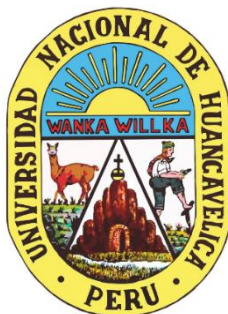


UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creado por ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“INFLUENCIA DE LOS PILARES DEL PUENTE
TABLACHACA EN EL REMANSO HIDRÁULICO DEL
RÍO ICHU”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

HIDRÁULICA

PRESENTADO POR:

Bach. CONDORI CRISPIN, Christian Slater

Bach. MANDUJANO HUAIRA, Cesar Christ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

HUANCABELICA – PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 27 días del mes de diciembre del año 2022, a horas 12:30 p.m., se reunieron los miembros del jurado calificador conformado de la siguiente manera:

PRESIDENTE : M.Sc. Marco Antonio LÓPEZ BARRANTES
<https://orcid.org/0000-0002-7481-650X>
DNI N° 21441702

SECRETARIO : Mg. Jorge Luis ORTEGA VARGAS
<https://orcid.org/0000-0003-3028-6014>
DNI N° 21549765

VOCAL : Arq. Abdón Dante OLIVERA QUINTANILLA
<https://orcid.org/0000-0003-0247-7737>
DNI N° 19878788

Designados con Resolución de Decano N° 256-2019-FCI-UNH, de fecha 04 de diciembre del 2019, a fin de proceder el acto académico de evaluación y calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "INFLUENCIA DE LOS PILARES DEL PUENTE TABLACHACA EN EL REMANSO HIDRÁULICO DEL RÍO ICHU", presentado por los Bachilleres Christian Slater CONDORI CRISPIN con DNI N° 48165287 y Cesar Christ MANDUJANO HUAIRA con DNI N° 47447193; con presencia del M.Sc. Iván Arturo Ayala Bizarro, <https://orcid.org/0000-0002-6906-4120> y DNI N° 42470714, Asesor de la presente tesis a fin de optar el Título Profesional de Ingeniero Civil; Finalizado la evaluación a horas 1:30 pm.; se invitó al público presente y a los sustentantes abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los jurados, se llegó al siguiente resultado:

Bach. Christian Slater CONDORI CRISPIN

APROBADO ☒ POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO ☐ POR

Bach. Cesar Christ MANDUJANO HUAIRA

APROBADO ☒ POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO ☐ POR

En señal de conformidad, firmamos a continuación:

Presidente

Secretario

Vº Bº Decano

Vocal

TÍTULO

**“INFLUENCIA DE LOS PÍLARES DEL PUENTE TABLACHACA
EN EL REMANSO HIDRÁULICO DEL RÍO ICHU”.**

AUTORES

Bach. CONDORI CRISPIN, Christian Slater
Bach. MANDUJANO HUAIRA, Cesar Christ

ASESOR

M. Sc. AYALA BIZARRO, Iván Arturo
CÓDIGO ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6906-4120>
DNI: 42470714

DEDICATORIA

A mi madre, por haberme formado con principios, por sus consejos, por su paciencia, por brindarme su apoyo incondicional y motivarme a ser mejor persona. A mi familia, quienes confiaron en mí siempre.

Christian Slater Condori Crispin

A todos los efectivos del Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú, ya que debo a ellos mi formación como persona, como profesional, como hijo y sobre todo como bombero.

Cesar Christ Mandujano Huaira

AGRADECIMIENTOS

A Dios, porque hoy en día nos encontramos en este mundo, con buena salud y con nuestras familias, por darnos la fuerza y tranquilidad en momentos difíciles.

A nuestras familias, quienes nos apoyaron emocional y económicamente en el proceso del desarrollo de nuestro proyecto de investigación.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil Huancavelica, quienes durante los cinco largos años de estudio nos formaron profesionalmente con entusiasmo, compartiendo sus experiencias en el ámbito laboral de la ingeniería civil.

A nuestro asesor, M. Sc. Ing. Ivan Arturo Ayala Bizarro, quien desde un inicio nos motivó, guio y orientó en el desarrollo del proyecto de investigación en la rama de la hidráulica.

