28.0	0.150	0.094	0.056	0.150	0.148
3.5	0.150	0.008	0.057	0.065	0.051		29.0	0.150	0.094	0.056	0.150	0.148
4.0	0.150	0.009	0.057	0.066	0.050		29.5	0.150	0.094	0.056	0.150	0.148
4.5	0.150	0.008	0.056	0.063	0.040		30.0	0.150	0.094	0.056	0.150	0.149
5.0	0.150	0.011	0.052	0.063	0.050		30.5	0.150	0.094	0.056	0.150	0.149
5.5	0.150	0.009	0.050	0.059	0.050		31.0	0.150	0.095	0.056	0.150	0.149
6.0	0.150	0.012	0.050	0.062	0.058		31.5	0.150	0.095	0.056	0.150	0.149
6.5	0.150	0.014	0.049	0.063	0.059		32.0	0.150	0.095	0.056	0.150	0.150
7.0	0.150	0.017	0.049	0.065	0.059		32.5	0.150	0.095	0.056	0.150	0.150
7.5	0.150	0.018	0.048	0.066	0.061		33.0	0.150	0.095	0.056	0.150	0.150
8.0	0.150	0.018	0.048	0.066	0.062		33.5	0.150	0.095	0.056	0.150	0.150
8.5	0.150	0.020	0.048	0.068	0.063		34.0	0.150	0.095	0.056	0.150	0.151
9.0	0.150	0.030	0.050	0.080	0.064		34.5	0.150	0.095	0.056	0.151	0.150
9.5	0.150	0.043	0.051	0.095	0.065		35.0	0.150	0.095	0.056	0.151	0.150
10.0	0.150	0.054	0.051	0.105	0.071		35.5	0.150	0.095	0.056	0.150	0.150
10.5	0.150	0.060	0.052	0.113	0.084		36.0	0.150	0.095	0.056	0.150	0.150
11.0	0.150	0.064	0.053	0.117	0.095		36.5	0.150	0.095	0.056	0.150	0.150
11.5	0.150	0.066	0.053	0.119	0.106		37.0	0.150	0.095	0.056	0.150	0.150
12.0	0.150	0.067	0.054	0.121	0.112		37.5	0.150	0.094	0.056	0.150	0.150
12.5	0.150	0.068	0.055	0.123	0.115		38.0	0.150	0.094	0.056	0.150	0.150
13.0	0.150	0.071	0.055	0.127	0.116		38.5	0.150	0.094	0.056	0.150	0.150
13.5	0.150	0.073	0.056	0.129	0.118		39.0	0.150	0.094	0.056	0.150	0.150
14.0	0.150	0.076	0.056	0.132	0.122		39.5	0.150	0.094	0.056	0.150	0.150
14.5	0.150	0.079	0.057	0.136	0.125		40.0	0.150	0.094	0.056	0.150	0.150
15.0	0.150	0.080	0.057	0.137	0.129		40.5	0.150	0.094	0.056	0.150	0.150
15.5	0.150	0.082	0.057	0.138	0.131		41.0	0.150	0.094	0.056	0.150	0.150
16.0	0.150	0.082	0.057	0.139	0.133		41.5	0.150	0.094	0.056	0.150	0.150
16.5	0.150	0.083	0.057	0.140	0.135		42.0	0.150	0.094	0.056	0.150	0.150
17.0	0.150	0.084	0.057	0.141	0.136		42.5	0.150	0.094	0.056	0.150	0.150
17.5	0.150	0.085	0.057	0.143	0.138		43.0	0.150	0.094	0.056	0.150	0.149
18.0	0.150	0.087	0.057	0.144	0.139		43.5	0.150	0.094	0.056	0.150	0.149
18.5	0.150	0.087	0.057	0.144	0.141		44.0	0.150	0.094	0.056	0.150	0.149
19.0	0.150	0.087	0.057	0.145	0.143		44.5	0.150	0.094	0.056	0.150	0.149
19.5	0.150	0.088	0.057	0.145	0.143		45.0	0.150	0.094	0.056	0.150	0.149
20.0	0.150	0.088	0.057	0.145	0.144		45.5	0.150	0.094	0.056	0.150	0.149
20.5	0.150	0.089	0.057	0.146	0.144		46.0	0.150	0.094	0.056	0.150	0.149
21.0	0.150	0.089	0.057	0.147	0.145		46.5	0.150	0.094	0.056	0.150	0.149
21.5	0.150	0.090	0.057	0.147	0.146		47.0	0.150	0.094	0.056	0.150	0.149
22.0	0.150	0.090	0.057	0.148	0.145		47.5	0.150	0.094	0.056	0.150	0.149
22.5	0.150	0.091	0.057	0.148	0.147		48.0	0.150	0.094	0.056	0.150	0.149
23.0	0.150	0.091	0.057	0.148	0.148		48.5	0.150	0.094	0.056	0.150	0.149
23.5	0.150	0.091	0.057	0.148	0.147		49.0	0.150	0.094	0.056	0.150	0.149
24.0	0.150	0.092	0.057	0.149	0.147		49.5	0.150	0.094	0.056	0.150	0.149
24.5	0.150	0.092	0.057	0.149	0.146		50.0	0.150	0.094	0.056	0.150	0.149
25.0	0.150	0.092	0.057	0.149	0.146		PROM	0.150	0.094	0.056	0.150	0.150

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla G 5: Registro histórico de caudales de salida en las secciones de interés Prueba EA-5/Qi=0.175 [m3/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO												
ESCENARIO DE OPERACIÓN A						PRUEBA: EA-5 (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.175 [m3/s])						
Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]		Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]
0.5	0.175	0.000	0.000	0.000	0.000		26.0	0.175	0.119	0.056	0.175	0.174
1.5	0.175	0.000	0.049	0.049	0.000		27.0	0.175	0.119	0.057	0.176	0.174
2.0	0.175	0.001	0.074	0.075	0.000		27.5	0.175	0.119	0.056	0.175	0.174
2.5	0.175	0.015	0.063	0.078	0.001		28.0	0.175	0.119	0.056	0.175	0.174
3.5	0.175	0.026	0.057	0.083	0.035		29.0	0.175	0.119	0.056	0.175	0.173
4.0	0.175	0.021	0.060	0.081	0.050		29.5	0.175	0.119	0.056	0.175	0.173
4.5	0.175	0.020	0.054	0.074	0.055		30.0	0.175	0.119	0.056	0.174	0.173
5.0	0.175	0.019	0.055	0.074	0.066		30.5	0.175	0.119	0.056	0.174	0.173
5.5	0.175	0.024	0.054	0.078	0.069		31.0	0.175	0.119	0.056	0.174	0.173
6.0	0.175	0.027	0.053	0.080	0.072		31.5	0.175	0.119	0.056	0.174	0.173
6.5	0.175	0.030	0.053	0.082	0.074		32.0	0.175	0.119	0.056	0.175	0.173
7.0	0.175	0.033	0.052	0.085	0.075		32.5	0.175	0.119	0.056	0.175	0.173
7.5	0.175	0.033	0.051	0.084	0.078		33.0	0.175	0.119	0.056	0.175	0.174
8.0	0.175	0.033	0.051	0.084	0.081		33.5	0.175	0.119	0.056	0.175	0.173
8.5	0.175	0.041	0.052	0.093	0.080		34.0	0.175	0.119	0.056	0.175	0.173
9.0	0.175	0.057	0.054	0.111	0.082		34.5	0.175	0.119	0.056	0.175	0.173
9.5	0.175	0.071	0.055	0.125	0.087		35.0	0.175	0.119	0.056	0.175	0.173
10.0	0.175	0.081	0.055	0.136	0.102		35.5	0.175	0.119	0.056	0.175	0.173
10.5	0.175	0.087	0.055	0.142	0.118		36.0	0.175	0.119	0.056	0.175	0.174
11.0	0.175	0.090	0.056	0.145	0.134		36.5	0.175	0.119	0.056	0.175	0.173
11.5	0.175	0.091	0.056	0.147	0.141		37.0	0.175	0.119	0.056	0.175	0.174
12.0	0.175	0.092	0.057	0.149	0.146		37.5	0.175	0.119	0.056	0.175	0.174
12.5	0.175	0.094	0.057	0.152	0.145		38.0	0.175	0.119	0.056	0.175	0.173
13.0	0.175	0.098	0.058	0.156	0.147		38.5	0.175	0.119	0.056	0.175	0.174
13.5	0.175	0.101	0.058	0.159	0.148		39.0	0.175	0.119	0.056	0.175	0.174
14.0	0.175	0.104	0.058	0.162	0.151		39.5	0.175	0.119	0.056	0.175	0.175
14.5	0.175	0.106	0.058	0.164	0.156		40.0	0.175	0.119	0.056	0.175	0.174
15.0	0.175	0.106	0.059	0.165	0.156		40.5	0.175	0.119	0.056	0.175	0.174
15.5	0.175	0.108	0.059	0.167	0.159		41.0	0.175	0.119	0.056	0.175	0.174
16.0	0.175	0.109	0.058	0.167	0.161		41.5	0.175	0.119	0.056	0.175	0.174
16.5	0.175	0.109	0.058	0.167	0.170		42.0	0.175	0.119	0.056	0.175	0.175
17.0	0.175	0.110	0.058	0.168	0.173		42.5	0.175	0.119	0.056	0.175	0.174
17.5	0.175	0.111	0.058	0.169	0.178		43.0	0.175	0.119	0.056	0.175	0.174
18.0	0.175	0.112	0.058	0.170	0.180		43.5	0.175	0.119	0.056	0.175	0.174
18.5	0.175	0.113	0.058	0.171	0.180		44.0	0.175	0.119	0.056	0.175	0.175
19.0	0.175	0.114	0.058	0.172	0.180		44.5	0.175	0.119	0.056	0.175	0.173
19.5	0.175	0.114	0.058	0.172	0.177		45.0	0.175	0.119	0.056	0.175	0.174
20.0	0.175	0.115	0.058	0.173	0.177		45.5	0.175	0.118	0.056	0.174	0.173
20.5	0.175	0.116	0.058	0.173	0.175		46.0	0.175	0.118	0.056	0.174	0.172
21.0	0.175	0.116	0.058	0.173	0.174		46.5	0.175	0.119	0.056	0.175	0.172
21.5	0.175	0.116	0.058	0.174	0.175		47.0	0.175	0.119	0.056	0.175	0.173
22.0	0.175	0.116	0.057	0.174	0.173		47.5	0.175	0.119	0.056	0.174	0.174
22.5	0.175	0.117	0.057	0.174	0.172		48.0	0.175	0.119	0.056	0.174	0.174
23.0	0.175	0.117	0.057	0.175	0.173		48.5	0.175	0.119	0.056	0.175	0.173
23.5	0.175	0.118	0.057	0.175	0.174		49.0	0.175	0.119	0.056	0.175	0.173
24.0	0.175	0.118	0.057	0.175	0.174		49.5	0.175	0.119	0.056	0.174	0.172
24.5	0.175	0.118	0.056	0.175	0.174		50.0	0.175	0.119	0.056	0.174	0.173
25.0	0.175	0.119	0.056	0.175	0.174		PROM	0.175	0.119	0.056	0.175	0.173

RÉGIMEN PERMANENTE

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla G 6: Registro histórico de caudales de salida en las secciones de interés Prueba EA-6/Qi=0.200 [m3/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO												
ESCENARIO DE OPERACIÓN A						PRUEBA: EA-6 (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.200 [m3/s])						
Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]		Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]
0.5	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000		26.0	0.200	0.144	0.056	0.201	0.198
1.0	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000		26.5	0.200	0.145	0.056	0.201	0.199
2.0	0.200	0.004	0.073	0.077	0.000		27.5	0.200	0.145	0.056	0.201	0.199
2.5	0.200	0.024	0.065	0.089	0.032		28.0	0.200	0.145	0.056	0.201	0.201
3.5	0.200	0.044	0.057	0.102	0.042		29.0	0.200	0.145	0.056	0.201	0.200
4.0	0.200	0.044	0.054	0.098	0.055		29.5	0.200	0.144	0.056	0.200	0.201
4.5	0.200	0.033	0.058	0.092	0.068		30.0	0.200	0.144	0.056	0.200	0.201
5.0	0.200	0.039	0.058	0.097	0.074		30.5	0.200	0.144	0.056	0.200	0.200
5.5	0.200	0.041	0.057	0.098	0.083		31.0	0.200	0.144	0.056	0.200	0.200
6.0	0.200	0.045	0.056	0.101	0.091		31.5	0.200	0.144	0.056	0.200	0.200
6.5	0.200	0.050	0.056	0.106	0.093		32.0	0.200	0.144	0.056	0.200	0.199
7.0	0.200	0.053	0.055	0.108	0.097		32.5	0.200	0.144	0.056	0.200	0.200
7.5	0.200	0.052	0.054	0.107	0.100		33.0	0.200	0.144	0.056	0.200	0.201
8.0	0.200	0.053	0.054	0.107	0.101		33.5	0.200	0.144	0.056	0.200	0.199
8.5	0.200	0.068	0.056	0.124	0.104		34.0	0.200	0.144	0.056	0.200	0.201
9.0	0.200	0.085	0.057	0.142	0.105		34.5	0.200	0.144	0.056	0.200	0.200
9.5	0.200	0.097	0.057	0.155	0.118		35.0	0.200	0.144	0.056	0.200	0.198
10.0	0.200	0.106	0.057	0.163	0.136		35.5	0.200	0.144	0.056	0.200	0.201
10.5	0.200	0.110	0.057	0.167	0.153		36.0	0.200	0.144	0.056	0.200	0.201
11.0	0.200	0.114	0.057	0.172	0.162		36.5	0.200	0.144	0.056	0.200	0.200
11.5	0.200	0.116	0.058	0.173	0.167		37.0	0.200	0.144	0.056	0.200	0.200
12.0	0.200	0.117	0.058	0.176	0.169		37.5	0.200	0.144	0.056	0.200	0.201
12.5	0.200	0.120	0.059	0.179	0.172		38.0	0.200	0.144	0.056	0.200	0.200
13.0	0.200	0.125	0.059	0.184	0.179		38.5	0.200	0.144	0.056	0.200	0.200
13.5	0.200	0.128	0.059	0.187	0.185		39.0	0.200	0.144	0.056	0.200	0.200
14.0	0.200	0.130	0.059	0.189	0.193		39.5	0.200	0.144	0.056	0.200	0.200
14.5	0.200	0.131	0.059	0.190	0.198		40.0	0.200	0.144	0.056	0.200	0.201
15.0	0.200	0.134	0.059	0.193	0.194		40.5	0.200	0.144	0.056	0.200	0.200
15.5	0.200	0.135	0.058	0.194	0.192		41.0	0.200	0.144	0.056	0.200	0.200
16.0	0.200	0.136	0.058	0.194	0.190		41.5	0.200	0.144	0.056	0.200	0.200
16.5	0.200	0.137	0.058	0.194	0.194		42.0	0.200	0.144	0.056	0.200	0.199
17.0	0.200	0.138	0.057	0.195	0.194		42.5	0.200	0.144	0.056	0.200	0.200
17.5	0.200	0.138	0.057	0.195	0.196		43.0	0.200	0.144	0.056	0.200	0.200
18.0	0.200	0.139	0.057	0.196	0.199		43.5	0.200	0.144	0.056	0.200	0.199
18.5	0.200	0.140	0.057	0.197	0.195		44.0	0.200	0.144	0.056	0.200	0.200
19.0	0.200	0.140	0.057	0.197	0.196		44.5	0.200	0.143	0.056	0.199	0.199
19.5	0.200	0.141	0.057	0.198	0.197		45.0	0.200	0.143	0.056	0.200	0.200
20.0	0.200	0.142	0.057	0.198	0.197		45.5	0.200	0.144	0.056	0.199	0.197
20.5	0.200	0.142	0.057	0.199	0.196		46.0	0.200	0.144	0.056	0.199	0.197
21.0	0.200	0.143	0.057	0.199	0.195		46.5	0.200	0.144	0.056	0.199	0.199
21.5	0.200	0.143	0.057	0.200	0.196		47.0	0.200	0.144	0.056	0.200	0.200
22.0	0.200	0.143	0.057	0.200	0.195		47.5	0.200	0.144	0.056	0.199	0.200
22.5	0.200	0.144	0.056	0.200	0.196		48.0	0.200	0.144	0.056	0.200	0.200
23.0	0.200	0.144	0.056	0.200	0.196		48.5	0.200	0.144	0.056	0.200	0.197
23.5	0.200	0.144	0.056	0.201	0.197		49.0	0.200	0.144	0.056	0.200	0.198
24.0	0.200	0.144	0.056	0.201	0.197		49.5	0.200	0.144	0.056	0.200	0.197
24.5	0.200	0.145	0.056	0.201	0.198		50.0	0.200	0.144	0.056	0.200	0.200
25.0	0.200	0.145	0.056	0.201	0.198		PROM	0.200	0.144	0.056	0.200	0.200

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

ANEXO H: REGISTROS DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN “A”.

Tabla H 1: Registro de la variación temporal del calado de aproximación y la carga sobre el vertedero en la sección de interés / Prueba EA-1/ $Q_i=0.075$ [m³/s].

VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y DE LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO (75 cm AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO)						
ESCENARIO DE OPERACIÓN A			PRUEBA: EA-1 (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.075 [m ³ /s])			
Time [s]	y [m]	h [m]		Time [s]	y [m]	h [m]
0.50	0.000			26.00	0.410	0.071
1.00	0.000			26.50	0.412	0.073
2.00	0.052			27.50	0.417	0.078
2.50	0.064			28.00	0.419	0.080
3.00	0.076			28.50	0.421	0.082
3.50	0.075			29.00	0.423	0.084
4.50	0.140			30.00	0.423	0.084
5.50	0.228			31.00	0.425	0.086
6.50	0.258			32.00	0.426	0.087
7.00	0.266			32.50	0.427	0.088
7.50	0.271			33.00	0.428	0.089
8.00	0.276			33.50	0.427	0.088
8.50	0.278			34.00	0.425	0.086
9.00	0.280			34.50	0.426	0.087
9.50	0.279			35.00	0.427	0.088
10.00	0.278			35.50	0.428	0.089
10.50	0.279			36.00	0.428	0.089
11.00	0.279			36.50	0.430	0.091
11.50	0.281			37.00	0.431	0.092
12.00	0.283			37.50	0.431	0.092
12.50	0.291			38.00	0.430	0.091
13.00	0.298			38.50	0.430	0.091
13.50	0.313			39.00	0.429	0.090
14.00	0.327			39.50	0.430	0.091
14.50	0.337			40.00	0.430	0.091
15.00	0.347	0.008		40.50	0.430	0.091
15.50	0.350	0.011		41.00	0.429	0.090
16.00	0.352	0.013		41.50	0.430	0.091
16.50	0.354	0.015		42.00	0.431	0.092
17.00	0.355	0.016		42.50	0.430	0.091
17.50	0.358	0.019		43.00	0.429	0.090
18.00	0.360	0.021		43.50	0.428	0.089
18.50	0.367	0.028		44.00	0.427	0.088
19.00	0.373	0.034		44.50	0.427	0.088
19.50	0.377	0.038		45.00	0.427	0.088
20.00	0.381	0.042		45.50	0.430	0.091
20.50	0.383	0.044		46.00	0.432	0.093
21.00	0.384	0.045		46.50	0.432	0.093
21.50	0.385	0.046		47.00	0.432	0.093
22.00	0.386	0.047		47.50	0.432	0.093
22.50	0.389	0.050		48.00	0.431	0.092
23.00	0.391	0.052		48.50	0.433	0.094
23.50	0.397	0.058		49.00	0.435	0.096
24.00	0.403	0.064		49.50	0.436	0.097
24.50	0.405	0.066		50.00	0.437	0.098
25.00	0.407	0.068		PROM	0.430	0.091

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla H 2: Registro de la variación temporal del calado de aproximación y la carga sobre el vertedero en la sección de interés / Prueba EA-2/ $Q_i=0.100$ [m³/s].

VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y DE LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO (75 cm AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO)						
ESCENARIO NORMAL			PRUEBA: EA-2 (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.100 [m ³ /s])			
Time [s]	y [m]	h [m]		Time [s]	y [m]	h [m]
0.50	0.000			26.00	0.453	0.114
1.00	0.000			26.50	0.453	0.114
1.50	0.034			27.00	0.453	0.114
2.00	0.067			27.50	0.453	0.114
3.00	0.088			28.50	0.454	0.115
3.50	0.159			29.00	0.454	0.115
4.00	0.231			29.50	0.454	0.115
4.50	0.257			30.00	0.454	0.115
5.00	0.283			30.50	0.455	0.116
5.50	0.299			31.00	0.455	0.116
6.00	0.314			31.50	0.455	0.116
6.50	0.320			32.00	0.455	0.116
7.00	0.325			32.50	0.455	0.116
7.50	0.327			33.00	0.455	0.116
8.00	0.329			33.50	0.456	0.117
8.50	0.333			34.00	0.457	0.118
9.00	0.336			34.50	0.456	0.117
9.50	0.341	0.002		35.00	0.455	0.116
10.00	0.345	0.006		35.50	0.456	0.117
10.50	0.354	0.015		36.00	0.456	0.117
11.00	0.363	0.024		36.50	0.457	0.118
11.50	0.383	0.044		37.00	0.457	0.118
12.00	0.403	0.064		37.50	0.457	0.118
12.50	0.415	0.076		38.00	0.457	0.118
13.00	0.427	0.088		38.50	0.457	0.118
13.50	0.431	0.092		39.00	0.457	0.118
14.00	0.434	0.095		39.50	0.457	0.118
14.50	0.433	0.094		40.00	0.456	0.117
15.00	0.432	0.093		40.50	0.458	0.119
15.50	0.431	0.092		41.00	0.460	0.121
16.00	0.429	0.090		41.50	0.459	0.120
16.50	0.436	0.097		42.00	0.457	0.118
17.00	0.442	0.103		42.50	0.457	0.118
17.50	0.443	0.104		43.00	0.457	0.118
18.00	0.444	0.105		43.50	0.457	0.118
18.50	0.445	0.106		44.00	0.456	0.117
19.00	0.445	0.106		44.50	0.456	0.117
19.50	0.446	0.107		45.00	0.456	0.117
20.00	0.447	0.108		45.50	0.457	0.118
20.50	0.448	0.109		46.00	0.457	0.118
21.00	0.449	0.110		46.50	0.458	0.119
21.50	0.450	0.111		47.00	0.458	0.119
22.00	0.450	0.111		47.50	0.458	0.119
22.50	0.451	0.112		48.00	0.458	0.119
23.00	0.451	0.112		48.50	0.458	0.119
23.50	0.451	0.112		49.00	0.458	0.119
24.00	0.451	0.112		49.50	0.458	0.119
24.50	0.452	0.113		50.00	0.457	0.118
25.00	0.452	0.113		PROM	0.457	0.118

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla H 3: Registro de la variación temporal del calado de aproximación y la carga sobre el vertedero en la sección de interés / Prueba EA-3/ $Q_i=0.125$ [m³/s].

VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y DE LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO (75 cm AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO)						
ESCENARIO NORMAL			PRUEBA: EN-3 (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.125[m ³ /s])			
Time [s]	y [m]	h [m]		Time [s]	y [m]	h [m]
0.50	0.000			26.00	0.492	0.153
1.00	0.000			26.50	0.492	0.153
1.50	0.042			27.00	0.492	0.153
2.00	0.084			27.50	0.492	0.153
2.50	0.094			28.00	0.492	0.153
4.00	0.283			29.50	0.493	0.154
4.50	0.307			30.00	0.493	0.154
5.00	0.330			30.50	0.493	0.154
5.50	0.345	0.006		31.00	0.493	0.154
6.00	0.360	0.021		31.50	0.493	0.154
6.50	0.367	0.028		32.00	0.493	0.154
7.00	0.374	0.035		32.50	0.493	0.154
7.50	0.377	0.038		33.00	0.493	0.154
8.00	0.379	0.040		33.50	0.493	0.154
8.50	0.379	0.040		34.00	0.493	0.154
9.00	0.378	0.039		34.50	0.493	0.154
9.50	0.397	0.057		35.00	0.493	0.154
10.00	0.415	0.076		35.50	0.493	0.154
10.50	0.434	0.095		36.00	0.493	0.154
11.00	0.452	0.113		36.50	0.493	0.154
11.50	0.457	0.118		37.00	0.493	0.154
12.00	0.462	0.123		37.50	0.493	0.154
12.50	0.463	0.124		38.00	0.493	0.154
13.00	0.463	0.124		38.50	0.493	0.154
13.50	0.466	0.127		39.00	0.493	0.154
14.00	0.468	0.129		39.50	0.493	0.154
14.50	0.472	0.133		40.00	0.492	0.153
15.00	0.476	0.137		40.50	0.493	0.154
15.50	0.479	0.140		41.00	0.493	0.154
16.00	0.481	0.142		41.50	0.493	0.154
16.50	0.482	0.143		42.00	0.493	0.154
17.00	0.483	0.144		42.50	0.493	0.154
17.50	0.484	0.145		43.00	0.493	0.154
18.00	0.485	0.146		43.50	0.493	0.154
18.50	0.487	0.148		44.00	0.493	0.154
19.00	0.488	0.149		44.50	0.493	0.154
19.50	0.489	0.150		45.00	0.493	0.154
20.00	0.490	0.151		45.50	0.493	0.154
20.50	0.491	0.152		46.00	0.493	0.154
21.00	0.491	0.152		46.50	0.493	0.154
21.50	0.491	0.152		47.00	0.493	0.154
22.00	0.491	0.152		47.50	0.493	0.154
22.50	0.491	0.152		48.00	0.493	0.154
23.00	0.491	0.152		48.50	0.493	0.154
23.50	0.492	0.153		49.00	0.493	0.154
24.00	0.492	0.153		49.50	0.493	0.154
24.50	0.492	0.153		50.00	0.493	0.154
25.00	0.492	0.153		PROM	0.493	0.154

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla H 4: Registro de la variación temporal del calado de aproximación y la carga sobre el vertedero en la sección de interés / Prueba EA-4/ $Q_i=0.150$ [m³/s].

VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y DE LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO (75 cm AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO)						
ESCENARIO NORMAL			PRUEBA: EN-4 (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.150[m ³ /s])			
Time [s]	y [m]	h [m]		Time [s]	y [m]	h [m]
0.50	0.000			26.00	0.523	0.184
1.00	0.000			26.50	0.523	0.184
1.50	0.043			27.00	0.523	0.184
2.00	0.086			27.50	0.523	0.184
2.50	0.125			28.00	0.523	0.184
3.50	0.251			29.00	0.523	0.184
4.00	0.338			29.50	0.523	0.184
4.50	0.360	0.021		30.00	0.523	0.184
5.00	0.382	0.043		30.50	0.523	0.184
5.50	0.393	0.054		31.00	0.523	0.184
6.00	0.403	0.064		31.50	0.523	0.184
6.50	0.410	0.071		32.00	0.523	0.184
7.00	0.416	0.077		32.50	0.523	0.184
7.50	0.417	0.078		33.00	0.522	0.183
8.00	0.417	0.078		33.50	0.522	0.183
8.50	0.432	0.093		34.00	0.522	0.183
9.00	0.447	0.108		34.50	0.522	0.183
9.50	0.465	0.126		35.00	0.522	0.183
10.00	0.483	0.144		35.50	0.522	0.183
10.50	0.490	0.151		36.00	0.521	0.182
11.00	0.497	0.158		36.50	0.521	0.182
11.50	0.499	0.160		37.00	0.521	0.182
12.00	0.500	0.161		37.50	0.521	0.182
12.50	0.503	0.164		38.00	0.521	0.182
13.00	0.505	0.166		38.50	0.521	0.182
13.50	0.509	0.170		39.00	0.521	0.182
14.00	0.512	0.173		39.50	0.521	0.182
14.50	0.514	0.175		40.00	0.521	0.182
15.00	0.516	0.177		40.50	0.521	0.182
15.50	0.517	0.178		41.00	0.521	0.182
16.00	0.517	0.178		41.50	0.521	0.182
16.50	0.518	0.179		42.00	0.521	0.182
17.00	0.519	0.180		42.50	0.521	0.182
17.50	0.521	0.182		43.00	0.521	0.182
18.00	0.522	0.183		43.50	0.521	0.182
18.50	0.522	0.183		44.00	0.521	0.182
19.00	0.522	0.183		44.50	0.521	0.182
19.50	0.522	0.183		45.00	0.521	0.182
20.00	0.522	0.183		45.50	0.521	0.182
20.50	0.523	0.184		46.00	0.521	0.182
21.00	0.524	0.185		46.50	0.521	0.182
21.50	0.524	0.185		47.00	0.521	0.182
22.00	0.523	0.184		47.50	0.521	0.182
22.50	0.523	0.184		48.00	0.521	0.182
23.00	0.523	0.184		48.50	0.521	0.182
23.50	0.523	0.184		49.00	0.521	0.182
24.00	0.523	0.184		49.50	0.521	0.182
24.50	0.523	0.184		50.00	0.521	0.182
25.00	0.523	0.184		PROM	0.521	0.182

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla H 5: Registro de la variación temporal del calado de aproximación y la carga sobre el vertedero en la sección de interés / Prueba EA-5/ $Q_i=0.175$ [m³/s].

VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y DE LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO (75 cm AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO)						
ESCENARIO NORMAL			PRUEBA: EN-5 (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.175[m ³ /s])			
Time [s]	y [m]	h [m]		Time [s]	y [m]	h [m]
0.50	0.000			26.00	0.550	0.211
1.00	0.000			26.50	0.550	0.211
1.50	0.051			27.00	0.550	0.211
2.00	0.101			27.50	0.550	0.211
2.50	0.162			28.00	0.550	0.211
3.50	0.302			29.00	0.550	0.211
4.00	0.382	0.043		29.50	0.550	0.211
4.50	0.402	0.063		30.00	0.549	0.210
5.00	0.422	0.083		30.50	0.549	0.210
5.50	0.433	0.094		31.00	0.549	0.210
6.00	0.443	0.104		31.50	0.549	0.210
6.50	0.447	0.108		32.00	0.549	0.210
7.00	0.451	0.112		32.50	0.549	0.210
7.50	0.452	0.113		33.00	0.549	0.210
8.00	0.453	0.114		33.50	0.549	0.210
8.50	0.472	0.133		34.00	0.549	0.210
9.00	0.490	0.151		34.50	0.549	0.210
9.50	0.506	0.167		35.00	0.549	0.210
10.00	0.521	0.182		35.50	0.549	0.210
10.50	0.526	0.187		36.00	0.549	0.210
11.00	0.530	0.191		36.50	0.549	0.210
11.50	0.532	0.193		37.00	0.549	0.210
12.00	0.534	0.195		37.50	0.549	0.210
12.50	0.538	0.199		38.00	0.549	0.210
13.00	0.541	0.202		38.50	0.550	0.211
13.50	0.544	0.205		39.00	0.550	0.211
14.00	0.547	0.208		39.50	0.550	0.211
14.50	0.548	0.209		40.00	0.549	0.210
15.00	0.549	0.210		40.50	0.550	0.211
15.50	0.549	0.210		41.00	0.550	0.211
16.00	0.549	0.210		41.50	0.550	0.211
16.50	0.550	0.211		42.00	0.550	0.211
17.00	0.550	0.211		42.50	0.550	0.211
17.50	0.551	0.212		43.00	0.550	0.211
18.00	0.551	0.212		43.50	0.550	0.211
18.50	0.552	0.213		44.00	0.550	0.211
19.00	0.552	0.213		44.50	0.550	0.211
19.50	0.553	0.214		45.00	0.549	0.210
20.00	0.553	0.214		45.50	0.549	0.210
20.50	0.553	0.214		46.00	0.549	0.210
21.00	0.552	0.213		46.50	0.549	0.210
21.50	0.552	0.213		47.00	0.549	0.210
22.00	0.552	0.213		47.50	0.549	0.210
22.50	0.552	0.213		48.00	0.549	0.210
23.00	0.552	0.213		48.50	0.549	0.210
23.50	0.552	0.213		49.00	0.549	0.210
24.00	0.551	0.212		49.50	0.549	0.210
24.50	0.551	0.212		50.00	0.549	0.210
25.00	0.551	0.212		PROM	0.549	0.210

RÉGIMEN PERMANENTE

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

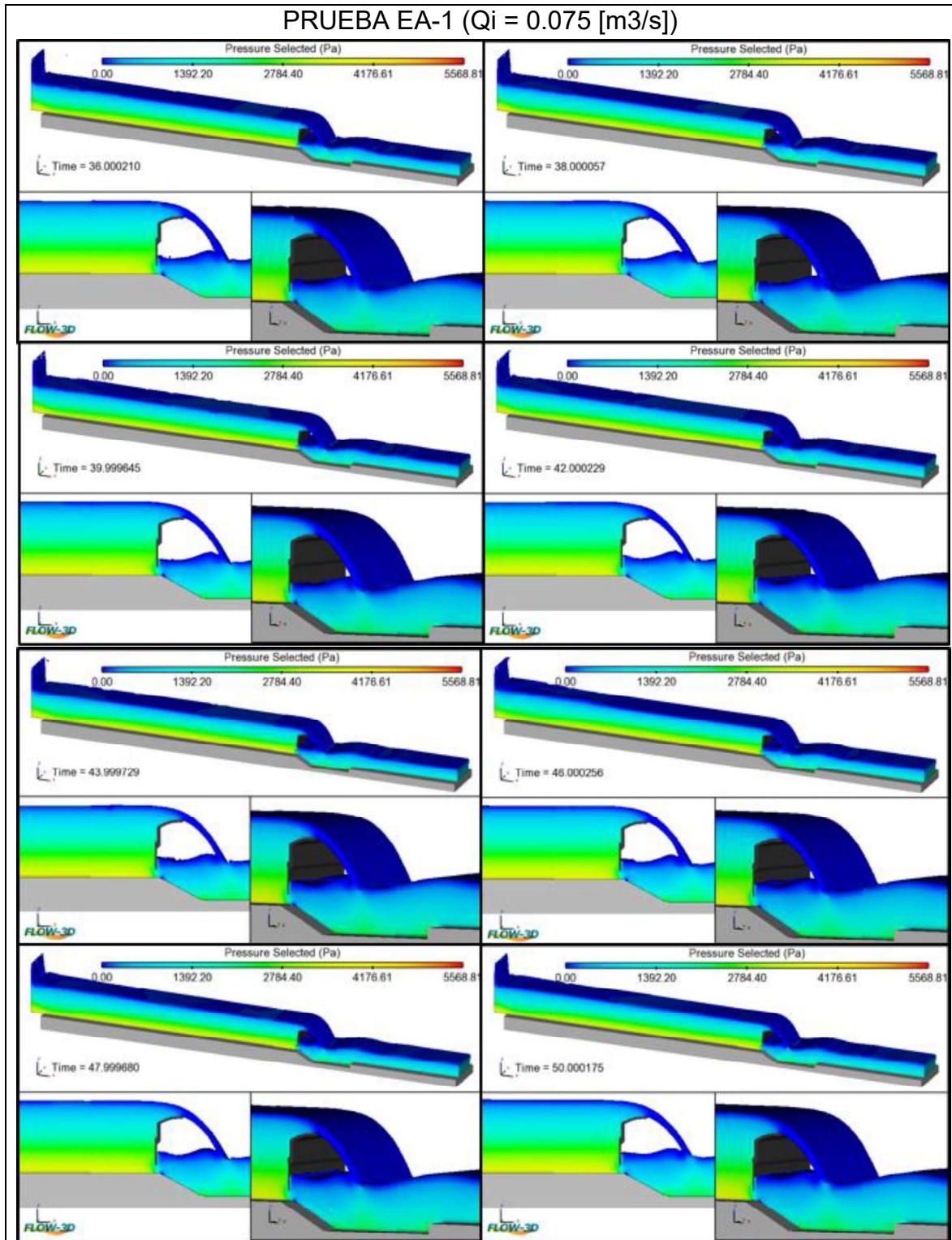
Tabla H 6: Registro de la variación temporal del calado de aproximación y la carga sobre el vertedero en la sección de interés / Prueba EA-6/ $Q_i=0.200$ [m³/s].

VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y DE LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO (75 cm AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO)						
ESCENARIO NORMAL			PRUEBA: EN-6 (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.200[m ³ /s])			
Time [s]	y [m]	h [m]		Time [s]	y [m]	h [m]
0.50	0.000			26.00	0.576	0.237
1.00	0.000			26.50	0.576	0.237
1.50	0.053			27.00	0.576	0.237
2.00	0.105			27.50	0.576	0.237
2.50	0.217			28.00	0.576	0.237
3.50	0.354	0.015		29.00	0.575	0.236
4.00	0.378	0.039		29.50	0.575	0.236
4.50	0.416	0.077		30.00	0.575	0.236
5.00	0.454	0.115		30.50	0.575	0.236
5.50	0.465	0.126		31.00	0.575	0.236
6.00	0.476	0.137		31.50	0.575	0.236
6.50	0.480	0.141		32.00	0.575	0.236
7.00	0.484	0.145		32.50	0.575	0.236
7.50	0.488	0.149		33.00	0.575	0.236
8.00	0.491	0.152		33.50	0.575	0.236
8.50	0.510	0.171		34.00	0.575	0.236
9.00	0.529	0.190		34.50	0.575	0.236
9.50	0.541	0.202		35.00	0.575	0.236
10.00	0.553	0.214		35.50	0.575	0.236
10.50	0.558	0.219		36.00	0.575	0.236
11.00	0.563	0.224		36.50	0.575	0.236
11.50	0.565	0.226		37.00	0.575	0.236
12.00	0.567	0.228		37.50	0.575	0.236
12.50	0.570	0.231		38.00	0.575	0.236
13.00	0.573	0.234		38.50	0.575	0.236
13.50	0.575	0.236		39.00	0.575	0.236
14.00	0.577	0.238		39.50	0.575	0.236
14.50	0.578	0.239		40.00	0.575	0.236
15.00	0.579	0.240		40.50	0.575	0.236
15.50	0.580	0.241		41.00	0.575	0.236
16.00	0.580	0.241		41.50	0.575	0.236
16.50	0.580	0.241		42.00	0.575	0.236
17.00	0.580	0.241		42.50	0.575	0.236
17.50	0.580	0.241		43.00	0.575	0.236
18.00	0.580	0.241		43.50	0.575	0.236
18.50	0.580	0.241		44.00	0.575	0.236
19.00	0.580	0.241		44.50	0.575	0.236
19.50	0.580	0.241		45.00	0.575	0.236
20.00	0.580	0.241		45.50	0.575	0.236
20.50	0.580	0.241		46.00	0.575	0.236
21.00	0.580	0.241		46.50	0.575	0.236
21.50	0.579	0.240		47.00	0.575	0.236
22.00	0.578	0.239		47.50	0.575	0.236
22.50	0.578	0.239		48.00	0.575	0.236
23.00	0.577	0.238		48.50	0.575	0.236
23.50	0.577	0.238		49.00	0.575	0.236
24.00	0.577	0.238		49.50	0.575	0.236
24.50	0.577	0.238		50.00	0.575	0.236
25.00	0.576	0.237		PROM	0.575	0.236

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

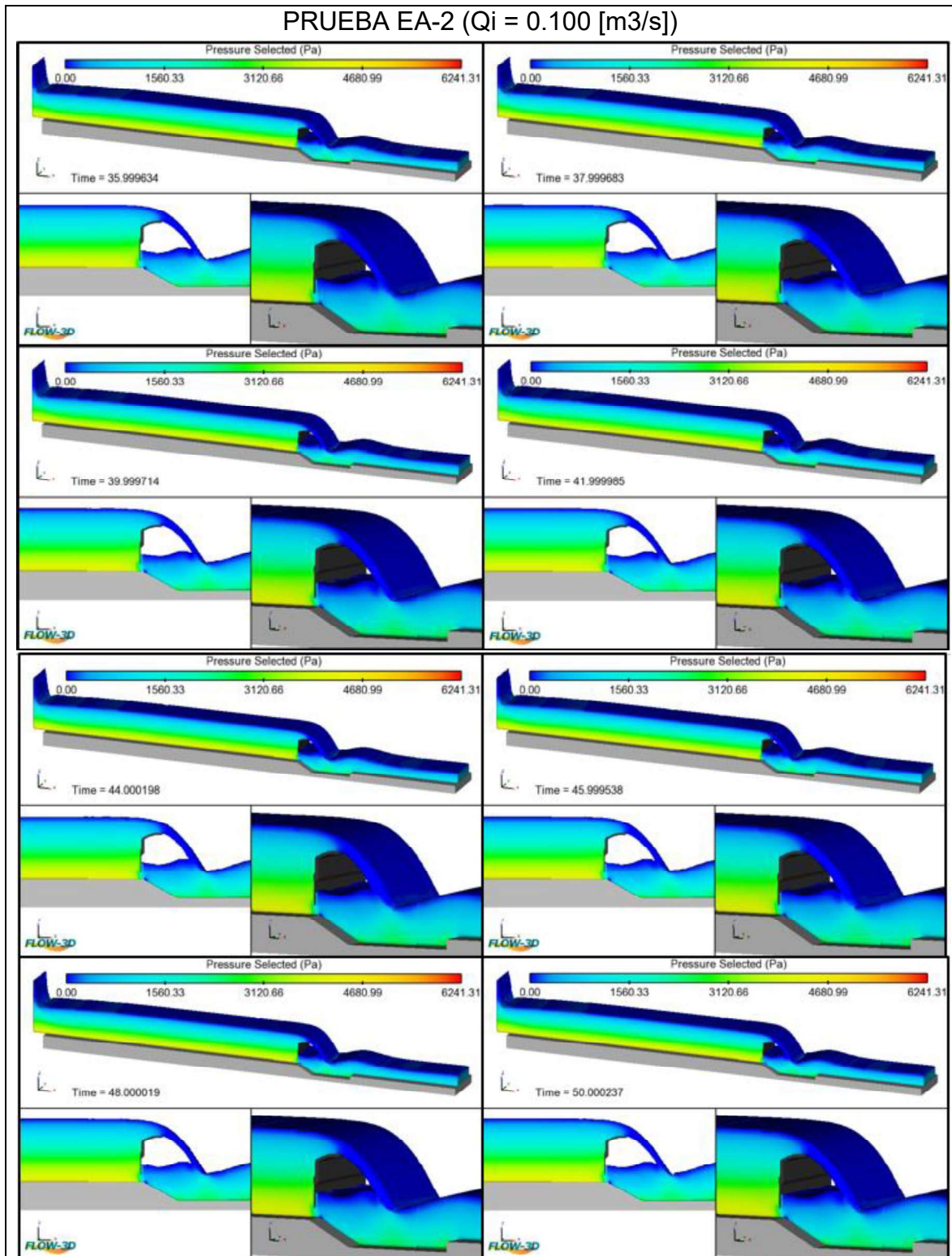
ANEXO I: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN “A”.

Gráfico H 1: Presiones desarrolladas en el dominio computacional Prueba EA-1 $Q_i=0.075$ [m³/s].



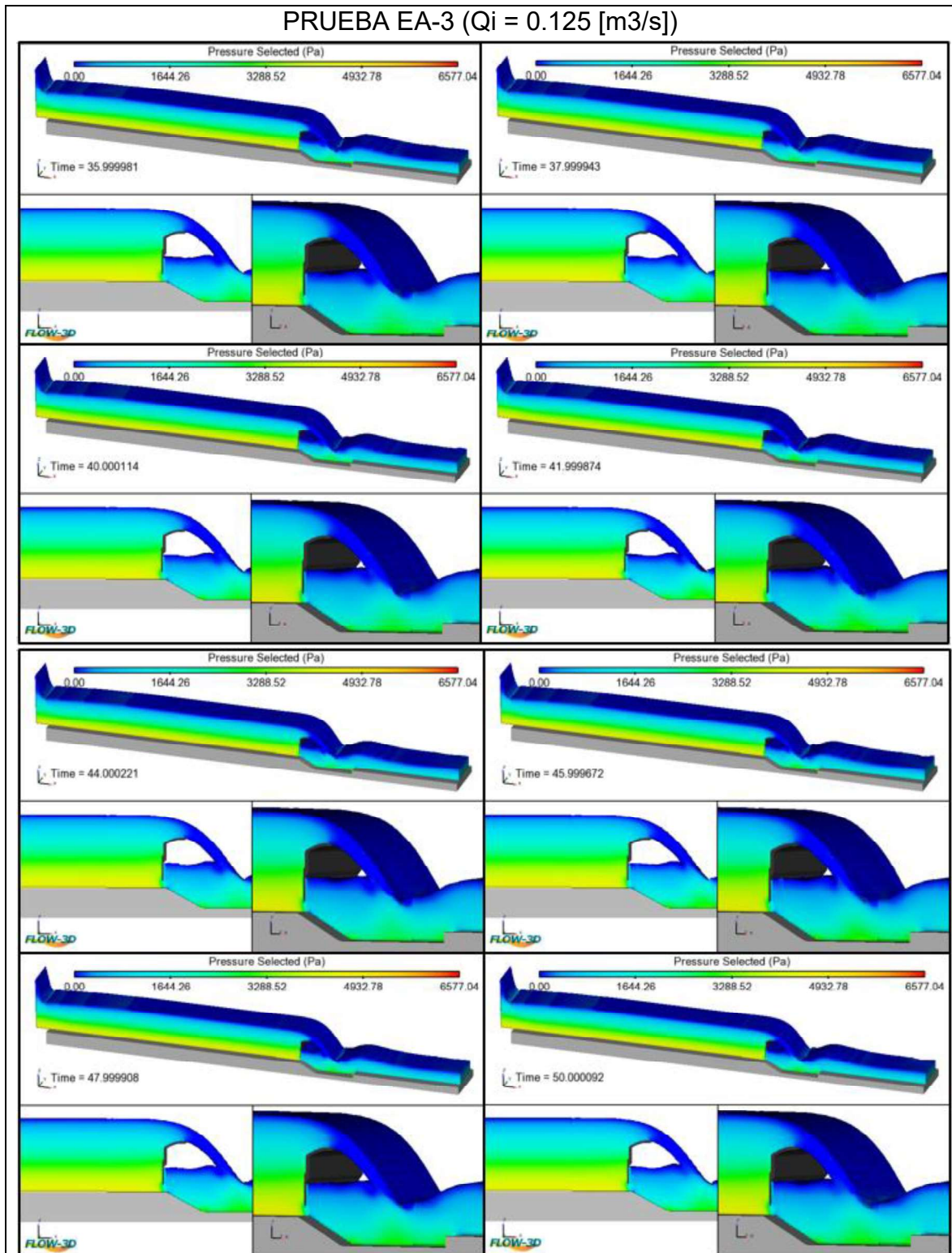
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico H 2: Presiones desarrolladas en el dominio computacional Prueba EA-2 $Q_i=0.100$ [m³/s].