A los efectivos de la Compañía de Bomberos Huancavelica N° 56, quienes amablemente estuvieron dispuestos a ayudarnos con las simulaciones en el modelo físico con el abastecimiento de agua con el camión contra incendios tipo II

Y no menos importante, agradecemos a nuestros compañeros y amigos, quienes nos ayudaron en la recolección de datos topográficos e hidráulicos para el desarrollo de esta investigación.

Los tesistas

Tabla de Contenido

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Título.....	iii
Autores.....	iv
Asesor	v
Dedicatoria.....	vi
Agradecimientos	vii
Tabla de Contenido	viii
Tabla de contenidos de tablas	xii
Tabla de contenidos de figuras.....	xix
Resumen.....	xxiv
Abstract.....	xxv
Introducción	xxvi
CAPÍTULO I	28
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	28
1.1. Descripción del problema	28
1.2. Formulación del problema	29
1.2.1. Problema general.....	29
1.2.2. Problemas específicos	29
1.3. Objetivos	29
1.3.1. Objetivo general.....	29
1.3.2. Objetivos específicos	29
1.4. Justificación	29
CAPÍTULO II	31
MARCO TEÓRICO.....	31
2.1. Antecedentes	31
2.1.1. Antecedentes internacionales	31
2.1.2. Antecedentes nacionales	32
2.1.3. Antecedentes locales	35
2.2. Bases teóricas sobre el tema de investigación.....	37
2.2.1. Puente.....	37
2.2.1.1. Partes de un puente	37

2.2.1.2.	Clasificación de los puentes	38
2.2.2.	Remanso hidráulico.....	39
2.2.2.1.	Clasificación y nomenclatura de las curvas de remanso	40
2.2.3.	Fundamentos de la hidrodinámica	43
2.2.3.1.	Fluido	43
2.2.3.2.	Fluido como medio continuo	43
2.2.3.3.	Clasificación de los flujos de fluido.....	44
2.2.3.4.	Parámetros adimensionales en la mecánica de fluidos.....	46
2.2.4.	Clasificación de los modelos físicos	48
2.2.5.	Teoría de la semejanza	49
2.2.6.	Necesidad y confiabilidad de un modelo físico	52
2.2.7.	Modelamiento numérico	52
2.2.7.1.	Dinámica computacional de fluidos (CFD)	52
2.2.7.2.	Ecuaciones de Navier – Stokes para fluidos newtonianos	53
2.2.7.3.	Métodos de solución numéricos.....	54
2.2.8.	Turbulencia	57
2.2.9.	Modelo k-épsilon (k- ϵ).....	57
2.2.10.	Modelo k-omega (k- ω).....	58
2.3.	Definición de términos.....	59
2.4.	Hipótesis	60
2.4.1.	Hipótesis General.....	60
2.4.2.	Hipótesis Especificas	60
2.5.	Identificación de variables	61
2.6.	Operacionalización de variables	61
CAPÍTULO III.....		63
MATERIALES Y MÉTODOS		63
3.1.	Ámbito de estudios	63
3.1.1.	Ámbito espacial.....	63
3.1.2.	Ámbito temporal	63
3.2.	Tipo y nivel de investigación	63
3.2.1.	Tipo de investigación	63
3.2.2.	Nivel de investigación.....	63
3.2.3.	Método de investigación	64
3.3.	Diseño de investigación	64

3.4.	Población, muestra y muestreo	65
3.4.1.	Población.....	65
3.4.2.	Muestra	65
3.4.3.	Muestreo	65
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	65
3.5.1.	Técnicas de recolección de datos	65
3.5.2.	Instrumentos de recolección de datos	66
3.5.3.	Procedimientos de recolección de datos	66
3.6.	Técnicas de procesamientos y análisis de datos.....	66
3.6.1.	Procesamiento de los datos	66
3.6.2.	Análisis de datos	67
CAPÍTULO IV.....		68
DISCUSIÓN DE RESULTADOS		68
4.1.	Sistematización de la Investigación	68
4.2.	Fotogrametría del Área de Estudio	69
4.2.1.	Área de Estudio.....	69
4.3.	Características Hidráulicas del Área de Estudio	71
4.3.1.	Sección Transversal	71
4.3.2.	Perfil Longitudinal	71
4.4.	Diseño y Construcción del Modelo Físico del Río Ichu	72
4.4.1.	Levantamiento Fotogramétrico	72
4.4.2.	Trazo y replanteo	75
4.4.3.	Ubicación de los Pilares	76
4.5.	Simulaciones en el Modelo Físico	77
4.5.1.	Datos Obtenidos del Modelo Físico – ensayo 04 pilares	78
4.5.2.	Resumen de Tirantes.....	143
4.6.	Calibración del Modelo Numérico en OpenFoam	145
4.6.1.	Pre – Procesamiento.....	145
4.6.1.1.	Creación de la Geometría y Malla	147
4.6.2.	Solucionador:	149
4.6.3.	Post – Procesamiento	155
4.6.4.	Resultados de Estudio	155
4.6.5.	Comparación de Datos (Modelo Físico Vs Modelo Numérico)	159
4.7.	Prueba del Modelo Físico con Diferentes Casos (Prueba de Hipótesis)	164

4.7.1.	Con 03 Pilares (Modelo Físico)	167
4.7.2.	Con 02 Pilares (Modelo Físico)	171
4.7.3.	Con 01 Pilar (Modelo Físico).....	174
4.7.4.	Sin Pilares (Modelo Físico).....	176
4.8.	Pruebas del Modelo Numérico con Diferentes Casos (Prueba de Hipótesis)	178
4.8.1.	Con 03 Pilares (Modelo Numérico)	178
4.8.2.	Con 02 Pilares (Modelo Numérico)	181
4.8.3.	Con 01 Pilar (Modelo Numérico)	183
4.8.4.	Sin Pilares (Modelo Numérico)	185
4.9.	Análisis Comparativo de los Datos del Modelo Físico y del Modelo Computacional	186
4.9.1.	Con 03 Pilares (Modelo Físico y Modelo Numérico)	186
4.9.2.	Con 02 Pilares (Modelo Físico y Modelo Numérico)	190
4.9.3.	Con 01 Pilar (Modelo Físico y Modelo Numérico)	193
4.9.4.	Sin Pilares (Modelo Físico y Modelo Numérico)	195
	Conclusiones	197
	Recomendaciones	198
	Referencias bibliográficas.....	199
	Apéndice	203

Tabla de contenidos de tablas

Tabla 1:	Operacionalización de variables	62
Tabla 2:	Tirantes al eje del pilar N° 01	79
Tabla 3:	Prueba de normalidad Shapiro Wilk al eje del pilar N° 01.....	79
Tabla 4:	Tirantes promedio al eje del pilar N° 01	79
Tabla 5:	Tirantes a 0.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01	80
Tabla 6:	Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 0.5 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 01	81
Tabla 7:	Tirantes promedio a 0.5cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01	81
Tabla 8:	Tirantes a 1.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01	81
Tabla 9:	Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.0 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 01	82
Tabla 10:	Tirantes promedio a 1.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01 ...	82
Tabla 11:	Tirantes a 1.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01	83
Tabla 12:	Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.5 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 01	84
Tabla 13:	Tirantes promedio a 1.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01 ...	84
Tabla 14:	Tirantes a 2.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01	84
Tabla 15:	Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.0 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 01	85
Tabla 16:	Tirantes promedio a 2.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01 ...	85
Tabla 17:	Tirantes a 2.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01	86
Tabla 18:	Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.5 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 01	87
Tabla 19:	Tirantes promedio a 2.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01 ...	87
Tabla 20:	Tirantes a 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01	87
Tabla 21:	Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 3.0 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 01	88
Tabla 22:	Tirantes promedio a 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01 ...	88
Tabla 23:	Tirantes a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01	89
Tabla 24:	Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 0.5 cm al lado derecho del eje del pilar N° 01	90
Tabla 25:	Tirantes promedio a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01.....	90