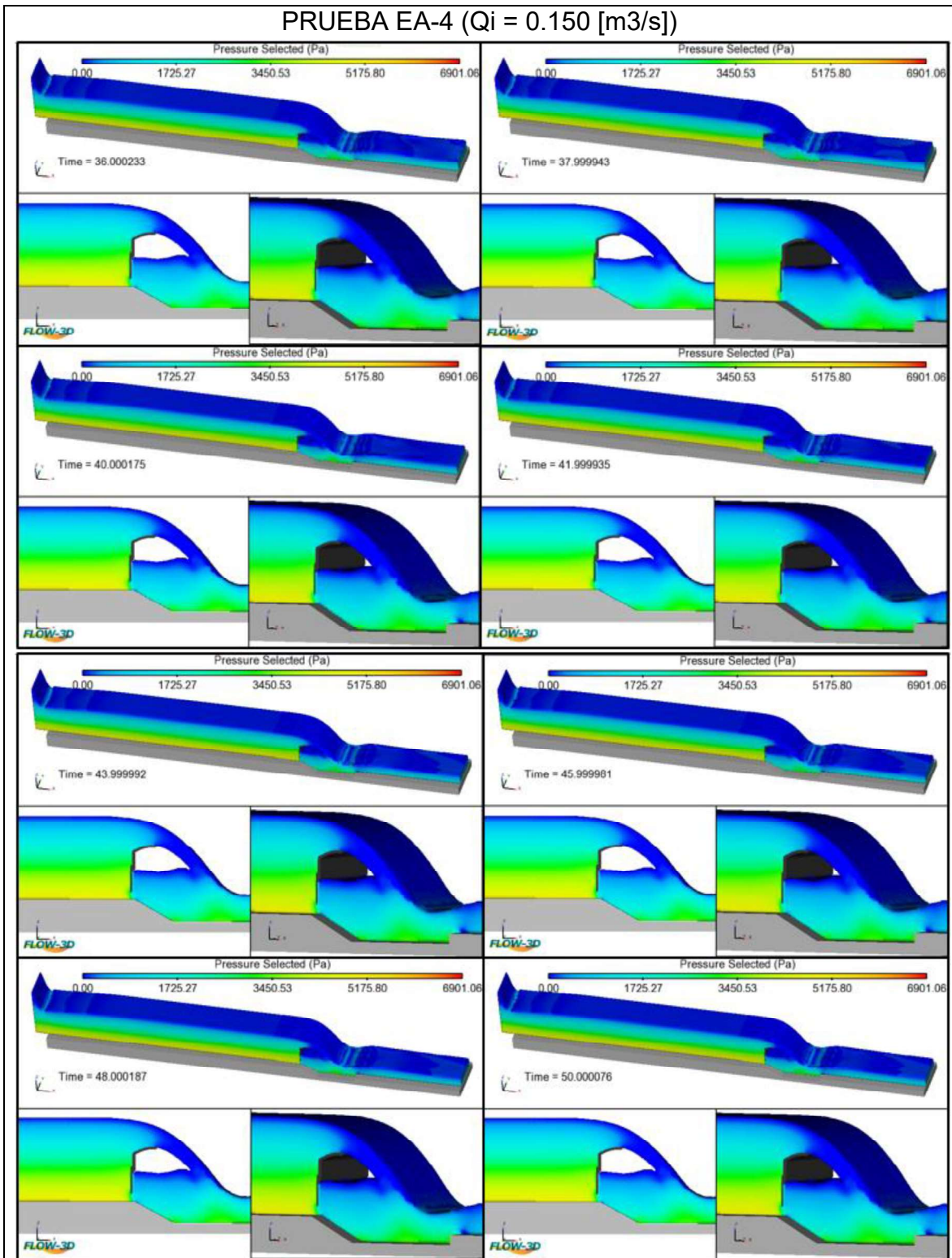
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico H 3: Presiones desarrolladas en el dominio computacional Prueba EA-3 $Q_i=0.125$ [m³/s].



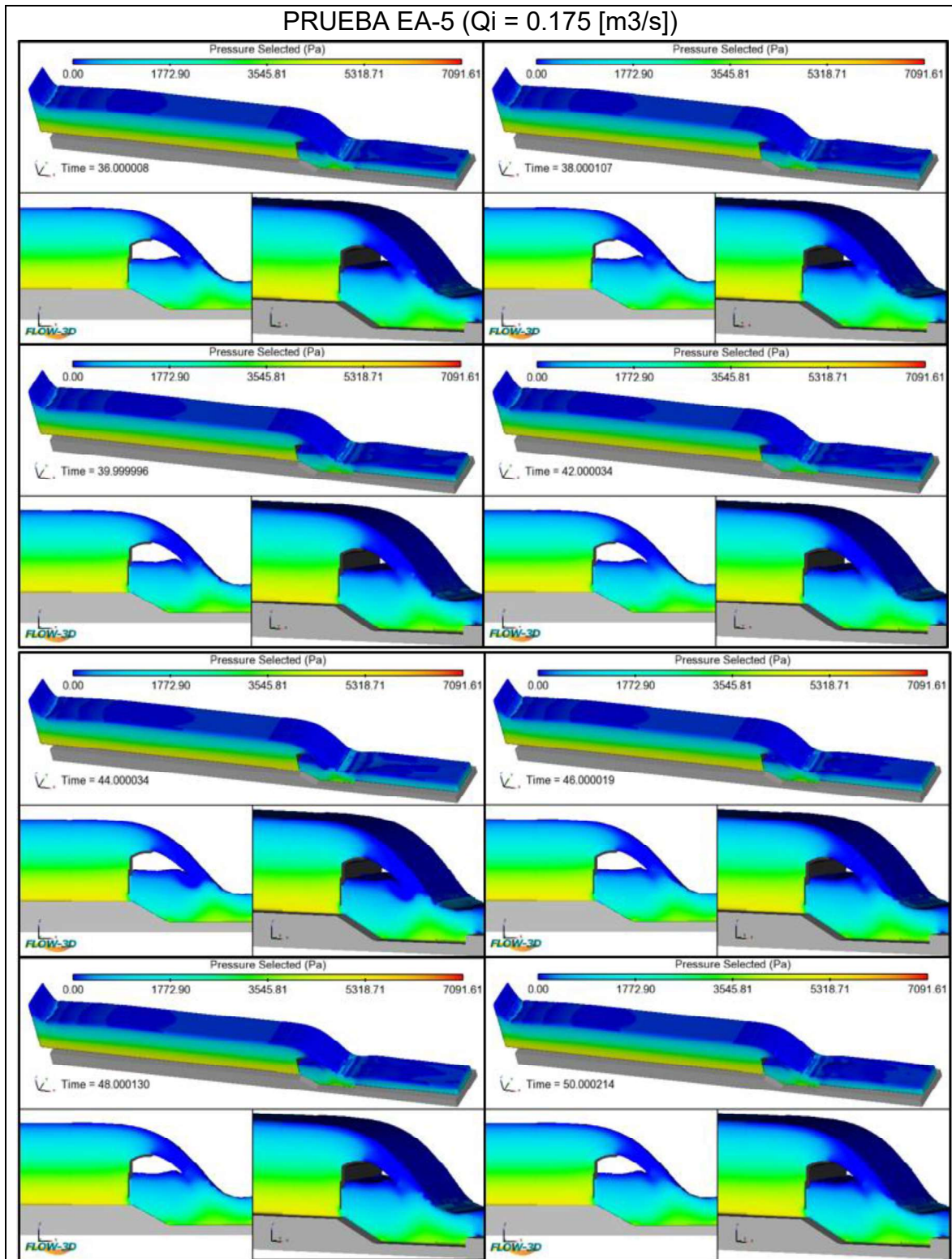
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico H 4: Presiones desarrolladas en el dominio computacional Prueba EA-4 $Q_i=0.150$ [m³/s].



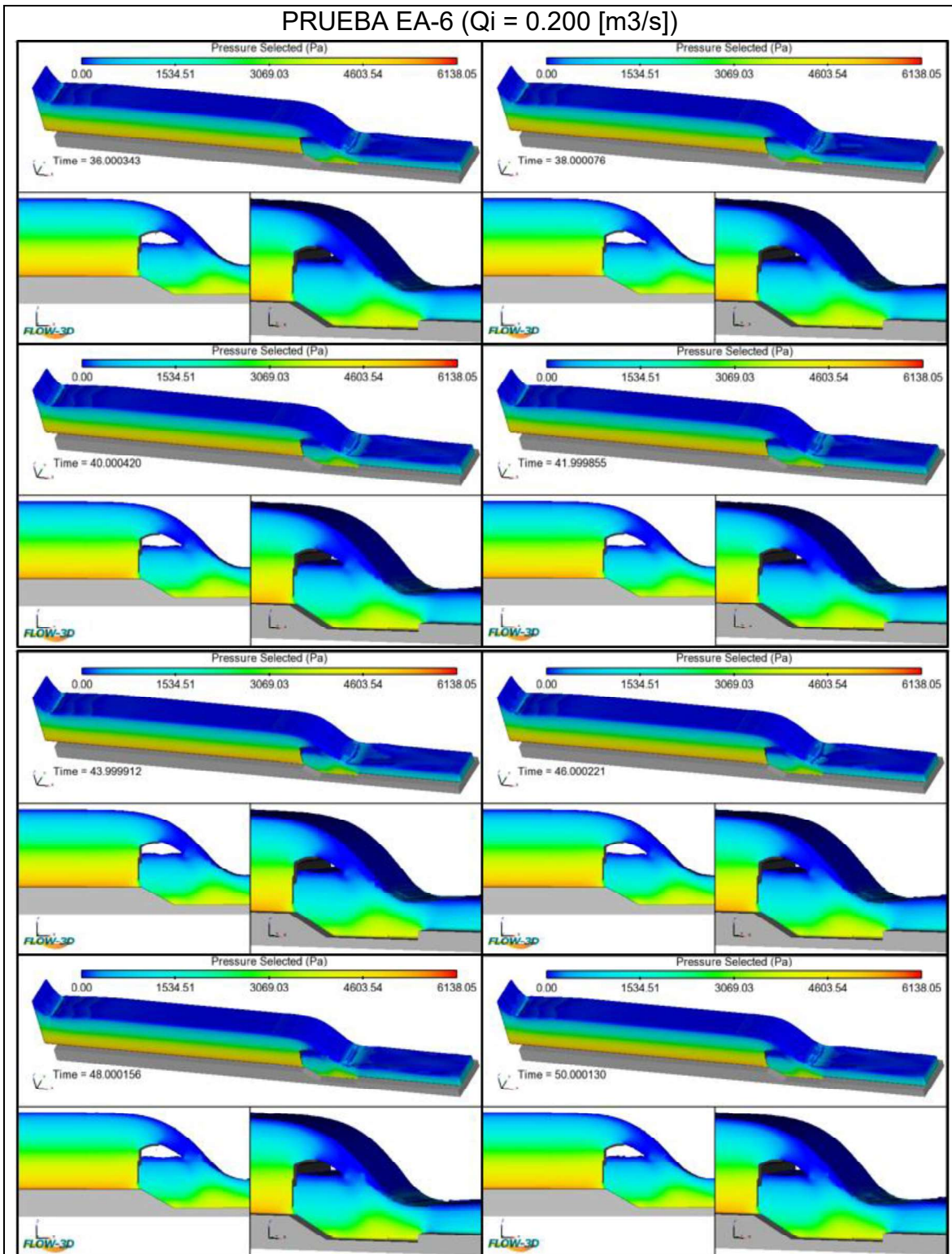
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico H 5: Presiones desarrolladas en el dominio computacional Prueba EA-5 $Q_i=0.175$ [m³/s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

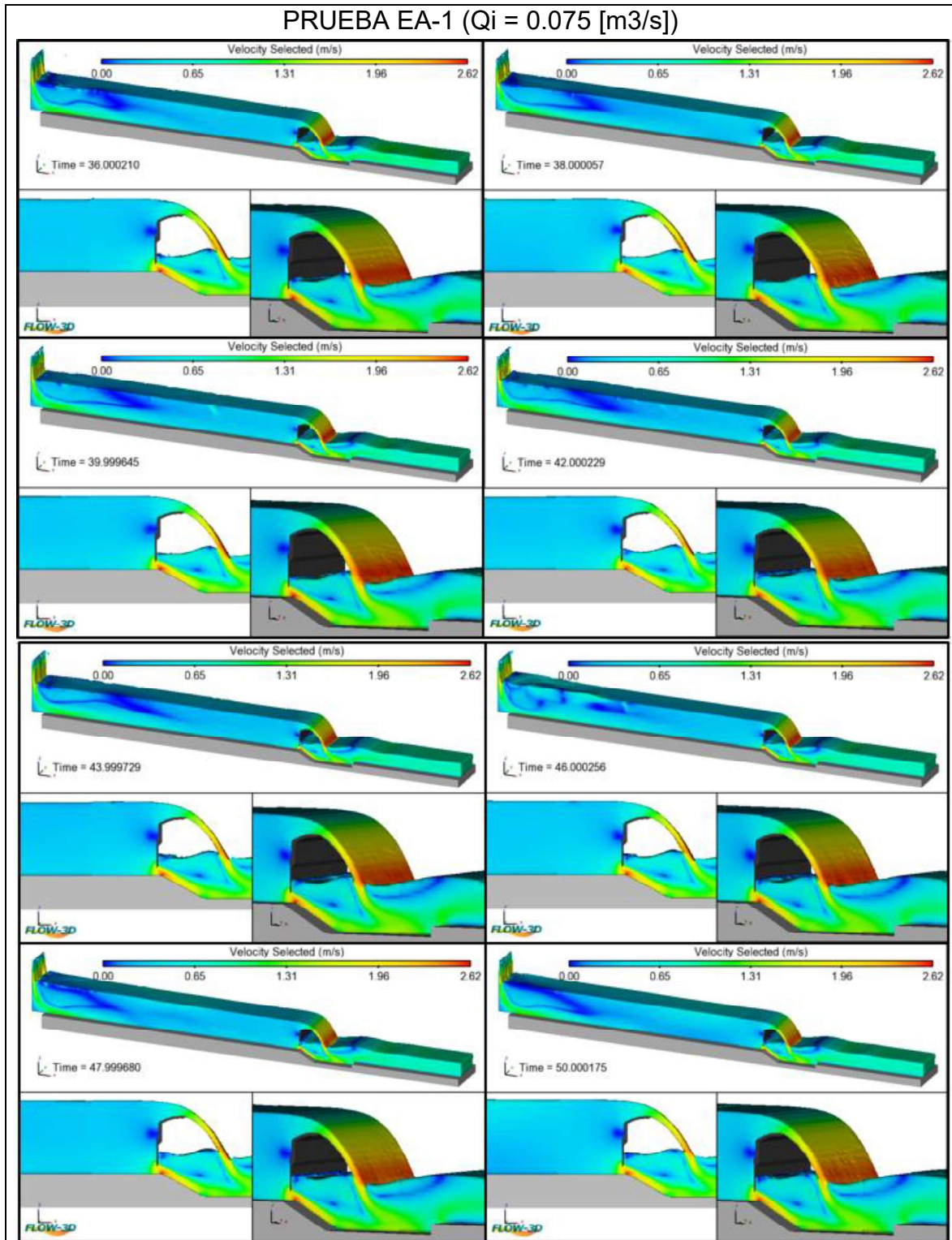
Gráfico H 6: Presiones desarrolladas en el dominio computacional Prueba EA-6 $Q_i=0.200$ [m³/s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

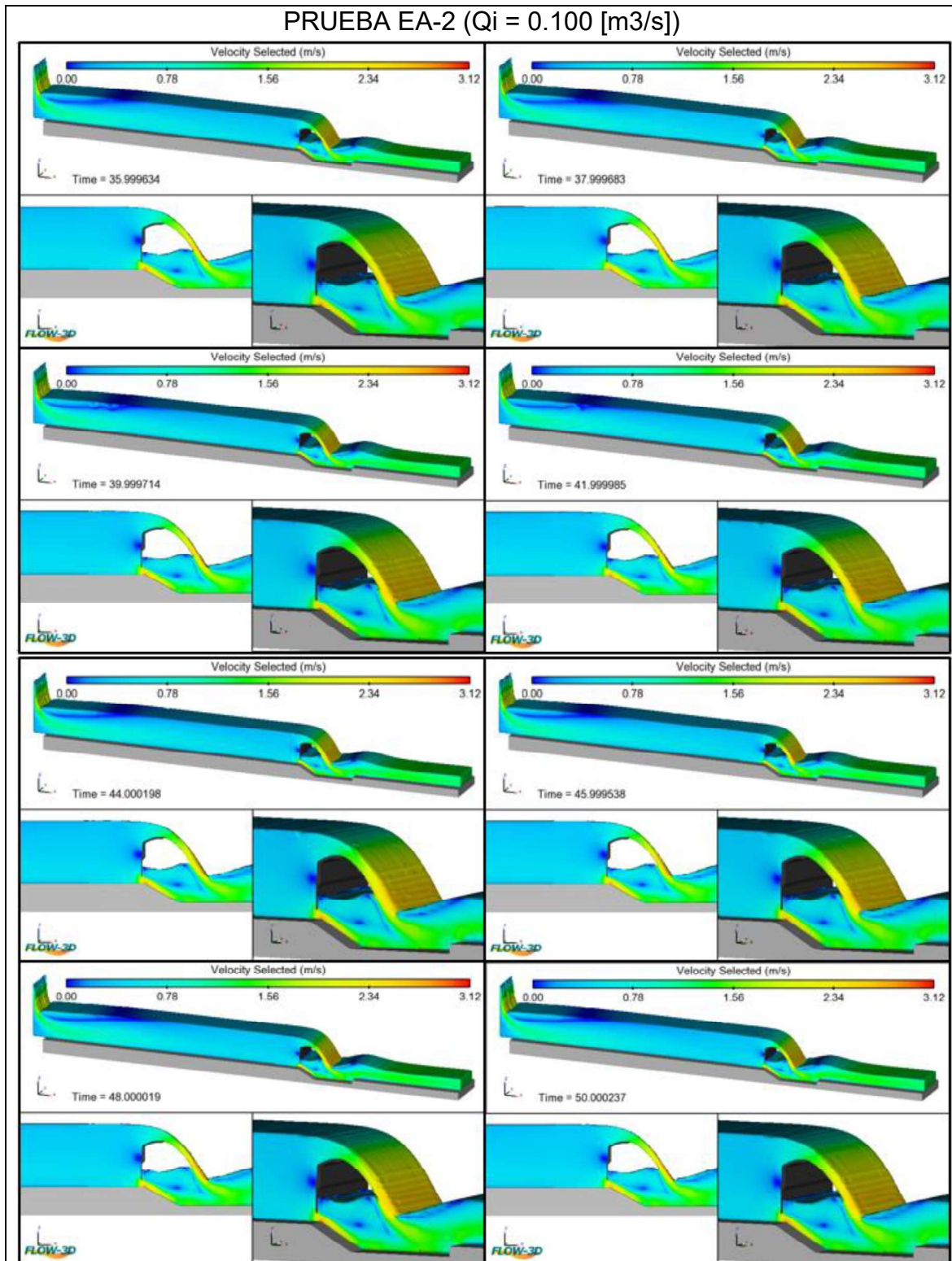
ANEXO J: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN “A”.

Gráfico J 1: Velocidades en el dominio computacional Prueba EA-1 / $Q_i=0.075$ [m³/s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico J 2: Velocidades en el dominio computacional Prueba EA-2 / $Q_i=0.100$ [m³/s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico J 3: Velocidades en el dominio computacional Prueba EA-3 / $Q_i=0.125$ [m³/s].