Tabla 26: Tirantes a 1.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01	90
Tabla 27: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.0 cm al lado derecho del eje del pilar N° 01	91
Tabla 28: Tirantes a 1.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01	92
Tabla 29: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.5 cm al lado derecho del eje del pilar N° 01	93
Tabla 30: Tirantes a 2.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01	93
Tabla 31: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.0 cm al lado derecho del eje del pilar N° 01	94
Tabla 32: Tirantes promedio a 2.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01	94
Tabla 33: Tirantes a 2.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01	95
Tabla 34: Prueba de normalidad Shapiro Wilk 2.5 cm al lado derecho del eje del pilar N° 01	96
Tabla 35: Tirantes promedio a 2.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01	96
Tabla 36: Tirantes a 3.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01	96
Tabla 37: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 3.0 cm al lado derecho del eje del pilar N° 01	97
Tabla 38: Tirantes promedio a 3.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01	97
Tabla 39: Tirantes al eje del pilar N° 02	99
Tabla 40: Prueba de normalidad Shapiro Wilk al eje del pilar N° 02	99
Tabla 41: Tirantes promedio al eje del pilar N° 02	99
Tabla 42: Tirantes a 0.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02	100
Tabla 43: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 0.5 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 02	101
Tabla 44: Tirantes promedio a 0.5cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02 ..	101
Tabla 45: Tirantes a 1.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02	101
Tabla 46: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.0 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 02	102
Tabla 47: Tirantes promedio a 1.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02 ..	102
Tabla 48: Tirantes a 1.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02	103
Tabla 49: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.5 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 02	104
Tabla 50: Tirantes promedio a 1.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02 ..	104
Tabla 51: Tirantes a 2.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02	104

Tabla 52: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.0 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 02	105
Tabla 53: Tirantes promedio a 2.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02 .	105
Tabla 54: Tirantes a 2.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02	106
Tabla 55: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.5 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 02	107
Tabla 56: Tirantes promedio a 2.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02 .	107
Tabla 57: Tirantes a 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02	107
Tabla 58: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 3.0 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 02	108
Tabla 59: Tirantes promedio a 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02 .	108
Tabla 60: Tirantes a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02.....	109
Tabla 61: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 0.5 cm al lado derecho del eje del pilar N° 02	110
Tabla 62: Tirantes promedio a 0.5 cm del Lado derecho del Eje del Pilar N° 02 .	110
Tabla 63: Tirantes a 1.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02.....	110
Tabla 64: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.0 cm al lado derecho del eje del pilar N° 02	111
Tabla 65: Tirantes promedio a 1.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02....	111
Tabla 66: Tirantes a 1.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02.....	112
Tabla 67: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.5 cm al lado derecho del eje del pilar N° 02	113
Tabla 68: Tirantes promedio a 1.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02....	113
Tabla 69: Tirantes a 2.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02.....	113
Tabla 70: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.0 cm al lado derecho del eje del pilar N° 02	114
Tabla 71: Tirantes promedio a 2.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02....	114
Tabla 72: Tirantes a 2.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02.....	115
Tabla 73: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.5 cm al lado derecho del eje del pilar N° 02	116
Tabla 74: Tirantes promedio a 2.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02....	116
Tabla 75: Tirantes a 3.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02.....	116
Tabla 76: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 3.0 cm al lado derecho del eje del pilar N° 02	117

Tabla 77: Tirantes promedio a 3.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02....	117
Tabla 78: Tirantes al eje del pilar N° 03	119
Tabla 79: Prueba de normalidad Shapiro Wilk al eje del pilar N° 03.....	119
Tabla 80: Tirantes promedio al eje del pilar N° 03.....	119
Tabla 81: Tirantes a 0.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03	120
Tabla 82: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 0.5 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 03	121
Tabla 83: Tirantes promedio a 0.5cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03 ..	121
Tabla 84: Tirantes a 1.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03	121
Tabla 85: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.0 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 03	122
Tabla 86: Tirantes promedio a 1.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03	122
Tabla 87: Tirantes a 1.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03	123
Tabla 88: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.5 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 03	124
Tabla 89: Tirantes promedio a 1.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03	124
Tabla 90: Tirantes a 2.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03	124
Tabla 91: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.0 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 03	125
Tabla 92: Tirantes promedio a 2.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03	125
Tabla 93: Tirantes a 2.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03	126
Tabla 94: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.5 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 03	127
Tabla 95: Tirantes promedio a 2.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03	127
Tabla 96: Tirantes a 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03	127
Tabla 97: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 3.0 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 03	128
Tabla 98: Tirantes promedio a 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03	128
Tabla 99: Tirantes a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03	129