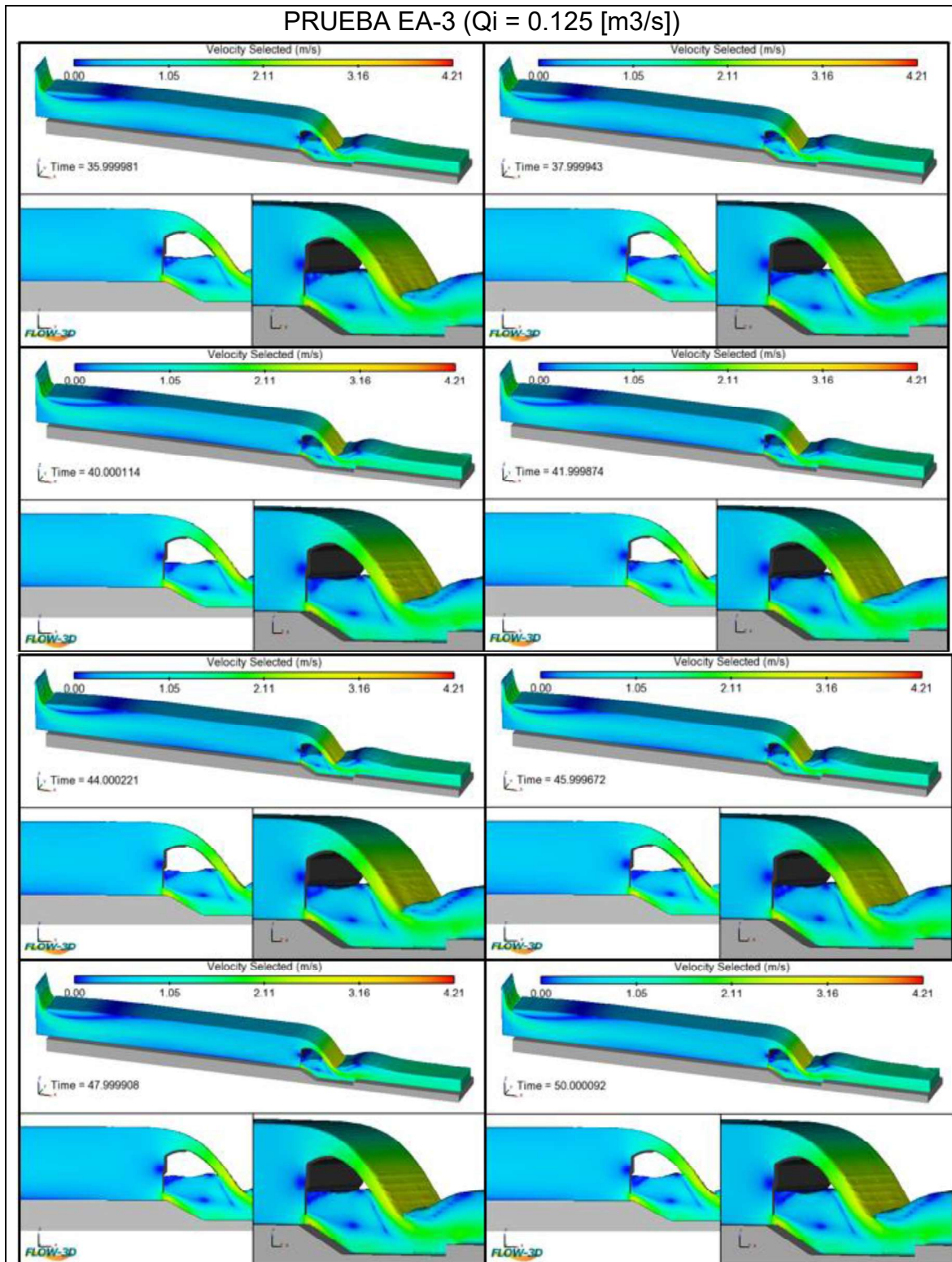
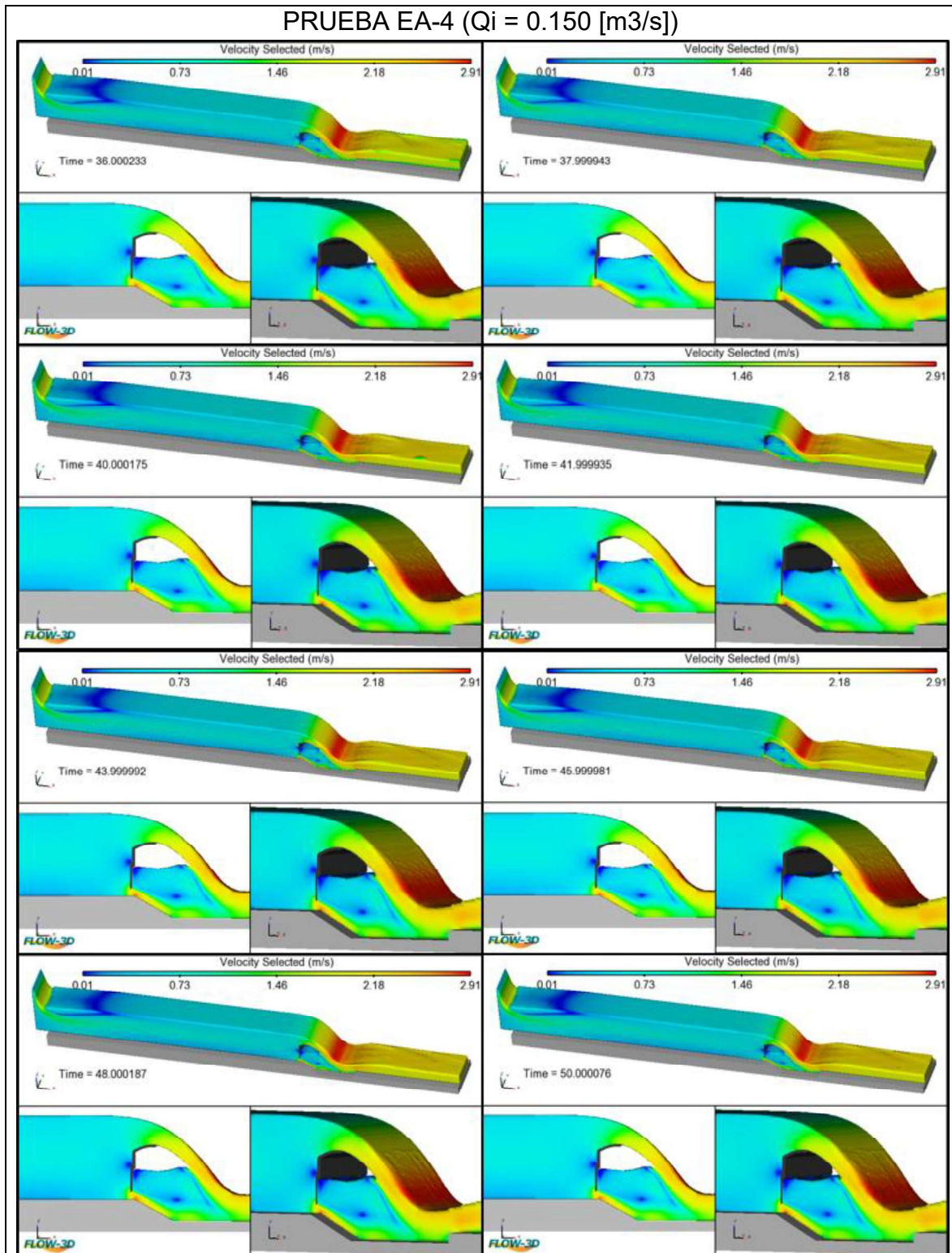
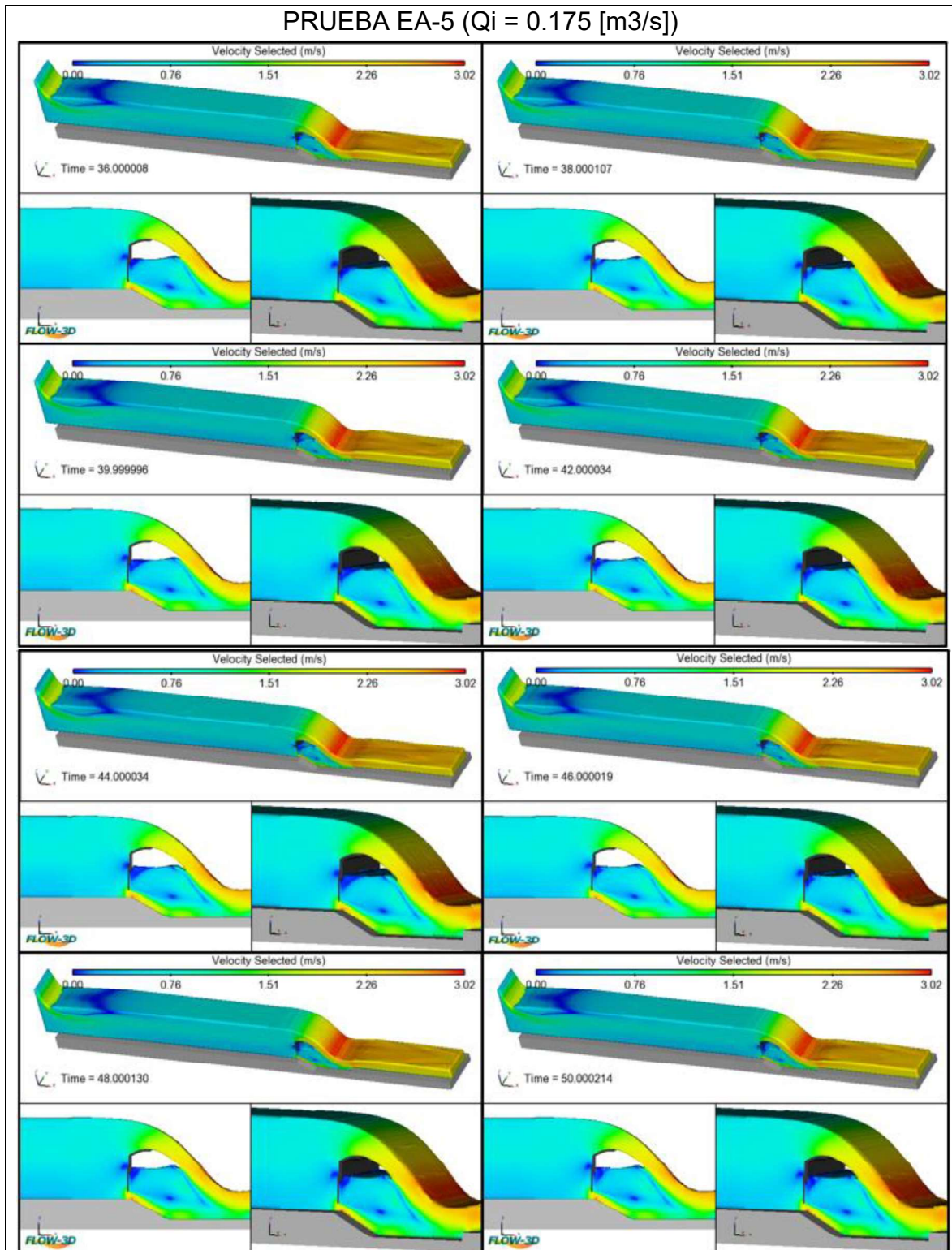


Gráfico J 4: Velocidades en el dominio computacional Prueba EA-4 / $Q_i=0.150$ [m³/s].



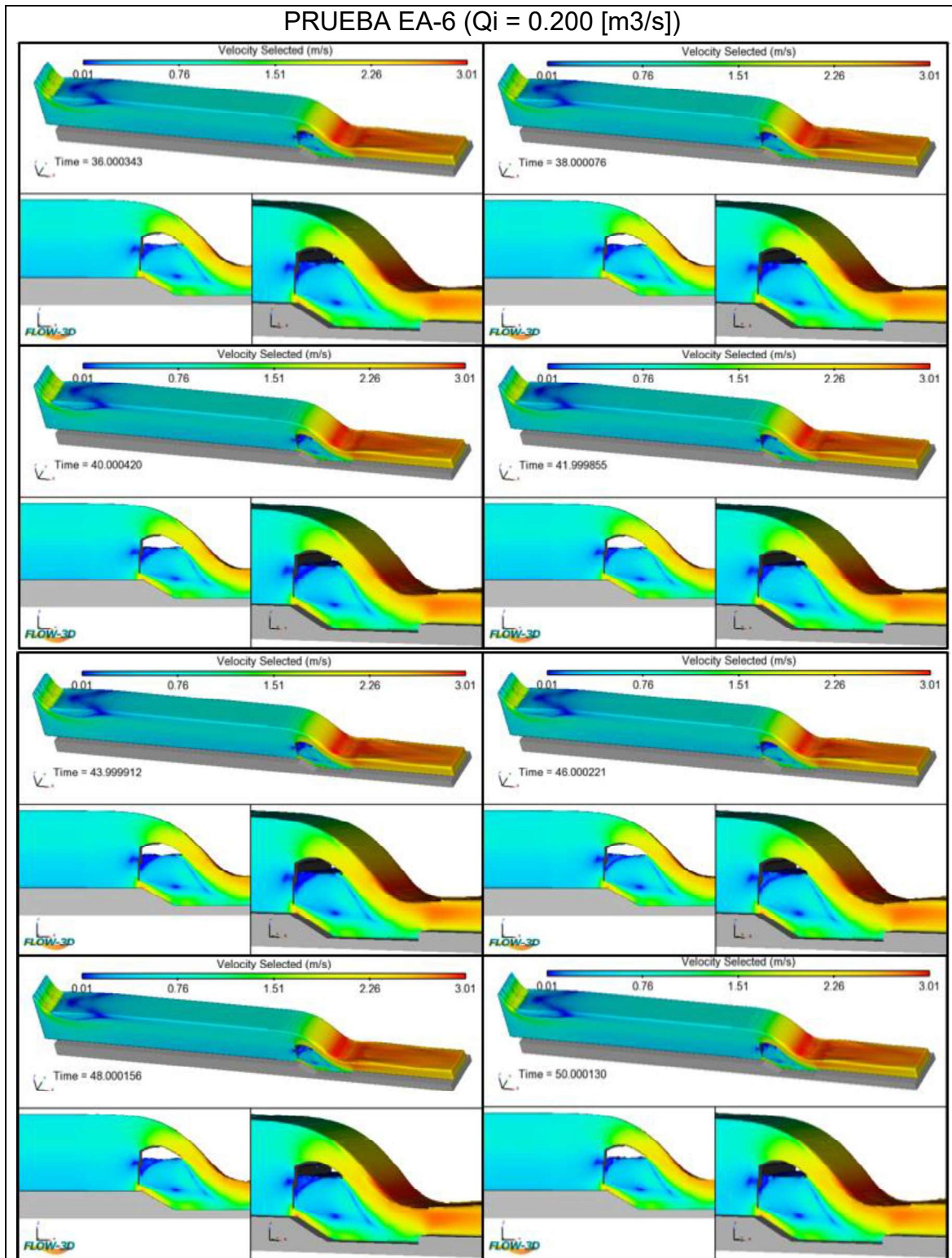
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico J 5: Velocidades en el dominio computacional Prueba EA-5 / $Q_i=0.175$ [m³/s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico J 6: Velocidades en el dominio computacional Prueba EA-6 / $Q_i=0.200$ [m³/s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

ANEXO K: REGISTROS HISTÓRICOS DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN “B”.

Tabla K 1: Registro histórico de caudales de salida en las secciones de interés Prueba EB-1/ Qi=0.75 [m3/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO											
ESCENARIO DE OPERACIÓN B						PRUEBA EB-1: CAUDAL DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL = 0.075 [m3/s]					
Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]	Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]
0.5	0.075	0.000	0.000	0.000	0.000	47.5	0.075	0.001	0.060	0.061	0.059
1.0	0.075	0.000	0.000	0.000	0.000	47.8	0.075	0.001	0.061	0.062	0.059
1.5	0.075	0.000	0.000	0.000	0.000	48.2	0.075	0.001	0.062	0.064	0.060
2.0	0.075	0.000	0.036	0.036	0.000	48.5	0.075	0.001	0.063	0.064	0.060
2.5	0.075	0.000	0.061	0.061	0.000	48.8	0.075	0.001	0.063	0.064	0.060
3.0	0.075	0.000	0.067	0.067	0.000	49.2	0.075	0.001	0.064	0.065	0.061
3.5	0.075	0.000	0.075	0.075	0.025	49.5	0.075	0.001	0.065	0.066	0.061
4.0	0.075	0.000	0.075	0.075	0.039	49.9	0.075	0.001	0.066	0.067	0.060
4.5	0.075	0.000	0.076	0.076	0.052	50.2	0.075	0.001	0.066	0.067	0.061
5.0	0.075	0.000	0.075	0.075	0.052	50.6	0.075	0.001	0.067	0.068	0.062
5.5	0.075	0.000	0.075	0.075	0.057	50.9	0.075	0.001	0.068	0.069	0.063
6.0	0.075	0.000	0.075	0.075	0.062	51.3	0.075	0.001	0.068	0.069	0.063
6.5	0.075	0.000	0.076	0.076	0.065	51.6	0.075	0.001	0.068	0.068	0.064
7.0	0.075	0.000	0.075	0.075	0.069	52.0	0.075	0.001	0.068	0.070	0.064
7.5	0.075	0.000	0.074	0.074	0.071	52.4	0.075	0.001	0.068	0.070	0.064
8.0	0.075	0.000	0.075	0.075	0.072	52.7	0.075	0.001	0.069	0.070	0.065
8.5	0.075	0.000	0.076	0.076	0.071	53.0	0.075	0.002	0.069	0.071	0.065
9.0	0.075	0.000	0.075	0.075	0.072	53.4	0.075	0.002	0.069	0.070	0.065
10.0	0.075	0.000	0.076	0.076	0.072	54.1	0.075	0.002	0.068	0.070	0.068
10.5	0.075	0.000	0.076	0.076	0.073	54.4	0.075	0.002	0.069	0.071	0.068
11.0	0.075	0.000	0.076	0.076	0.074	54.8	0.075	0.002	0.069	0.071	0.068
11.5	0.075	0.000	0.075	0.075	0.073	55.1	0.075	0.002	0.069	0.072	0.067
12.0	0.075	0.000	0.075	0.075	0.074	55.5	0.075	0.003	0.070	0.072	0.067
12.5	0.075	0.000	0.075	0.075	0.074	55.9	0.075	0.003	0.070	0.073	0.068
13.0	0.075	0.000	0.074	0.074	0.073	56.2	0.075	0.003	0.069	0.072	0.069
14.0	0.075	0.000	0.075	0.075	0.072	56.9	0.075	0.003	0.069	0.072	0.070
15.0	0.075	0.000	0.075	0.075	0.075	57.6	0.075	0.004	0.068	0.072	0.069
15.5	0.075	0.000	0.076	0.076	0.075	57.9	0.075	0.004	0.069	0.072	0.069
16.0	0.075	0.000	0.076	0.076	0.074	58.3	0.075	0.005	0.069	0.073	0.070
16.5	0.075	0.000	0.077	0.077	0.074	58.7	0.075	0.004	0.068	0.072	0.070
17.0	0.075	0.000	0.075	0.075	0.075	59.0	0.075	0.004	0.069	0.073	0.070
18.5	0.075	0.000	0.076	0.076	0.072	60.1	0.075	0.004	0.068	0.072	0.071
19.0	0.075	0.000	0.073	0.073	0.074	60.4	0.075	0.004	0.070	0.074	0.071
19.5	0.075	0.000	0.077	0.077	0.075	60.8	0.075	0.004	0.069	0.073	0.071
20.0	0.075	0.000	0.076	0.076	0.072	61.1	0.075	0.004	0.069	0.074	0.071
20.5	0.075	0.000	0.076	0.076	0.073	61.4	0.075	0.004	0.070	0.074	0.071
21.0	0.075	0.000	0.076	0.076	0.074	61.8	0.075	0.004	0.070	0.074	0.070
21.5	0.075	0.000	0.075	0.075	0.074	62.2	0.075	0.004	0.070	0.074	0.071
22.0	0.075	0.000	0.076	0.076	0.075	62.5	0.075	0.004	0.070	0.074	0.072

23.0	0.075	0.000	0.076	0.076	0.074	RÉGIMEN PERMANENTE	63.2	0.075	0.004	0.070	0.074	0.072
23.5	0.075	0.000	0.075	0.075	0.073		63.5	0.075	0.004	0.070	0.074	0.072
24.0	0.075	0.000	0.076	0.076	0.075		63.9	0.075	0.004	0.070	0.074	0.072
24.5	0.075	0.000	0.076	0.076	0.073		64.2	0.075	0.004	0.070	0.074	0.073
25.0	0.075	0.000	0.075	0.075	0.073		64.6	0.075	0.004	0.070	0.074	0.072
25.5	0.075	0.000	0.076	0.076	0.072		64.9	0.075	0.004	0.070	0.074	0.072
26.0	0.075	0.000	0.079	0.079	0.073		65.3	0.075	0.004	0.070	0.074	0.072
26.5	0.075	0.000	0.083	0.083	0.072		65.7	0.075	0.004	0.070	0.073	0.072
27.0	0.075	0.000	0.075	0.075	0.077		66.0	0.075	0.004	0.070	0.074	0.073
27.5	0.075	0.000	0.067	0.067	0.084		66.3	0.075	0.004	0.070	0.075	0.072
28.0	0.075	0.000	0.064	0.064	0.086		66.7	0.075	0.004	0.070	0.074	0.072
28.5	0.075	0.000	0.057	0.057	0.076		67.0	0.075	0.004	0.070	0.075	0.072
29.0	0.075	0.000	0.054	0.054	0.066		67.4	0.075	0.004	0.070	0.075	0.072
29.5	0.075	0.000	0.060	0.060	0.056		67.7	0.075	0.004	0.070	0.074	0.073
30.0	0.075	0.000	0.063	0.063	0.054		68.1	0.075	0.004	0.070	0.074	0.073
30.5	0.075	0.000	0.054	0.054	0.054		68.4	0.075	0.004	0.071	0.075	0.073
31.0	0.075	0.000	0.053	0.053	0.058		68.8	0.075	0.004	0.071	0.075	0.073
31.5	0.075	0.000	0.053	0.053	0.051		69.2	0.075	0.004	0.071	0.075	0.073
32.0	0.075	0.000	0.053	0.053	0.051		69.5	0.075	0.005	0.070	0.075	0.073
32.5	0.075	0.000	0.053	0.053	0.051		69.8	0.075	0.005	0.070	0.075	0.073
33.0	0.075	0.000	0.053	0.053	0.050		70.2	0.075	0.004	0.070	0.074	0.073
33.5	0.075	0.000	0.053	0.053	0.050		70.6	0.075	0.004	0.070	0.073	0.074
34.0	0.075	0.000	0.054	0.054	0.052		70.9	0.075	0.005	0.070	0.075	0.074
34.5	0.075	0.000	0.053	0.053	0.052		71.2	0.075	0.004	0.070	0.074	0.073
35.0	0.075	0.000	0.054	0.054	0.053		71.6	0.075	0.004	0.070	0.074	0.074
35.5	0.075	0.000	0.054	0.054	0.051		72.0	0.075	0.005	0.070	0.075	0.073
36.0	0.075	0.000	0.054	0.054	0.052		72.3	0.075	0.005	0.070	0.075	0.073
36.5	0.075	0.000	0.054	0.054	0.052		72.6	0.075	0.005	0.070	0.075	0.073
37.0	0.075	0.000	0.054	0.054	0.052		73.0	0.075	0.005	0.070	0.074	0.074
37.5	0.075	0.000	0.054	0.054	0.052		73.4	0.075	0.005	0.070	0.074	0.074
38.0	0.075	0.000	0.055	0.055	0.052		73.7	0.075	0.005	0.070	0.075	0.074
38.5	0.075	0.000	0.055	0.055	0.052		74.0	0.075	0.005	0.070	0.074	0.074
39.0	0.075	0.000	0.054	0.054	0.053		74.4	0.075	0.004	0.070	0.074	0.074
39.5	0.075	0.000	0.055	0.055	0.053		74.8	0.075	0.005	0.070	0.075	0.074
40.0	0.075	0.000	0.055	0.055	0.053		75.1	0.075	0.005	0.070	0.075	0.074
40.5	0.075	0.000	0.054	0.054	0.053		75.4	0.075	0.004	0.070	0.074	0.074
41.0	0.075	0.000	0.055	0.055	0.053		75.8	0.075	0.005	0.070	0.075	0.074
41.5	0.075	0.000	0.055	0.055	0.053		76.1	0.075	0.005	0.070	0.075	0.074
42.0	0.075	0.000	0.056	0.056	0.054		76.5	0.075	0.005	0.070	0.075	0.074
42.5	0.075	0.000	0.056	0.056	0.054		76.8	0.075	0.005	0.070	0.074	0.075
43.0	0.075	0.000	0.057	0.057	0.056		77.2	0.075	0.005	0.070	0.075	0.074
43.5	0.075	0.000	0.058	0.058	0.055		77.6	0.075	0.005	0.070	0.075	0.074
44.0	0.075	0.000	0.058	0.058	0.056		77.9	0.075	0.004	0.070	0.074	0.074
44.5	0.075	0.000	0.058	0.058	0.056		78.2	0.075	0.004	0.070	0.074	0.074
45.0	0.075	0.000	0.057	0.057	0.057		78.6	0.075	0.005	0.070	0.075	0.075
45.4	0.075	0.001	0.057	0.058	0.057		79.0	0.075	0.005	0.070	0.075	0.074
45.7	0.075	0.001	0.057	0.058	0.056	79.3	0.075	0.005	0.070	0.075	0.075	
46.1	0.075	0.001	0.058	0.058	0.056	79.7	0.075	0.005	0.070	0.075	0.075	
46.4	0.075	0.001	0.058	0.059	0.057	80.0	0.075	0.005	0.070	0.075	0.074	
46.7	0.075	0.001	0.058	0.059	0.057	PROM	0.075	0.004	0.070	0.074	0.074	
Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC												

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla K 2: Registro histórico de caudales de salida en las secciones de interés Prueba EB-2/ $Q_i=0.100$ [m³/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO											
ESCENARIO DE OPERACIÓN B						PRUEBA EB-2: CAUDAL DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL = 0.100 [m ³ /s]					
Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qa+Qb [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]	Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qa+Qb [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]
0.5	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000	26.0	0.100	0.019	0.075	0.094	0.088
1.0	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000	26.5	0.100	0.019	0.075	0.094	0.088
1.5	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000	27.0	0.100	0.020	0.075	0.095	0.088
2.5	0.100	0.000	0.079	0.079	0.000	28.0	0.100	0.020	0.074	0.094	0.089
3.0	0.100	0.000	0.088	0.088	0.018	28.5	0.100	0.020	0.074	0.094	0.090
3.5	0.100	0.000	0.092	0.092	0.047	29.0	0.100	0.021	0.074	0.094	0.090
4.0	0.100	0.000	0.093	0.093	0.068	29.5	0.100	0.021	0.074	0.094	0.091
5.0	0.100	0.000	0.085	0.085	0.080	30.5	0.100	0.021	0.074	0.095	0.092
5.5	0.100	0.000	0.079	0.079	0.075	31.0	0.100	0.021	0.074	0.095	0.093
6.0	0.100	0.000	0.075	0.075	0.071	31.5	0.100	0.022	0.074	0.096	0.094
6.5	0.100	0.000	0.072	0.072	0.068	32.0	0.100	0.023	0.074	0.097	0.094
7.0	0.100	0.000	0.068	0.068	0.069	32.5	0.100	0.023	0.073	0.096	0.095
7.5	0.100	0.000	0.066	0.066	0.068	33.0	0.100	0.023	0.073	0.096	0.096
8.0	0.100	0.000	0.064	0.064	0.067	33.5	0.100	0.023	0.073	0.096	0.096
9.0	0.100	0.000	0.062	0.062	0.064	34.5	0.100	0.023	0.073	0.097	0.096
9.5	0.100	0.000	0.061	0.062	0.065	35.0	0.100	0.024	0.073	0.097	0.096
10.0	0.100	0.000	0.061	0.061	0.064	35.5	0.100	0.024	0.074	0.098	0.096
10.5	0.100	0.000	0.060	0.061	0.063	36.0	0.100	0.024	0.074	0.098	0.096
11.0	0.100	0.000	0.060	0.061	0.063	36.5	0.100	0.024	0.075	0.098	0.096
11.5	0.100	0.001	0.060	0.061	0.062	37.0	0.100	0.024	0.075	0.098	0.096
12.0	0.100	0.001	0.060	0.061	0.061	37.5	0.100	0.024	0.075	0.098	0.096
12.5	0.100	0.001	0.060	0.061	0.061	38.0	0.100	0.024	0.075	0.098	0.097
13.0	0.100	0.001	0.060	0.061	0.061	38.5	0.100	0.024	0.074	0.098	0.097
13.5	0.100	0.001	0.060	0.061	0.061	39.0	0.100	0.024	0.074	0.098	0.097
14.0	0.100	0.001	0.060	0.061	0.061	39.5	0.100	0.024	0.075	0.098	0.097
14.5	0.100	0.001	0.060	0.062	0.061	40.0	0.100	0.024	0.075	0.099	0.097
15.0	0.100	0.001	0.060	0.061	0.061	40.5	0.100	0.024	0.075	0.098	0.097
15.5	0.100	0.001	0.061	0.062	0.062	41.0	0.100	0.024	0.075	0.098	0.098
16.0	0.100	0.004	0.063	0.067	0.061	41.5	0.100	0.024	0.075	0.099	0.098
16.5	0.100	0.006	0.065	0.071	0.061	42.0	0.100	0.024	0.075	0.099	0.098
17.0	0.100	0.009	0.066	0.075	0.065	42.5	0.100	0.024	0.075	0.099	0.098
17.5	0.100	0.010	0.067	0.077	0.070	43.0	0.100	0.024	0.075	0.099	0.098
18.0	0.100	0.011	0.067	0.079	0.072	43.5	0.100	0.024	0.075	0.099	0.098
18.5	0.100	0.012	0.068	0.080	0.074	44.0	0.100	0.024	0.075	0.099	0.098
19.0	0.100	0.012	0.069	0.081	0.076	44.5	0.100	0.024	0.075	0.099	0.098
19.5	0.100	0.012	0.070	0.081	0.078	45.0	0.100	0.024	0.075	0.099	0.098
20.0	0.100	0.012	0.070	0.082	0.079	45.5	0.100	0.024	0.075	0.099	0.098
20.5	0.100	0.012	0.071	0.083	0.079	46.0	0.100	0.024	0.075	0.099	0.099
21.0	0.100	0.013	0.072	0.085	0.080	46.5	0.100	0.024	0.075	0.099	0.099
21.5	0.100	0.014	0.073	0.087	0.081	47.0	0.100	0.024	0.075	0.099	0.099
22.0	0.100	0.015	0.073	0.088	0.082	47.5	0.100	0.024	0.075	0.099	0.099
22.5	0.100	0.016	0.074	0.090	0.084	48.0	0.100	0.024	0.075	0.099	0.099
23.0	0.100	0.016	0.074	0.090	0.086	48.5	0.100	0.024	0.075	0.099	0.099
23.5	0.100	0.017	0.074	0.091	0.087	49.0	0.100	0.024	0.075	0.099	0.099
24.0	0.100	0.017	0.074	0.091	0.087	49.5	0.100	0.024	0.075	0.099	0.098
24.5	0.100	0.017	0.075	0.092	0.088	50.0	0.100	0.024	0.075	0.099	0.098
25.0	0.100	0.018	0.075	0.093	0.088	PROM	0.100	0.024	0.075	0.099	0.098

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla K 3: Registro histórico de caudales de salida en las secciones de interés Prueba EB-3/ $Q_i=0.125$ [m³/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO												
ESCENARIO DE OPERACIÓN B				PRUEBA EB-3: CAUDAL DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL = 0.125 [m ³ /s]								
Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qa+Q _b [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]		Time [s]	Qi [m ³ /s]	Qa [m ³ /s]	Qb [m ³ /s]	Qa+Q _b [m ³ /s]	Qs [m ³ /s]
0.5	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000		26.0	0.125	0.043	0.081	0.123	0.123
1.5	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000		27.0	0.125	0.043	0.081	0.124	0.123
2.5	0.125	0.000	0.098	0.098	0.000		28.0	0.125	0.043	0.081	0.124	0.124
3.0	0.125	0.000	0.104	0.104	0.037		28.5	0.125	0.043	0.081	0.124	0.124
3.5	0.125	0.000	0.100	0.100	0.068		29.0	0.125	0.043	0.081	0.124	0.124
4.0	0.125	0.000	0.092	0.092	0.090		29.5	0.125	0.043	0.081	0.124	0.124
5.0	0.125	0.000	0.082	0.082	0.085		30.5	0.125	0.044	0.081	0.124	0.124
5.5	0.125	0.000	0.079	0.079	0.085		31.0	0.125	0.044	0.081	0.124	0.124
6.0	0.125	0.001	0.076	0.077	0.080		31.5	0.125	0.044	0.081	0.124	0.124
6.5	0.125	0.002	0.073	0.075	0.072		32.0	0.125	0.044	0.081	0.124	0.124
7.0	0.125	0.003	0.072	0.074	0.064		32.5	0.125	0.044	0.081	0.124	0.124
7.5	0.125	0.004	0.070	0.074	0.063		33.0	0.125	0.044	0.081	0.125	0.124
8.0	0.125	0.005	0.069	0.074	0.067		33.5	0.125	0.044	0.081	0.125	0.124
8.5	0.125	0.006	0.068	0.074	0.070		34.0	0.125	0.044	0.081	0.125	0.124
9.0	0.125	0.007	0.067	0.074	0.072		34.5	0.125	0.044	0.081	0.125	0.124
9.5	0.125	0.008	0.067	0.075	0.072		35.0	0.125	0.044	0.081	0.125	0.124
10.0	0.125	0.009	0.067	0.076	0.072		35.5	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
10.5	0.125	0.009	0.067	0.076	0.073		36.0	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
11.0	0.125	0.010	0.067	0.077	0.074		36.5	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
11.5	0.125	0.010	0.067	0.077	0.075		37.0	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
12.0	0.125	0.010	0.066	0.076	0.075		37.5	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
12.5	0.125	0.012	0.068	0.079	0.075		38.0	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
13.0	0.125	0.018	0.070	0.088	0.075		38.5	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
13.5	0.125	0.022	0.069	0.091	0.078		39.0	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
14.0	0.125	0.027	0.069	0.096	0.085		39.5	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
14.5	0.125	0.030	0.070	0.099	0.090		40.0	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
15.0	0.125	0.031	0.071	0.102	0.094		40.5	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
15.5	0.125	0.031	0.072	0.104	0.097		41.0	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
16.0	0.125	0.031	0.074	0.105	0.100		41.5	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
16.5	0.125	0.031	0.074	0.105	0.102		42.0	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
17.0	0.125	0.031	0.075	0.106	0.103		42.5	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
17.5	0.125	0.033	0.076	0.109	0.104		43.0	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
18.0	0.125	0.035	0.077	0.112	0.105		43.5	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
18.5	0.125	0.036	0.078	0.114	0.107		44.0	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
19.0	0.125	0.037	0.078	0.115	0.110		44.5	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
19.5	0.125	0.037	0.078	0.116	0.112		45.0	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
20.0	0.125	0.038	0.079	0.117	0.114		45.5	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
20.5	0.125	0.039	0.079	0.118	0.115		46.0	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
21.0	0.125	0.039	0.079	0.118	0.116		46.5	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
21.5	0.125	0.039	0.079	0.118	0.117		47.0	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
22.0	0.125	0.040	0.079	0.119	0.118		47.5	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
22.5	0.125	0.040	0.079	0.120	0.118		48.0	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
23.0	0.125	0.041	0.080	0.120	0.119		48.5	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
23.5	0.125	0.041	0.080	0.121	0.120		49.0	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
24.0	0.125	0.041	0.080	0.121	0.121		49.5	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
24.5	0.125	0.041	0.080	0.122	0.121		50.0	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125
25.0	0.125	0.042	0.080	0.122	0.122		PROM	0.125	0.044	0.081	0.125	0.125

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla K 4: Registro histórico de caudales de salida en las secciones de interés Prueba EB-4/ Qi=0.150 [m3/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO												
ESCENARIO DE OPERACIÓN B						PRUEBA EB-4: CAUDAL DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL = 0.150 [m3/s]						
Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]		Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]
0.5	0.150	0.000	0.000	0.000	0.000		26.0	0.150	0.067	0.082	0.150	0.147
1.0	0.150	0.000	0.000	0.000	0.000		26.5	0.150	0.067	0.082	0.150	0.147
1.5	0.150	0.000	0.033	0.033	0.000		27.0	0.150	0.067	0.082	0.150	0.146
2.5	0.150	0.000	0.113	0.113	0.000		28.0	0.150	0.067	0.082	0.150	0.146
3.0	0.150	0.002	0.106	0.108	0.062		28.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.146
4.0	0.150	0.006	0.092	0.098	0.094		29.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.146
4.5	0.150	0.005	0.089	0.094	0.088		30.0	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
5.0	0.150	0.005	0.084	0.089	0.088		30.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
5.5	0.150	0.007	0.081	0.088	0.087		31.0	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
6.0	0.150	0.011	0.079	0.089	0.084		31.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
6.5	0.150	0.014	0.077	0.091	0.083		32.0	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
7.0	0.150	0.016	0.076	0.092	0.074		32.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
7.5	0.150	0.018	0.073	0.090	0.069		33.0	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
8.0	0.150	0.019	0.070	0.090	0.077		33.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
8.5	0.150	0.020	0.069	0.090	0.081		34.0	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
9.0	0.150	0.021	0.069	0.090	0.083		34.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
9.5	0.150	0.022	0.069	0.091	0.084		35.0	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
10.0	0.150	0.023	0.069	0.092	0.086		35.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
10.5	0.150	0.023	0.069	0.092	0.088		36.0	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
11.0	0.150	0.028	0.070	0.098	0.089		36.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
11.5	0.150	0.035	0.073	0.108	0.090		37.0	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
12.0	0.150	0.042	0.075	0.117	0.095		37.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
12.5	0.150	0.047	0.076	0.123	0.103		38.0	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
13.0	0.150	0.050	0.077	0.127	0.110		38.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
13.5	0.150	0.051	0.078	0.130	0.117		39.0	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
14.0	0.150	0.052	0.079	0.131	0.121		39.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
14.5	0.150	0.053	0.080	0.133	0.122		40.0	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
15.0	0.150	0.053	0.080	0.134	0.125		40.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
15.5	0.150	0.054	0.081	0.135	0.127		41.0	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
16.0	0.150	0.055	0.081	0.137	0.128		41.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
16.5	0.150	0.057	0.082	0.139	0.130		42.0	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
17.0	0.150	0.059	0.082	0.141	0.131		42.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
17.5	0.150	0.060	0.082	0.142	0.134		43.0	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
18.0	0.150	0.060	0.082	0.142	0.137		43.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
18.5	0.150	0.061	0.082	0.143	0.137		44.0	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
19.0	0.150	0.062	0.083	0.144	0.138		44.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
19.5	0.150	0.062	0.083	0.145	0.139		45.0	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
20.0	0.150	0.063	0.083	0.146	0.140		45.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
20.5	0.150	0.063	0.083	0.146	0.141		46.0	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
21.0	0.150	0.064	0.083	0.147	0.141		46.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
21.5	0.150	0.064	0.083	0.147	0.142		47.0	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
22.0	0.150	0.064	0.083	0.147	0.142		47.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
22.5	0.150	0.065	0.083	0.147	0.143		48.0	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
23.0	0.150	0.065	0.083	0.148	0.144		48.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
23.5	0.150	0.066	0.083	0.149	0.143		49.0	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
24.0	0.150	0.067	0.083	0.150	0.144		49.5	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
24.5	0.150	0.067	0.083	0.149	0.145		50.0	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147
25.0	0.150	0.067	0.083	0.150	0.146		PROM	0.150	0.068	0.082	0.150	0.147

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla K 5: Registro histórico de caudales de salida en las secciones de interés Prueba EB-5/ Qi=0.175 [m3/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO											
ESCENARIO DE OPERACIÓN B						PRUEBA EB-5: CAUDAL DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL = 0.175 [m3/s]					
Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]	Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]
0.5	0.175	0.000	0.000	0.000	0.000	26.0	0.175	0.092	0.082	0.174	0.173
1.5	0.175	0.000	0.049	0.049	0.000	27.0	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
2.0	0.175	0.000	0.112	0.112	0.000	27.5	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
2.5	0.175	0.000	0.114	0.114	0.000	28.0	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
4.0	0.175	0.024	0.093	0.117	0.084	29.5	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
4.5	0.175	0.014	0.090	0.104	0.089	30.0	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
5.0	0.175	0.016	0.087	0.103	0.097	30.5	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
5.5	0.175	0.021	0.084	0.106	0.093	31.0	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
6.0	0.175	0.026	0.078	0.104	0.092	31.5	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
6.5	0.175	0.030	0.079	0.109	0.085	32.0	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
7.0	0.175	0.034	0.077	0.111	0.095	32.5	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
7.5	0.175	0.035	0.076	0.111	0.101	33.0	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
8.0	0.175	0.036	0.076	0.112	0.104	33.5	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
8.5	0.175	0.037	0.075	0.112	0.106	34.0	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
9.0	0.175	0.037	0.075	0.111	0.108	34.5	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
9.5	0.175	0.037	0.075	0.112	0.109	35.0	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
10.0	0.175	0.040	0.075	0.115	0.110	35.5	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
10.5	0.175	0.048	0.077	0.125	0.111	36.0	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
11.0	0.175	0.056	0.078	0.134	0.115	36.5	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
11.5	0.175	0.063	0.079	0.142	0.123	37.0	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
12.0	0.175	0.068	0.079	0.147	0.132	37.5	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
12.5	0.175	0.071	0.080	0.151	0.139	38.0	0.175	0.093	0.081	0.174	0.174
13.0	0.175	0.073	0.082	0.154	0.145	38.5	0.175	0.093	0.081	0.174	0.174
13.5	0.175	0.074	0.082	0.156	0.148	39.0	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
14.0	0.175	0.075	0.083	0.157	0.151	39.5	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
14.5	0.175	0.076	0.083	0.159	0.153	40.0	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
15.0	0.175	0.077	0.083	0.160	0.155	40.5	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
15.5	0.175	0.078	0.083	0.162	0.156	41.0	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
16.0	0.175	0.080	0.084	0.164	0.158	41.5	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
16.5	0.175	0.082	0.084	0.166	0.160	42.0	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
17.0	0.175	0.083	0.084	0.167	0.163	42.5	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
17.5	0.175	0.083	0.084	0.167	0.165	43.0	0.175	0.092	0.081	0.173	0.173
18.0	0.175	0.084	0.084	0.168	0.166	43.5	0.175	0.092	0.081	0.173	0.173
18.5	0.175	0.085	0.084	0.168	0.167	44.0	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
19.0	0.175	0.086	0.084	0.169	0.167	44.5	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
19.5	0.175	0.086	0.083	0.170	0.168	45.0	0.175	0.093	0.081	0.174	0.174
20.0	0.175	0.087	0.083	0.171	0.168	45.5	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173
20.5	0.175	0.088	0.083	0.171	0.169	46.0	0.175	0.093	0.081	0.175	0.173
21.0	0.175	0.089	0.083	0.172	0.170	46.5	0.175	0.093	0.081	0.174	0.174
21.5	0.175	0.089	0.083	0.172	0.171	47.0	0.175	0.093	0.081	0.175	0.174
22.0	0.175	0.090	0.083	0.173	0.171	47.5	0.175	0.093	0.081	0.174	0.174
22.5	0.175	0.090	0.083	0.173	0.172	48.0	0.175	0.093	0.081	0.174	0.174
23.0	0.175	0.091	0.082	0.173	0.172	48.5	0.175	0.093	0.081	0.174	0.174
23.5	0.175	0.091	0.082	0.173	0.173	49.0	0.175	0.093	0.081	0.174	0.174
24.0	0.175	0.091	0.082	0.174	0.173	49.5	0.175	0.093	0.081	0.174	0.174
24.5	0.175	0.092	0.082	0.174	0.173	50.0	0.175	0.093	0.081	0.174	0.174
25.0	0.175	0.092	0.082	0.174	0.173	PROM	0.175	0.093	0.081	0.174	0.173

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla K 6: Registro histórico de caudales de salida en las secciones de interés Prueba EB-6/ Qi=0.200 [m3/s].

REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES EN LAS SECCIONES DE INTERÉS DEL MODELO NUMÉRICO												
ESCENARIO DE OPERACIÓN B						EB-6: CAUDAL DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL = 0.200 [m3/s]						
Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]	RÉGIMEN PERMANENTE	Time [s]	Qi [m3/s]	Qa [m3/s]	Qb [m3/s]	Qa+Qb [m3/s]	Qs [m3/s]
0.90	0.20	0.00	0.056	0.056	0.000		16.20	0.200	0.113	0.084	0.197	0.194
1.20	0.20	0.00	0.056	0.056	0.000		16.50	0.200	0.114	0.084	0.198	0.194
1.50	0.20	0.00	0.056	0.056	0.021		16.80	0.200	0.114	0.084	0.198	0.194
1.80	0.20	0.00	0.066	0.066	0.028		17.10	0.200	0.114	0.084	0.198	0.195
2.40	0.20	0.107	0.087	0.194	0.039		17.70	0.200	0.114	0.084	0.198	0.196
2.70	0.20	0.115	0.080	0.195	0.039		18.00	0.200	0.115	0.084	0.199	0.196
3.00	0.20	0.111	0.080	0.191	0.142		18.30	0.200	0.115	0.084	0.199	0.197
3.60	0.20	0.107	0.078	0.185	0.175		18.90	0.200	0.116	0.083	0.199	0.198
3.90	0.20	0.102	0.081	0.182	0.177		19.20	0.200	0.116	0.083	0.199	0.197
4.20	0.20	0.098	0.080	0.179	0.178		19.50	0.200	0.116	0.083	0.199	0.198
4.80	0.20	0.098	0.077	0.175	0.175		20.10	0.200	0.116	0.083	0.199	0.198
5.40	0.20	0.093	0.077	0.169	0.169		20.70	0.200	0.117	0.083	0.199	0.199
5.70	0.20	0.090	0.077	0.167	0.170		21.00	0.200	0.117	0.083	0.199	0.199
6.00	0.20	0.086	0.078	0.164	0.174		21.30	0.200	0.117	0.083	0.199	0.199
6.30	0.20	0.084	0.079	0.164	0.169		21.60	0.200	0.117	0.083	0.199	0.199
6.60	0.20	0.084	0.080	0.163	0.165		21.90	0.200	0.117	0.083	0.200	0.199
6.90	0.20	0.082	0.080	0.162	0.163		22.20	0.200	0.117	0.082	0.199	0.199
7.20	0.20	0.081	0.080	0.161	0.161		22.50	0.200	0.117	0.082	0.199	0.199
7.50	0.20	0.083	0.081	0.165	0.160		22.80	0.200	0.117	0.083	0.199	0.199
8.10	0.20	0.101	0.086	0.187	0.159		23.40	0.200	0.117	0.083	0.199	0.199
8.40	0.20	0.110	0.087	0.196	0.164		23.70	0.200	0.117	0.083	0.199	0.199
8.70	0.20	0.105	0.084	0.189	0.169		24.00	0.200	0.117	0.083	0.199	0.199
9.00	0.20	0.099	0.082	0.181	0.182		24.30	0.200	0.117	0.083	0.199	0.199
9.30	0.20	0.101	0.082	0.183	0.181		24.60	0.200	0.117	0.083	0.199	0.199
9.60	0.20	0.101	0.083	0.184	0.177		24.90	0.200	0.117	0.083	0.199	0.198
9.90	0.20	0.103	0.083	0.186	0.176	25.20	0.200	0.117	0.083	0.199	0.198	
10.20	0.20	0.107	0.082	0.190	0.179	25.50	0.200	0.117	0.083	0.199	0.199	
10.50	0.20	0.108	0.082	0.190	0.179	25.80	0.200	0.116	0.083	0.199	0.199	
11.10	0.20	0.106	0.085	0.191	0.185	26.40	0.200	0.116	0.083	0.199	0.198	
11.40	0.20	0.103	0.086	0.189	0.187	26.70	0.200	0.117	0.083	0.199	0.198	
11.70	0.20	0.102	0.087	0.188	0.187	27.00	0.200	0.117	0.083	0.199	0.198	
12.00	0.20	0.102	0.087	0.190	0.187	27.30	0.200	0.117	0.083	0.199	0.198	
12.30	0.20	0.103	0.088	0.190	0.187	27.60	0.200	0.117	0.083	0.199	0.198	
12.60	0.20	0.104	0.087	0.192	0.187	27.90	0.200	0.117	0.083	0.199	0.198	
12.90	0.20	0.106	0.087	0.193	0.187	28.20	0.200	0.117	0.083	0.199	0.198	
13.20	0.20	0.108	0.086	0.194	0.187	28.50	0.200	0.117	0.083	0.199	0.198	
13.50	0.20	0.110	0.085	0.195	0.188	28.80	0.200	0.117	0.083	0.199	0.198	
13.80	0.20	0.111	0.084	0.195	0.188	29.10	0.200	0.116	0.083	0.199	0.198	
14.40	0.20	0.111	0.084	0.195	0.191	29.70	0.200	0.116	0.083	0.199	0.198	
14.70	0.20	0.110	0.084	0.195	0.191	30.00	0.200	0.116	0.083	0.199	0.198	
15.00	0.20	0.111	0.084	0.195	0.192	PROM	0.200	0.117	0.083	0.199	0.199	

Qi= Caudal de ingreso al D Qa=Descarga superior Qb=Descarga inferior Qs=Caudal de salida del DC

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

ANEXO L: REGISTROS DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN “B”.

Tabla L 1: Registro de la variación temporal del calado de aproximación y la carga sobre el vertedero en la sección de interés /Prueba EB-1/ $Q_i=0.075$ [m³/s].

VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y DE LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO (75 cm AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO)									
ESCENARIO DE OPERACIÓN "B"			PRUEBA: EB-1(Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.075 [m ³ /s])						
Time [s]	y [m]	h [m]	Time [s]	y [m]	h [m]		Time [s]	y [m]	h [m]
1.0	0.000		35.0	0.257			61.5	0.3275	0.0175
2.0	0.052		36.0	0.252			62.0	0.328	0.018
3.0	0.075		37.0	0.251			62.5	0.328	0.018
4.0	0.073		38.0	0.254			63.0	0.328	0.018
5.0	0.074		39.0	0.257			63.5	0.328	0.018
6.0	0.075		40.0	0.257			64.0	0.328	0.018
7.0	0.075		41.0	0.264			64.5	0.3275	0.0175
8.0	0.074		42.0	0.273			65.0	0.327	0.017
9.0	0.076		43.0	0.286			65.5	0.327	0.017
10.0	0.075		44.0	0.297			66.0	0.327	0.017
11.0	0.082		45.0	0.307			66.5	0.327	0.017
12.0	0.081		46.0	0.309			67.0	0.327	0.017
13.0	0.076		47.0	0.309			67.5	0.3275	0.0175
14.0	0.075		47.5	0.3095			68.0	0.328	0.018
15.0	0.076		48.0	0.31			68.5	0.328	0.018
16.0	0.076		48.5	0.309			69.0	0.328	0.018
17.0	0.077		49.0	0.308			69.5	0.327	0.017
18.0	0.077		49.5	0.3075			70.0	0.326	0.016
19.0	0.074		50.0	0.307			70.5	0.327	0.017
20.0	0.076		50.5	0.308			71.0	0.328	0.018
20.5	0.076		51.0	0.309			71.5	0.3295	0.0195
21.0	0.076		51.5	0.3105	0.0005		72.0	0.331	0.021
21.5	0.075		52.0	0.312	0.002		72.5	0.3305	0.0205
22.0	0.073		52.5	0.314	0.004		73.0	0.33	0.02
23.0	0.074		53.5	0.317	0.007		74.0	0.337	0.027
23.5	0.075		54.0	0.318	0.008		74.5	0.333	0.023
24.0	0.076		54.5	0.3185	0.0085		75.0	0.329	0.019
24.5	0.075		55.0	0.319	0.009		75.5	0.33	0.02
25.0	0.075		55.5	0.321	0.011		76.0	0.331	0.021
25.5	0.079		56.0	0.323	0.013		76.5	0.332	0.022
26.0	0.083		56.5	0.324	0.014		77.0	0.333	0.023
26.5	0.092		57.0	0.325	0.015		77.5	0.333	0.023
27.0	0.101		57.5	0.3265	0.0165		78.0	0.333	0.023
28.0	0.091		58.0	0.328	0.018		78.5	0.3305	0.0205
29.0	0.137		58.5	0.328	0.018		79.0	0.328	0.018
30.0	0.209		59.0	0.328	0.018		79.5	0.3295	0.0195
31.0	0.224		59.5	0.3275	0.0175		80.0	0.331	0.021
32.0	0.232		60.0	0.327	0.017		PROM	0.32965	0.01965
33.0	0.245		60.5	0.327	0.017				

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla L 2: Registro de la variación temporal del calado de aproximación y la carga sobre el vertedero en la sección de interés /Prueba EB-2/ $Q_i=0.100$ [m³/s].

VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y DE LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO (75 cm AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO)						
ESCENARIO DE OPERACIÓN "B"			PRUEBA: EB-2(Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.100[m ³ /s])			
Time [s]	y [m]	h [m]		Time [s]	y [m]	h [m]
0.5	0			26.0	0.371	0.061
1.0	0			26.5	0.372	0.062
1.5	0.033			27.0	0.374	0.064
2.5	0.077			28.0	0.375	0.065
3.0	0.088			28.5	0.375	0.065
3.5	0.092			29.0	0.375	0.065
4.0	0.096			29.5	0.376	0.066
4.5	0.095			30.0	0.378	0.068
5.0	0.094			30.5	0.378	0.068
5.5	0.106			31.0	0.379	0.069
6.0	0.118			31.5	0.379	0.069
6.5	0.175			32.0	0.38	0.07
7.0	0.231			32.5	0.379	0.069
7.5	0.252			33.0	0.379	0.069
8.0	0.272			33.5	0.379	0.069
8.5	0.283			34.0	0.379	0.069
9.0	0.294			34.5	0.381	0.071
9.5	0.299			35.0	0.384	0.074
10.0	0.303			35.5	0.382	0.072
10.5	0.305			36.0	0.381	0.071
11.0	0.306			36.5	0.381	0.071
11.5	0.308			37.0	0.382	0.072
12.0	0.309			37.5	0.382	0.072
12.5	0.311	0.0005		38.0	0.382	0.072
13.0	0.312	0.002		38.5	0.382	0.072
13.5	0.312	0.0025		39.0	0.382	0.072
14.0	0.313	0.003		39.5	0.382	0.072
14.5	0.312	0.0025		40.0	0.382	0.072
15.0	0.312	0.002		40.5	0.382	0.072
15.5	0.319	0.009		41.0	0.383	0.073
16.0	0.327	0.017		41.5	0.383	0.073
16.5	0.337	0.027		42.0	0.383	0.073
17.0	0.348	0.038		42.5	0.382	0.072
17.5	0.351	0.041		43.0	0.382	0.072
18.0	0.354	0.044		43.5	0.382	0.072
18.5	0.355	0.045		44.0	0.383	0.073
19.0	0.356	0.046		44.5	0.382	0.072
19.5	0.355	0.045		45.0	0.382	0.072
20.0	0.355	0.045		45.5	0.382	0.072
20.5	0.357	0.047		46.0	0.383	0.073
21.0	0.359	0.049		46.5	0.382	0.072
21.5	0.361	0.051		47.0	0.382	0.072
22.0	0.364	0.054		47.5	0.382	0.072
22.5	0.365	0.055		48.0	0.383	0.073
23.0	0.367	0.057		48.5	0.383	0.073
23.5	0.367	0.057		49.0	0.383	0.073
24.0	0.367	0.057		49.5	0.383	0.073
24.5	0.368	0.058		50.0	0.383	0.073
25.0	0.369	0.059		PROM	0.383	0.073

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla L 3: Registro de la variación temporal del calado de aproximación y la carga sobre el vertedero en la sección de interés /Prueba EB-3/ $Q_i=0.125$ [m³/s].

VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y DE LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO (75 cm AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO)						
ESCENARIO DE OPERACIÓN "B"			PRUEBA: EB-3 (Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.125 [m ³ /s])			
Time [s]	y [m]	h [m]		Time [s]	y [m]	h [m]
0.5	0.000			26.0	0.416	0.106
1.0	0.000			26.5	0.416	0.106
1.5	0.042			27.0	0.416	0.106
2.0	0.084			27.5	0.416	0.106
2.5	0.094			28.0	0.416	0.106
3.0	0.103			28.5	0.416	0.106
3.5	0.109			29.0	0.416	0.106
4.0	0.115			29.5	0.416	0.106
4.5	0.178			30.0	0.416	0.106
5.0	0.240			30.5	0.416	0.106
5.5	0.272			31.0	0.416	0.106
6.5	0.317	0.007		32.0	0.417	0.107
7.0	0.330	0.020		32.5	0.417	0.107
7.5	0.337	0.027		33.0	0.417	0.107
8.0	0.343	0.033		33.5	0.417	0.107
8.5	0.347	0.037		34.0	0.417	0.107
9.0	0.350	0.040		34.5	0.417	0.107
9.5	0.352	0.042		35.0	0.417	0.107
10.0	0.353	0.043		35.5	0.417	0.107
10.5	0.355	0.045		36.0	0.417	0.107
11.0	0.356	0.046		36.5	0.417	0.107
11.5	0.356	0.046		37.0	0.417	0.107
12.0	0.355	0.045		37.5	0.417	0.107
12.5	0.365	0.055		38.0	0.417	0.107
13.0	0.374	0.064		38.5	0.417	0.107
13.5	0.385	0.075		39.0	0.417	0.107
14.0	0.395	0.085		39.5	0.417	0.107
14.5	0.398	0.088		40.0	0.417	0.107
15.0	0.401	0.091		40.5	0.417	0.107
15.5	0.401	0.091		41.0	0.417	0.107
16.0	0.401	0.091		41.5	0.417	0.107
16.5	0.402	0.092		42.0	0.417	0.107
17.0	0.402	0.092		42.5	0.417	0.107
17.5	0.404	0.094		43.0	0.417	0.107
18.0	0.406	0.096		43.5	0.417	0.107
18.5	0.408	0.098		44.0	0.417	0.107
19.0	0.409	0.099		44.5	0.417	0.107
19.5	0.410	0.100		45.0	0.417	0.107
20.0	0.411	0.101		45.5	0.417	0.107
20.5	0.411	0.101		46.0	0.417	0.107
21.0	0.411	0.101		46.5	0.417	0.107
21.5	0.412	0.102		47.0	0.417	0.107
22.0	0.412	0.102		47.5	0.417	0.107
22.5	0.413	0.103		48.0	0.417	0.107
23.0	0.414	0.104		48.5	0.417	0.107
23.5	0.414	0.104		49.0	0.417	0.107
24.0	0.414	0.104		49.5	0.417	0.107
24.5	0.415	0.105		50.0	0.417	0.107
25.0	0.415	0.105		PROM	0.417	0.107

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla L 4: Registro de la variación temporal del calado de aproximación y la carga sobre el vertedero en la sección de interés /Prueba EB-4/ $Q_i=0.150$ [m³/s].

VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y DE LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO (75 cm AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO)						
ESCENARIO DE OPERACIÓN "B"			PRUEBA: EB-4(Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.150 [m ³ /s])			
Time [s]	y [m]	h [m]		Time [s]	y [m]	h [m]
0.5	0.000			26.0	0.449	0.139
1.0	0.000			26.5	0.449	0.139
1.5	0.043			27.0	0.449	0.139
2.5	0.103			28.0	0.449	0.139
3.0	0.119			28.5	0.449	0.139
3.5	0.171			29.0	0.449	0.139
4.0	0.222			29.5	0.449	0.139
4.5	0.269			30.0	0.449	0.139
5.0	0.316	0.006		30.5	0.449	0.139
5.5	0.340	0.030		31.0	0.449	0.139
6.0	0.364	0.054		31.5	0.449	0.139
6.5	0.372	0.062		32.0	0.449	0.139
7.0	0.380	0.070		32.5	0.449	0.139
7.5	0.383	0.073		33.0	0.449	0.139
8.0	0.385	0.075		33.5	0.449	0.139
8.5	0.388	0.078		34.0	0.449	0.139
9.0	0.390	0.080		34.5	0.449	0.139
9.5	0.391	0.081		35.0	0.449	0.139
10.0	0.391	0.081		35.5	0.449	0.139
10.5	0.398	0.088		36.0	0.449	0.139
11.0	0.405	0.095		36.5	0.449	0.139
11.5	0.415	0.105		37.0	0.449	0.139
12.0	0.425	0.115		37.5	0.449	0.139
12.5	0.430	0.120		38.0	0.449	0.139
13.0	0.434	0.124		38.5	0.449	0.139
13.5	0.436	0.126		39.0	0.449	0.139
14.0	0.437	0.127		39.5	0.449	0.139
14.5	0.438	0.128		40.0	0.449	0.139
15.0	0.439	0.129		40.5	0.449	0.139
15.5	0.440	0.130		41.0	0.449	0.139
16.0	0.441	0.131		41.5	0.449	0.139
16.5	0.443	0.133		42.0	0.449	0.139
17.0	0.444	0.134		42.5	0.449	0.139
17.5	0.445	0.135		43.0	0.449	0.139
18.0	0.445	0.135		43.5	0.449	0.139
18.5	0.446	0.136		44.0	0.449	0.139
19.0	0.446	0.136		44.5	0.449	0.139
19.5	0.447	0.137		45.0	0.449	0.139
20.0	0.447	0.137		45.5	0.449	0.139
20.5	0.448	0.138		46.0	0.449	0.139
21.0	0.449	0.139		46.5	0.449	0.139
21.5	0.449	0.139		47.0	0.449	0.139
22.0	0.448	0.138		47.5	0.449	0.139
22.5	0.448	0.138		48.0	0.449	0.139
23.0	0.448	0.138		48.5	0.449	0.139
23.5	0.449	0.139		49.0	0.449	0.139
24.0	0.450	0.140		49.5	0.449	0.139
24.5	0.450	0.140		50.0	0.449	0.139
25.0	0.450	0.140		PROM	0.449	0.139

RÉGIMEN PERMANENTE

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Tabla L 5: Registro de la variación temporal del calado de aproximación y la carga sobre el vertedero en la sección de interés /Prueba EB-5/ $Q_i=0.175$ [m³/s].

VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y DE LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO (75 cm AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO)						
ESCENARIO DE OPERACIÓN "B"			PRUEBA: EB-5(Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.175 [m ³ /s])			
Time [s]	y [m]	h [m]		Time [s]	y [m]	h [m]
0.5	0.000			26.0	0.477	0.167
1.0	0.000			26.5	0.477	0.167
1.5	0.050			27.0	0.477	0.167
2.0	0.100			27.5	0.477	0.167
2.5	0.118			28.0	0.477	0.167
3.5	0.236			29.0	0.477	0.167
4.0	0.336	0.026		29.5	0.477	0.167
4.5	0.349	0.039		30.0	0.477	0.167
5.0	0.362	0.052		30.5	0.477	0.167
5.5	0.385	0.075		31.0	0.477	0.167
6.0	0.407	0.097		31.5	0.477	0.167
6.5	0.414	0.104		32.0	0.477	0.167
7.0	0.421	0.111		32.5	0.477	0.167
7.5	0.422	0.112		33.0	0.477	0.167
8.0	0.422	0.112		33.5	0.477	0.167
8.5	0.422	0.112		34.0	0.477	0.167
9.0	0.422	0.112		34.5	0.477	0.167
9.5	0.426	0.116		35.0	0.477	0.167
10.0	0.430	0.120		35.5	0.477	0.167
10.5	0.440	0.130		36.0	0.477	0.167
11.0	0.450	0.140		36.5	0.477	0.167
11.5	0.457	0.147		37.0	0.477	0.167
12.0	0.464	0.154		37.5	0.477	0.167
12.5	0.466	0.156		38.0	0.477	0.167
13.0	0.468	0.158		38.5	0.477	0.167
13.5	0.469	0.159		39.0	0.477	0.167
14.0	0.470	0.160		39.5	0.477	0.167
14.5	0.471	0.161		40.0	0.477	0.167
15.0	0.471	0.161		40.5	0.477	0.167
15.5	0.473	0.163		41.0	0.476	0.166
16.0	0.474	0.164		41.5	0.476	0.166
16.5	0.475	0.165		42.0	0.476	0.166
17.0	0.476	0.166		42.5	0.476	0.166
17.5	0.476	0.166		43.0	0.476	0.166
18.0	0.476	0.166		43.5	0.476	0.166
18.5	0.476	0.166		44.0	0.476	0.166
19.0	0.476	0.166		44.5	0.477	0.167
19.5	0.477	0.167		45.0	0.477	0.167
20.0	0.477	0.167		45.5	0.477	0.167
20.5	0.477	0.167		46.0	0.477	0.167
21.0	0.477	0.167		46.5	0.477	0.167
21.5	0.478	0.168		47.0	0.477	0.167
22.0	0.478	0.168		47.5	0.477	0.167
22.5	0.478	0.168		48.0	0.477	0.167
23.0	0.478	0.168		48.5	0.477	0.167
23.5	0.478	0.168		49.0	0.477	0.167
24.0	0.478	0.168		49.5	0.477	0.167
24.5	0.478	0.168		50.0	0.476	0.166
25.0	0.477	0.167		PROM	0.477	0.167

RÉGIMEN PERMANENTE

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

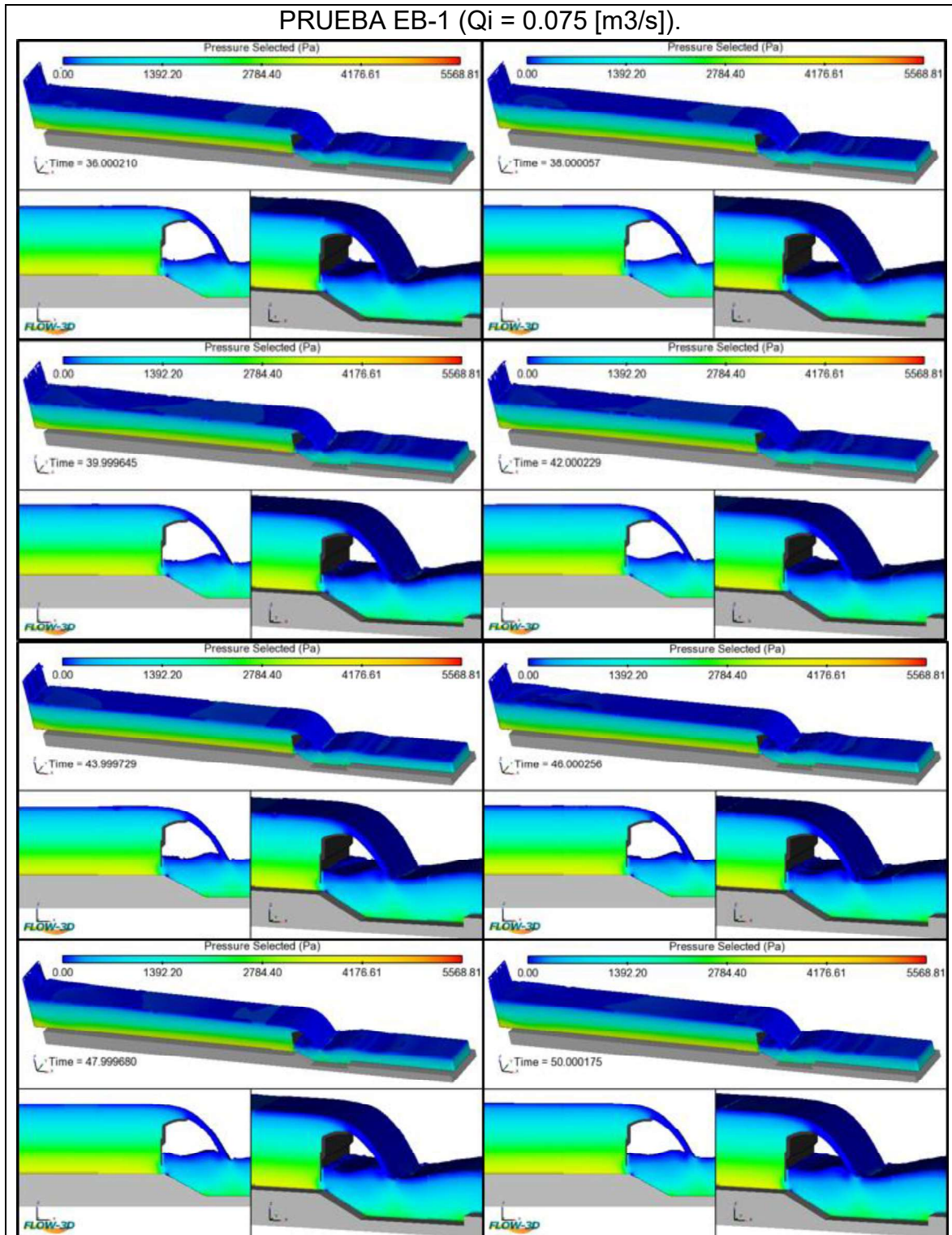
Tabla L 6: Registro de la variación temporal del calado de aproximación y la carga sobre el vertedero en la sección de interés /Prueba EB-6/ $Q_i=0.200$ [m³/s].

VARIACIÓN TEMPORAL DEL CALADO DE APROXIMACIÓN Y DE LA CARGA SOBRE EL VERTEDERO (75 cm AGUAS ARRIBA DEL PARAMENTO DE LA COMPUERTA VERTEDERO)						
ESCENARIO DE OPERACIÓN "B"			PRUEBA: EB-6(Q DE INGRESO AL DOMINIO COMPUTACIONAL=0.200 [m ³ /s])			
Time [s]	y [m]	h [m]		Time [s]	y [m]	h [m]
0.3	0.280			15.6	0.511	0.201
0.6	0.260			15.9	0.512	0.202
0.9	0.231			16.2	0.512	0.202
1.2	0.260			16.5	0.512	0.202
1.5	0.290			16.8	0.513	0.203
1.8	0.320			17.1	0.513	0.203
2.1	0.361	0.051		17.4	0.513	0.203
2.7	0.352	0.042		18.0	0.515	0.205
3.0	0.422	0.112		18.3	0.514	0.204
3.3	0.472	0.162		18.6	0.513	0.203
3.6	0.492	0.182		18.9	0.513	0.203
3.9	0.522	0.212		19.2	0.513	0.203
4.2	0.503	0.193		19.5	0.513	0.203
4.5	0.485	0.175		19.8	0.513	0.203
4.8	0.466	0.156		20.1	0.513	0.203
5.1	0.448	0.138		20.4	0.513	0.203
5.4	0.456	0.146		20.7	0.513	0.203
5.7	0.464	0.154		21.0	0.514	0.204
6.0	0.472	0.162		21.3	0.513	0.203
6.3	0.469	0.159		21.6	0.513	0.203
6.6	0.439	0.129		21.9	0.513	0.203
6.9	0.469	0.159		22.2	0.513	0.203
7.2	0.463	0.153		22.5	0.513	0.203
7.5	0.493	0.183		22.8	0.513	0.203
7.8	0.493	0.183		23.1	0.513	0.203
8.1	0.497	0.187		23.4	0.513	0.203
8.4	0.497	0.187		23.7	0.513	0.203
8.7	0.496	0.186		24.0	0.513	0.203
9.0	0.496	0.186		24.3	0.513	0.203
9.3	0.499	0.189		24.6	0.513	0.203
9.6	0.501	0.191		24.9	0.512	0.202
9.9	0.504	0.194		25.2	0.512	0.202
10.2	0.505	0.195		25.5	0.512	0.202
10.5	0.505	0.195		25.8	0.512	0.202
10.8	0.506	0.196		26.1	0.512	0.202
11.1	0.506	0.196		26.4	0.512	0.202
11.4	0.507	0.197		26.7	0.513	0.203
11.7	0.507	0.197		27.0	0.513	0.203
12.0	0.508	0.198		27.3	0.513	0.203
12.3	0.508	0.198		27.6	0.513	0.203
12.6	0.508	0.198		27.9	0.512	0.202
12.9	0.509	0.199		28.2	0.512	0.202
13.2	0.509	0.199		28.5	0.512	0.202
13.5	0.509	0.199		28.8	0.512	0.202
13.8	0.509	0.199		29.1	0.512	0.202
14.1	0.509	0.199		29.4	0.512	0.202
14.4	0.509	0.199		29.7	0.512	0.202
14.7	0.510	0.200		30.0	0.513	0.203
15.0	0.510	0.200		PROM	0.513	0.203

Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

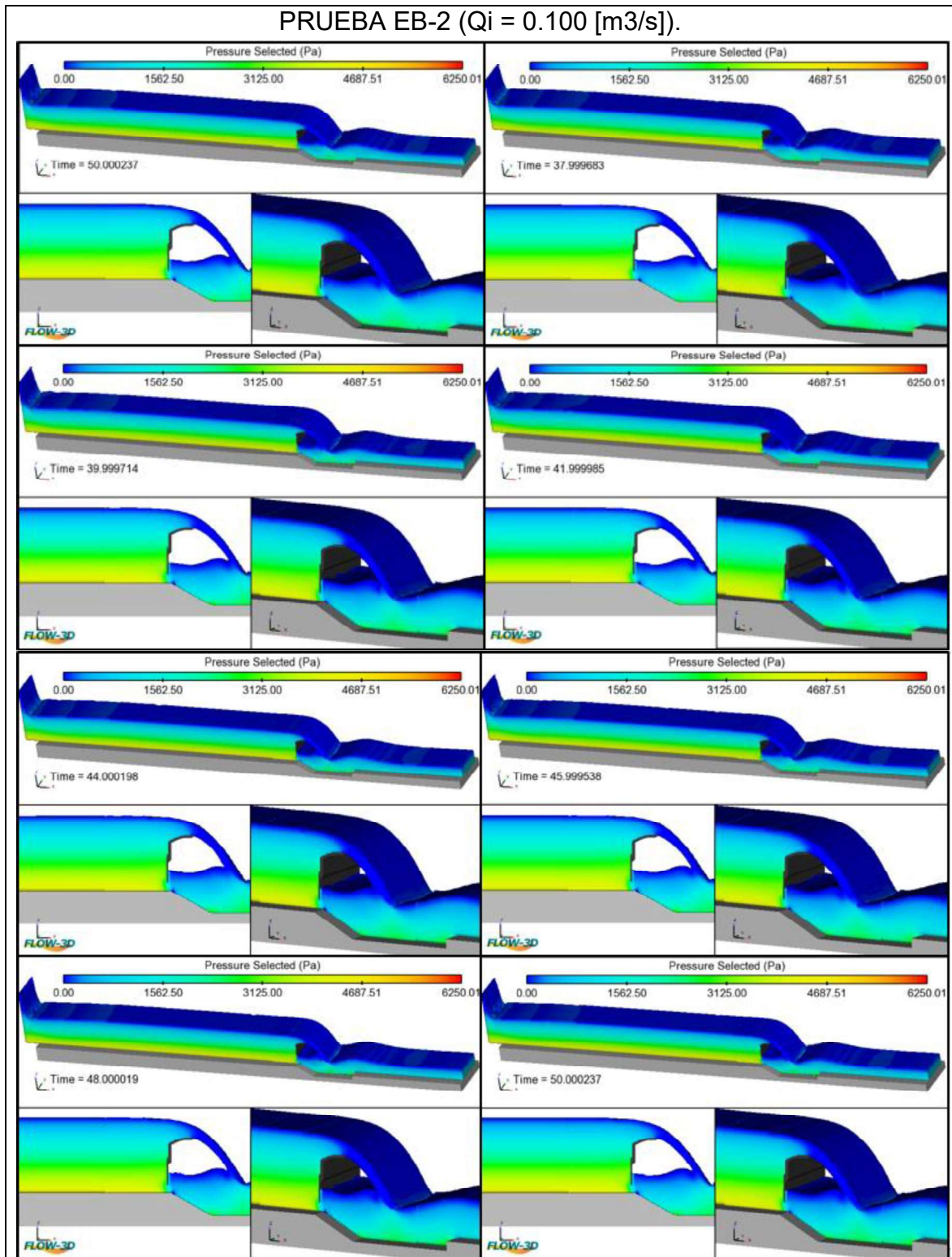
ANEXO M: PRESIONES DESARROLLADAS EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO DE OPERACIÓN “B”.

Gráfico M 1: Presiones desarrolladas en el dominio computacional Prueba EB-1 $Q_i=0.075$ [m³/s].



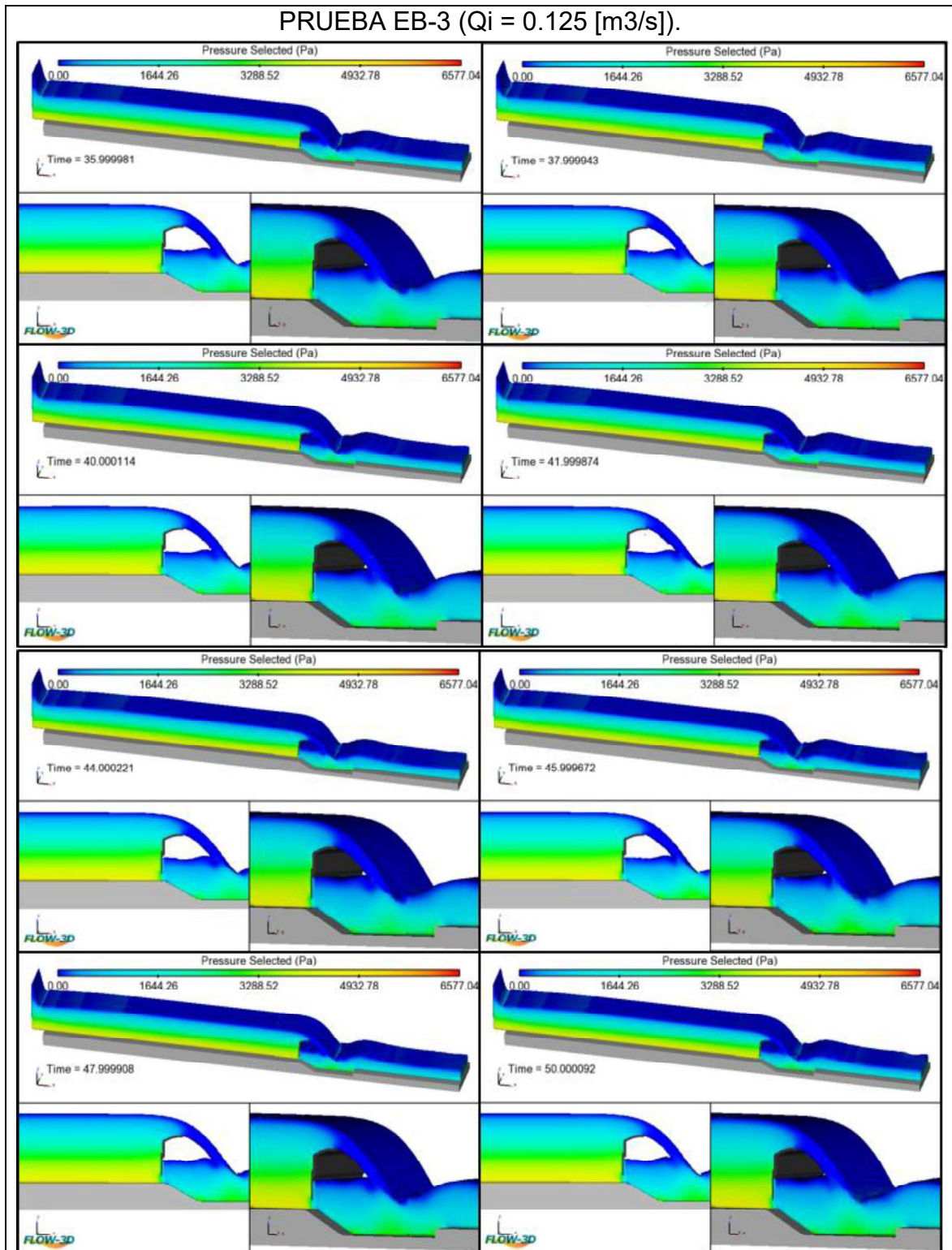
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico M 2: Presiones desarrolladas en el dominio computacional Prueba EB-2 $Q_i=0.100$ [m³/s].



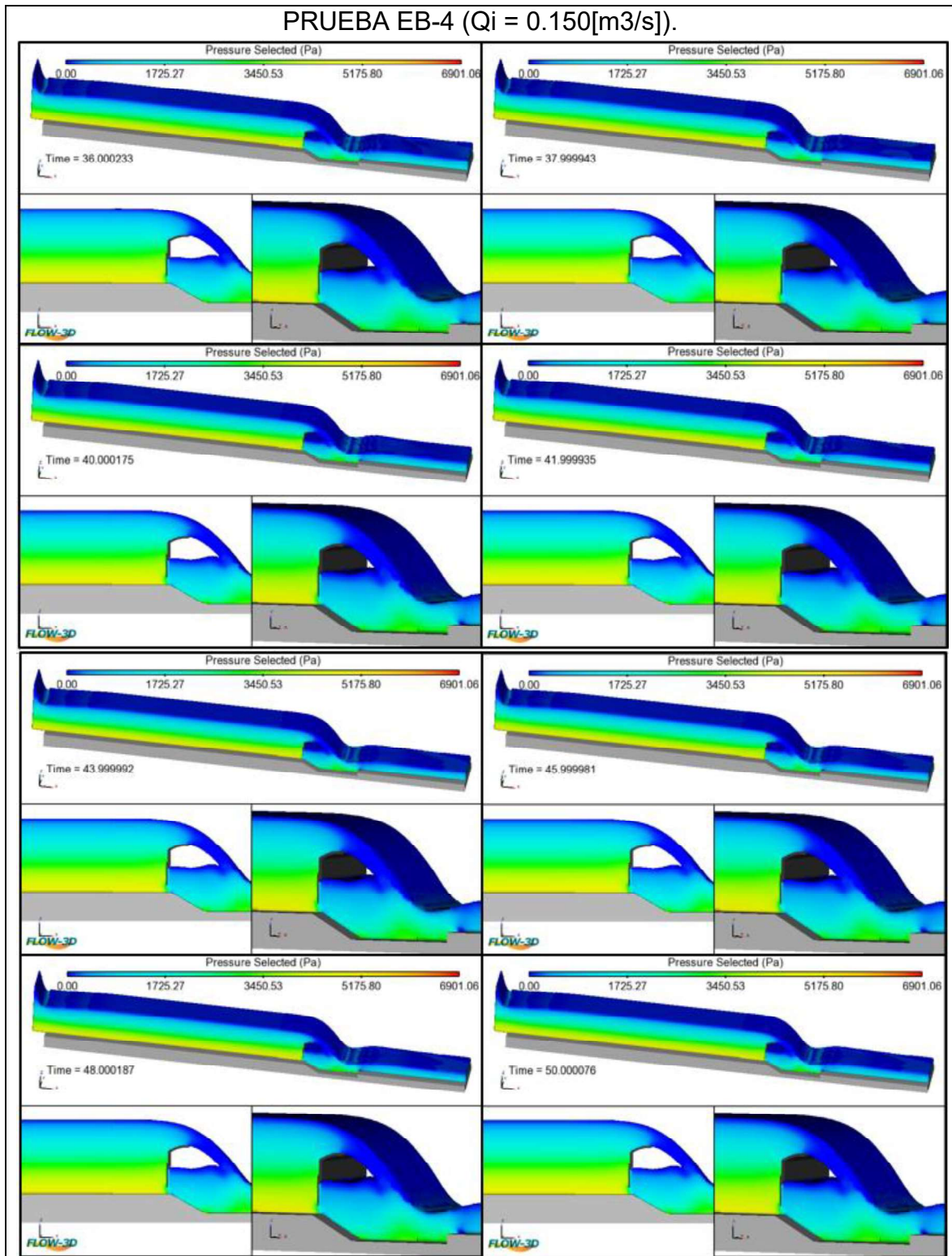
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico M 3: Presiones desarrolladas en el dominio computacional Prueba EB-3 $Q_i=0.125$ [m³/s].



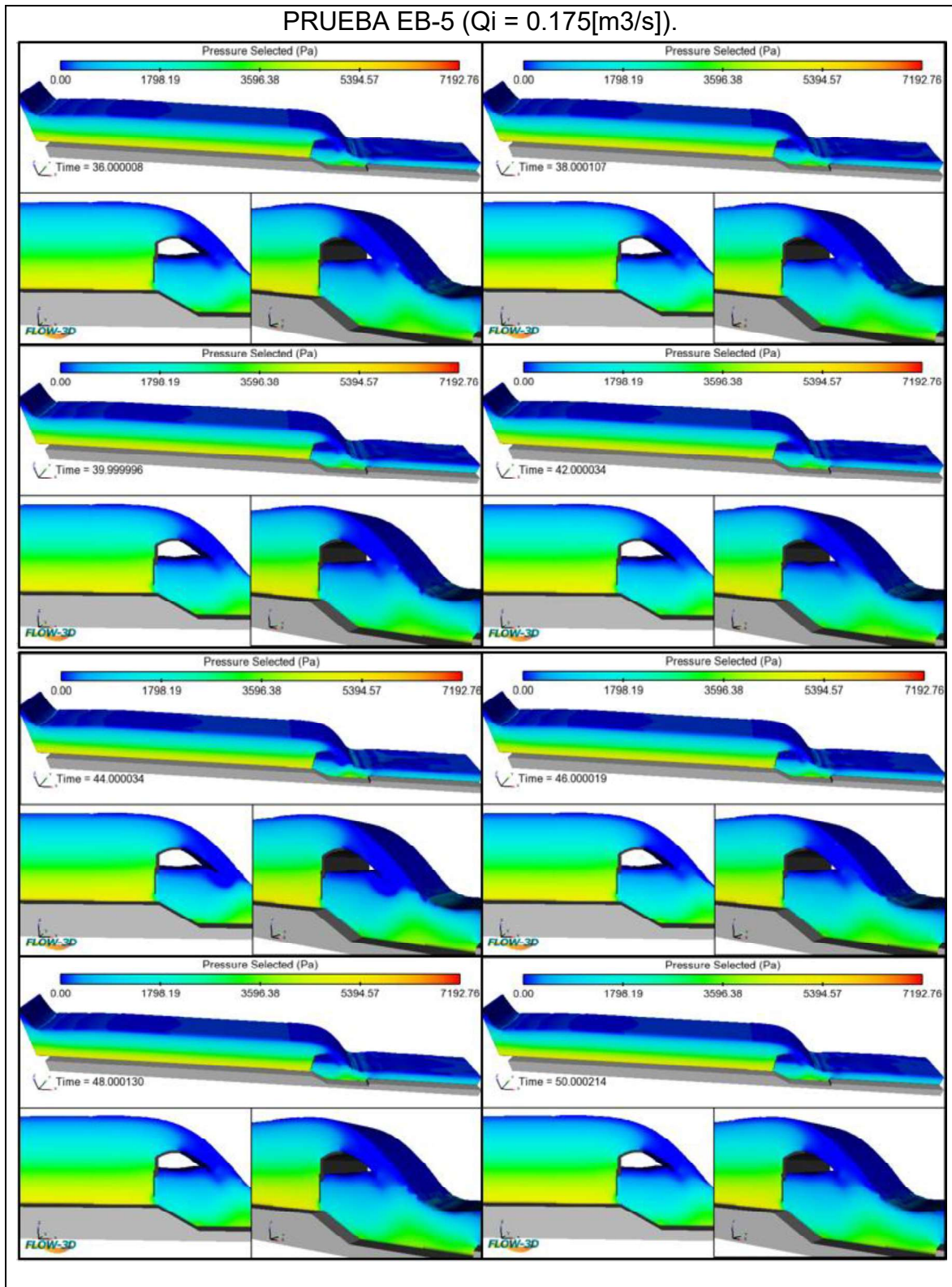
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico M 4: Presiones desarrolladas en el dominio computacional Prueba EB-4 $Q_i=0.150$ [m³/s].



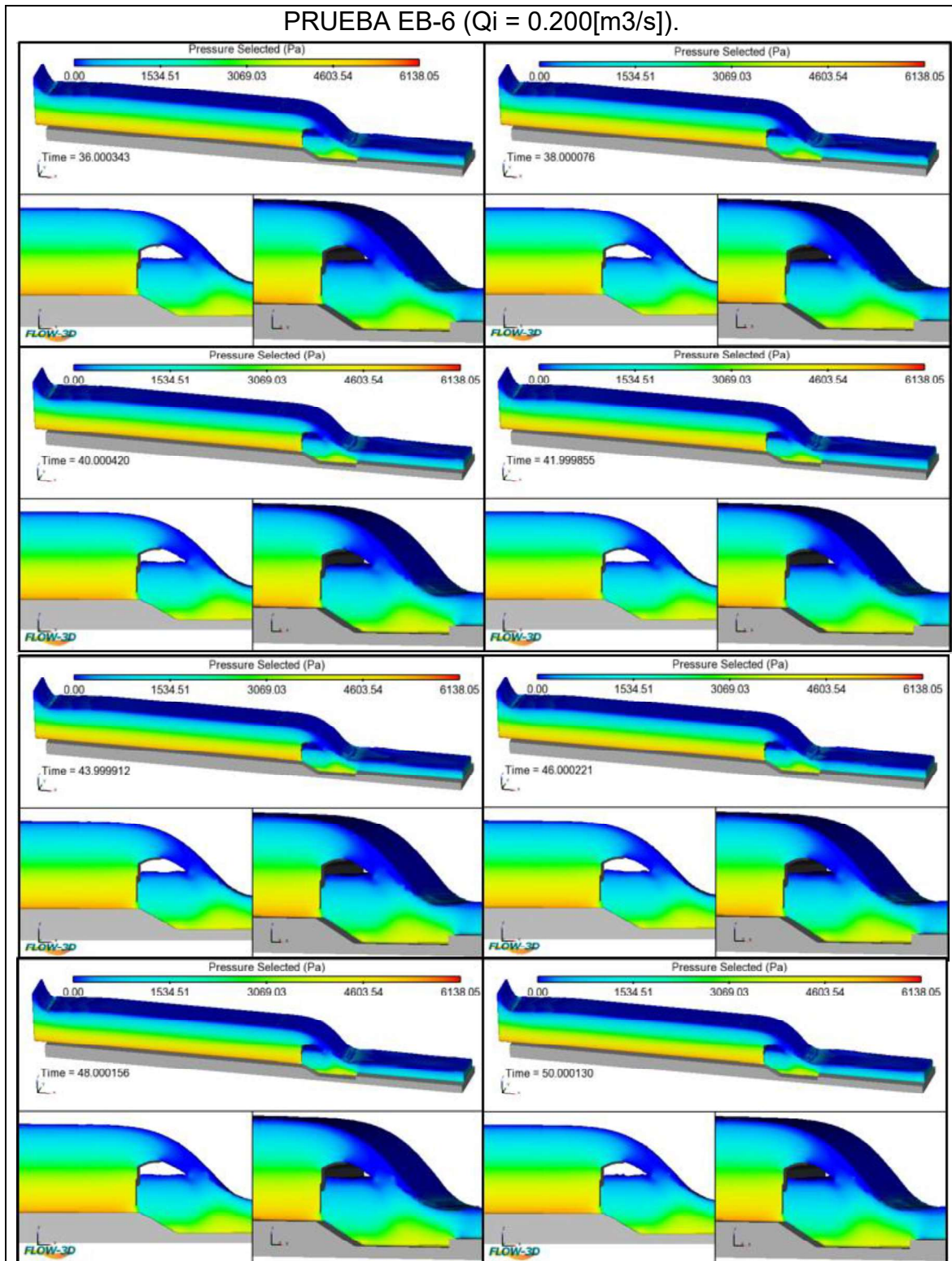
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico M 5: Presiones desarrolladas en el dominio computacional Prueba EB-5 $Q_i=0.175$ [m³/s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

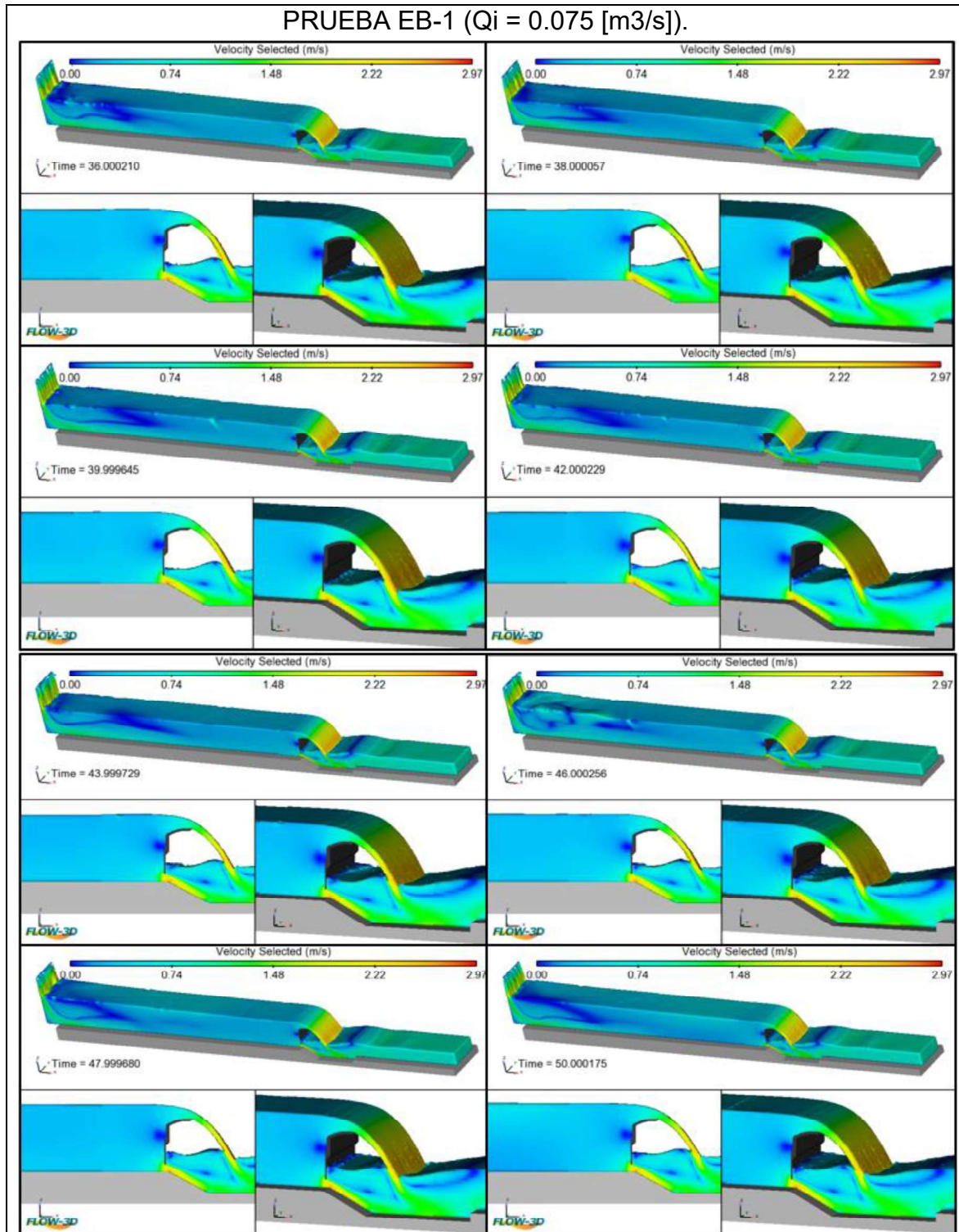
Gráfico M 6: Presiones desarrolladas en el dominio computacional Prueba EB-1 $Q_i=0.075$ [m³/s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

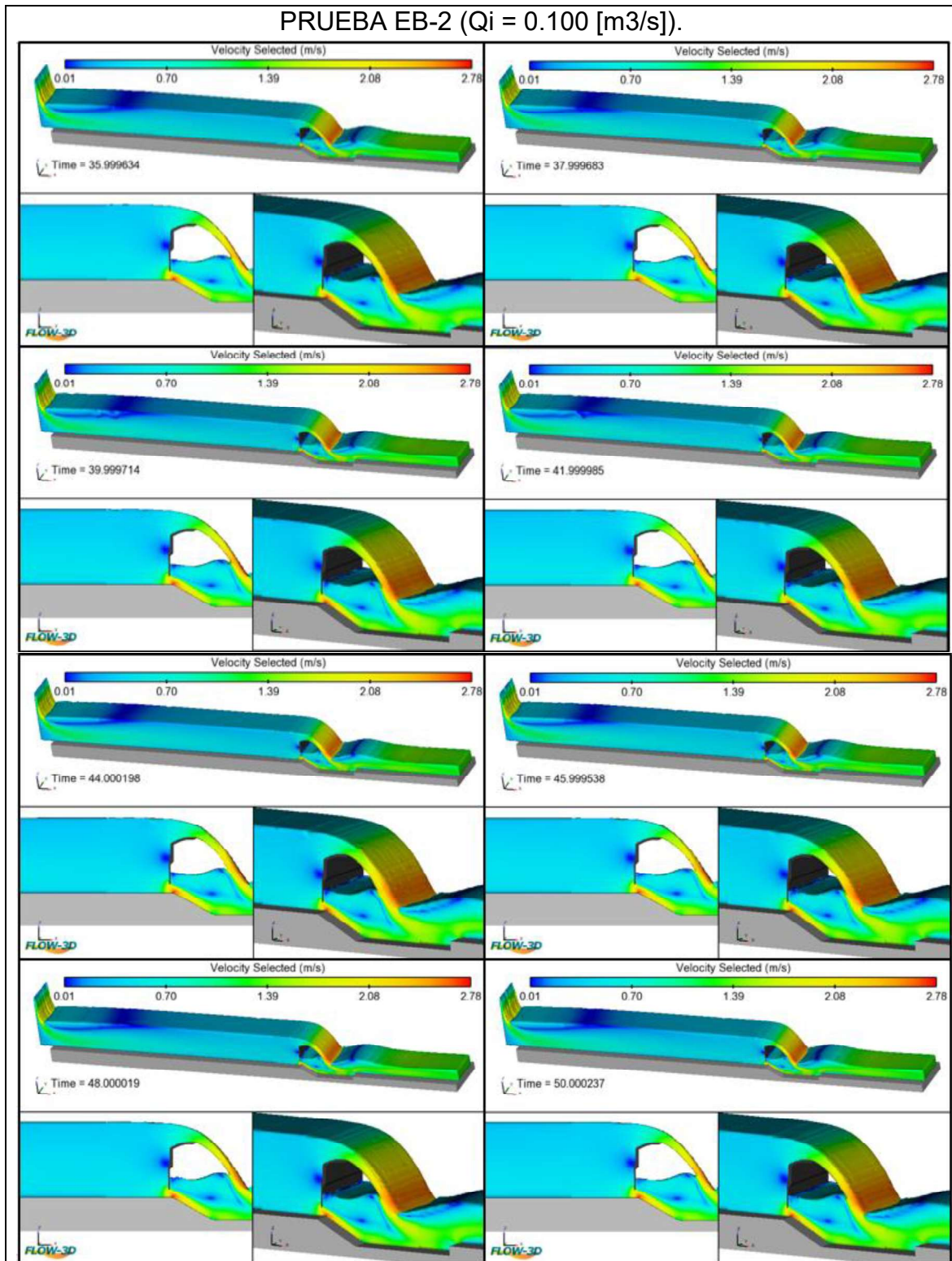
**ANEXO N: VELOCIDADES EN EL DOMINIO COMPUTACIONAL
DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS EN EL ESCENARIO
DE OPERACIÓN “B”.**

Gráfico N 1: Velocidades en el dominio computacional Prueba EA-1/ $Q_i=0.075$ [m³/s].



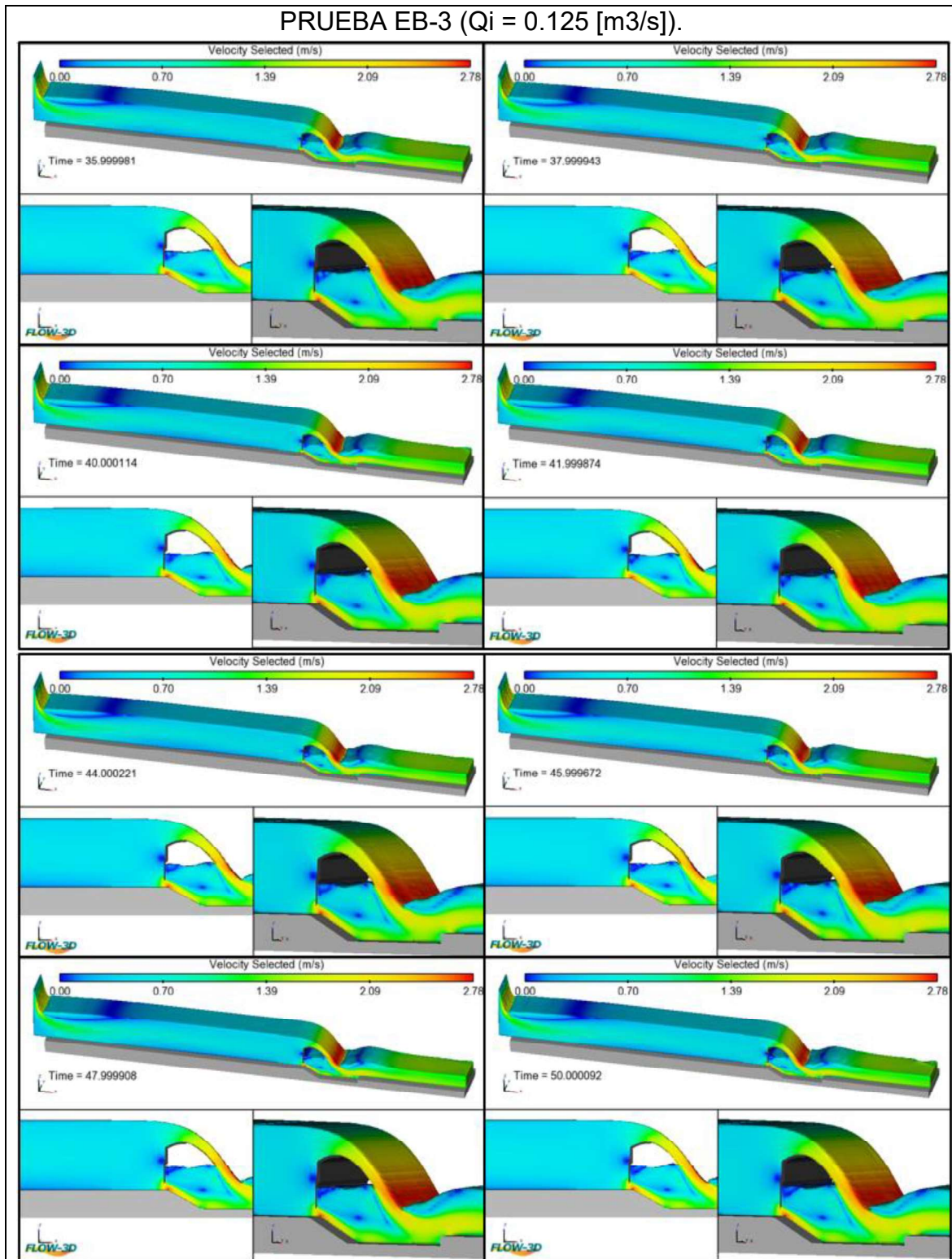
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico N 2: Velocidades en el dominio computacional Prueba EA-2/ $Q_i=0.100$ [m³/s].



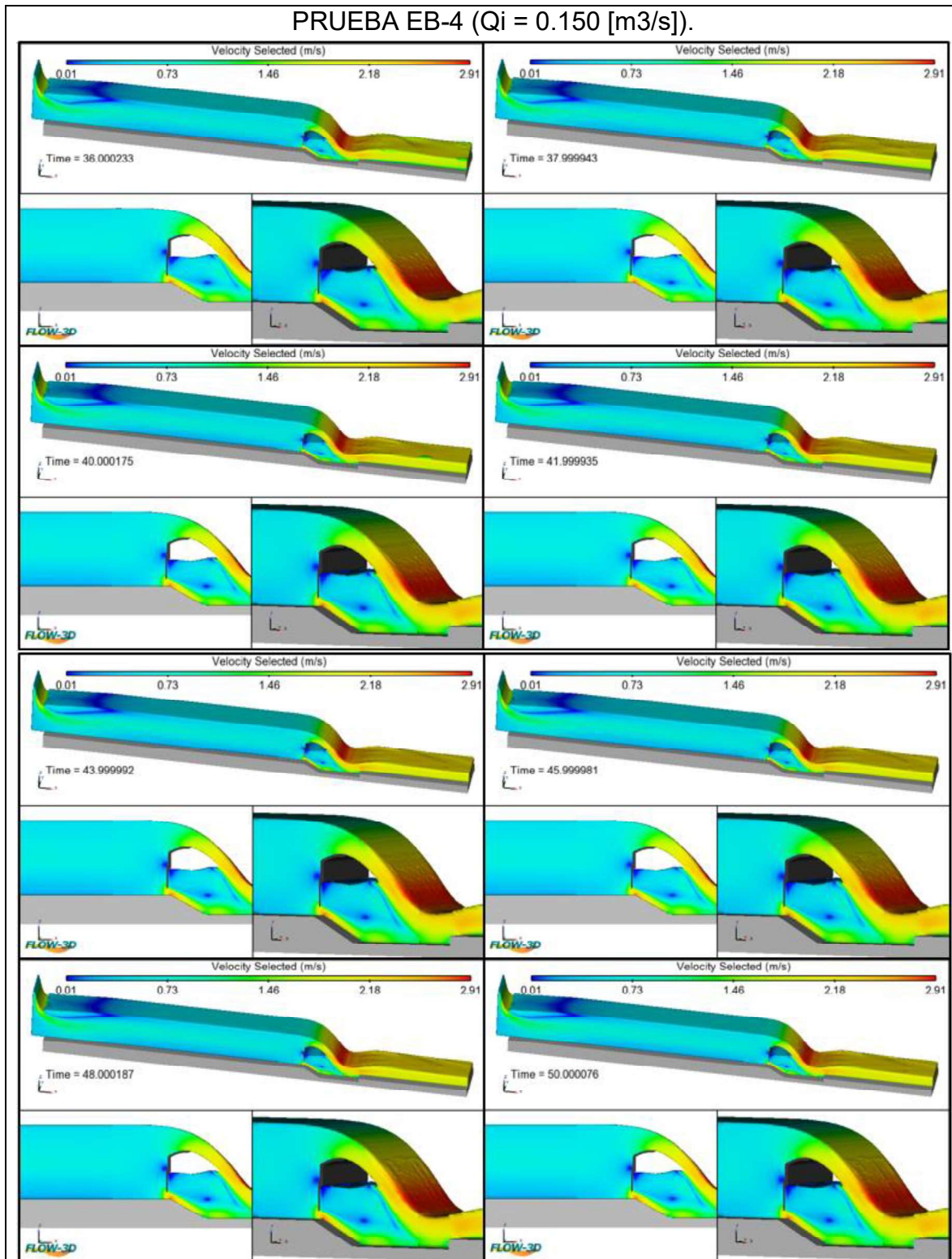
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico N 3: Velocidades en el dominio computacional Prueba EA-3/ $Q_i=0.125$ [m³/s].



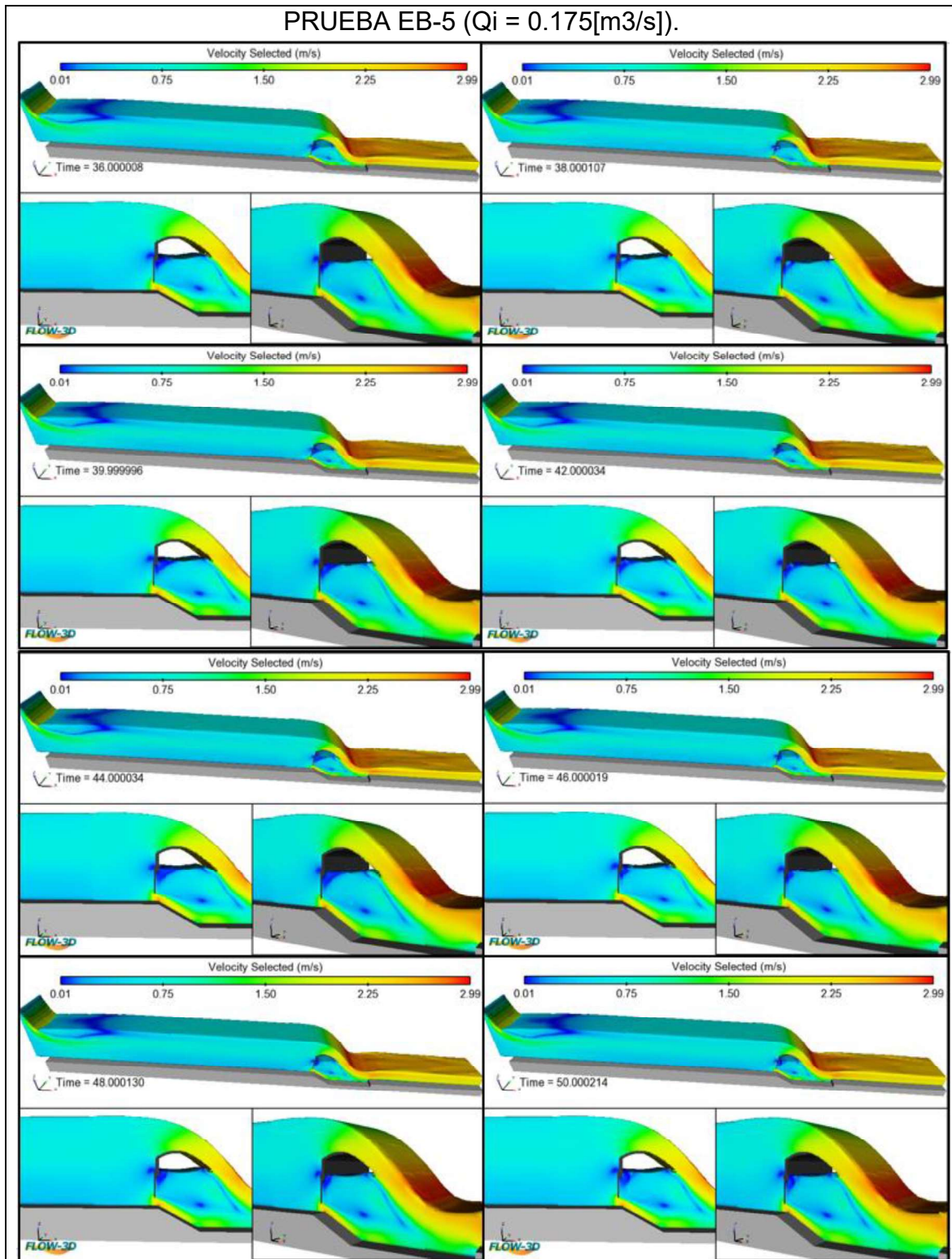
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico N 4: Velocidades en el dominio computacional Prueba EA-4/ $Q_i=0.150$ [m³/s].



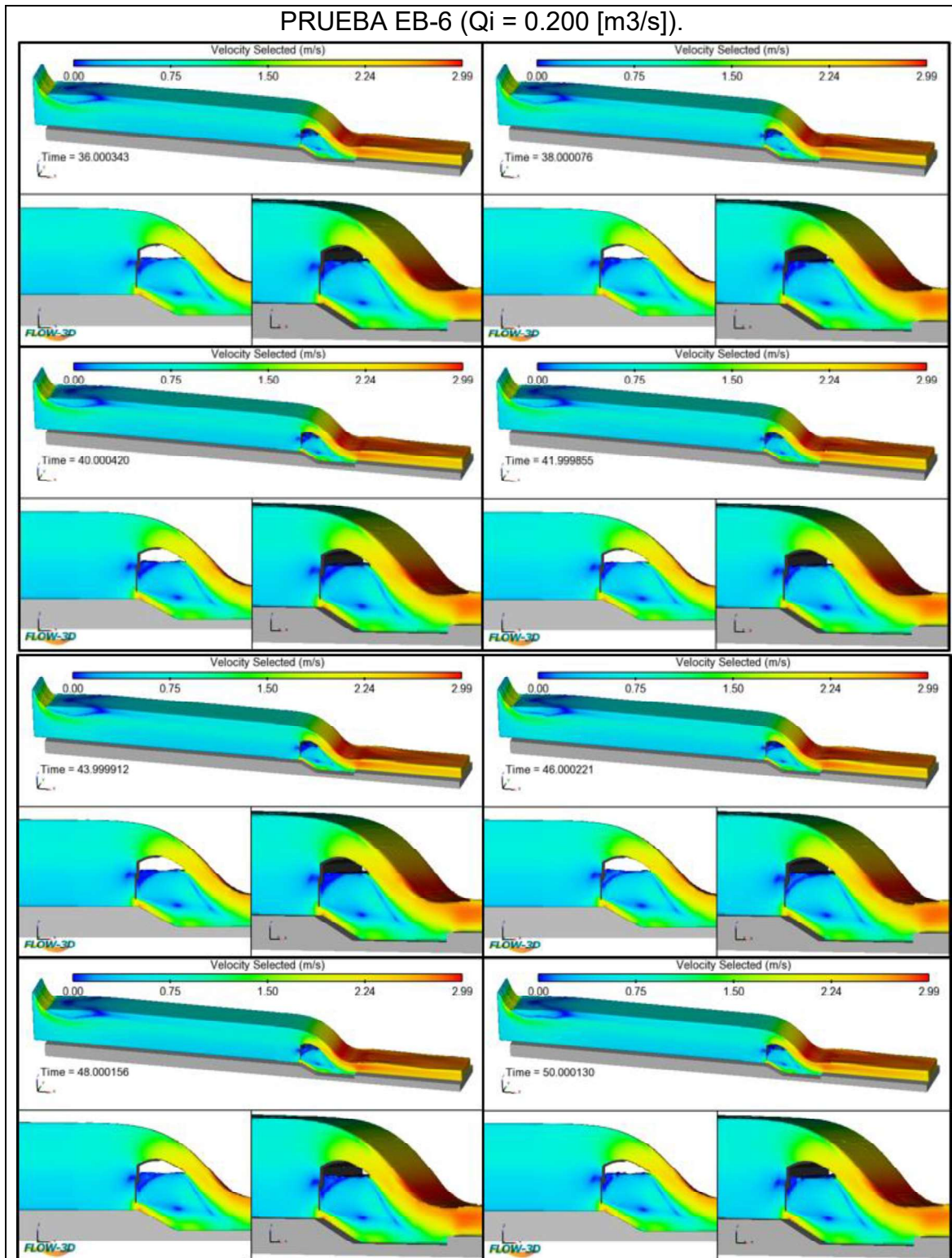
Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico N 5: Velocidades en el dominio computacional Prueba EA-5/ $Q_i=0.175$ [m³/s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.

Gráfico N 6: Velocidades en el dominio computacional Prueba EA-6/ $Q_i=0.200$ [m³/s].



Elaboración: Carlos Bohórquez Barba.