Tabla 100:	Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 0.5 cm al lado derecho del eje del pilar N° 03	130
Tabla 101:	Tirantes promedio a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03	130
Tabla 102:	Tirantes a 1.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03	130
Tabla 103:	Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.0 cm al lado derecho del eje del pilar N° 03	131
Tabla 104:	Tirantes promedio a 1.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03	131
Tabla 105:	Tirantes a 1.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03	132
Tabla 106:	Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.5 cm al lado derecho del eje del pilar N° 03	133
Tabla 107:	Tirantes promedio a 1.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03	133
Tabla 108:	Tirantes a 2.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03	133
Tabla 109:	Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.0 cm al lado derecho del eje del pilar N° 03	134
Tabla 110:	Tirantes promedio a 2.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03	134
Tabla 111:	Tirantes a 2.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03	135
Tabla 112:	Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.5 cm al lado derecho del eje del pilar N° 03	136
Tabla 113:	Tirantes promedio a 2.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03	136
Tabla 114:	Tirantes a 3.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03	136
Tabla 115:	Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 3.0 cm al lado derecho del eje del pilar N° 03	137
Tabla 116:	Tirantes promedio a 3.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03	137
Tabla 117:	Tirantes al eje del pilar N° 04	139
Tabla 118:	Prueba de normalidad Shapiro Wilk al eje del pilar N° 04	139
Tabla 119:	Tirantes promedio al eje del pilar N° 04	139
Tabla 120:	Tirantes a 0.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 04	140
Tabla 121:	Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 0.5 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 04	141

Tabla 122:	Tirantes promedio a 0.5cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 04	141
Tabla 123:	Tirantes a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 04	141
Tabla 124:	Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 0.5 cm al lado derecho del eje del pilar N° 04	142
Tabla 125:	Tirantes promedio a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 04	142
Tabla 126:	Tirantes hidráulicos del pilar N° 01	143
Tabla 127:	Tirantes hidráulicos del pilar N° 02	144
Tabla 128:	Tirantes hidráulicos del pilar N° 03	144
Tabla 129:	Tirantes hidráulicos del pilar N° 04	145
Tabla 130:	Datos de Ingreso al OpenFoam	156
Tabla 131:	Leyenda y fórmulas	156
Tabla 132:	Datos Obtenidos del Software OpenFoam, Calibración de Modelo, Pilar N° 01	157
Tabla 133:	Datos Obtenidos del Software OpenFoam, Calibración de Modelo, Pilar N° 02	158
Tabla 134:	Datos Obtenidos del Software OpenFoam, Calibración de Modelo, Pilar N° 03	158
Tabla 135:	Datos Obtenidos del Software OpenFoam, Calibración de Modelo, Pilar N° 04	159
Tabla 136:	Datos consolidados (tirantes), calibración de los modelos, Pilar N° 01 ..	159
Tabla 137:	Datos consolidados (tirantes), calibración de los modelos, Pilar N° 02 ..	160
Tabla 138:	Datos consolidados (tirantes), calibración de los modelos, Pilar N° 03 ..	161
Tabla 139:	Datos consolidados (tirantes), calibración de los modelos, Pilar N° 04 ..	162
Tabla 140:	Diferencia de tirantes, 04 pilares.....	163
Tabla 141:	Resumen de tirantes pilar N° 01	168
Tabla 142:	Resumen de tirantes pilar N° 02	169
Tabla 143:	Resumen de tirantes pilar N° 03	171
Tabla 144:	Resumen de tirantes pilar N° 01	172
Tabla 145:	Resumen de tirantes pilar N° 02	174

Tabla 146:	Resumen de tirantes pilar N° 01	175
Tabla 147:	Resumen de tirantes sin pilares	177
Tabla 148:	Datos Obtenidos del Software OpenFoam, Simulado con 03 Pilares, Pilar N° 01	178
Tabla 149:	Datos Obtenidos del Software OpenFoam, Simulado con 03 Pilares, Pilar N° 02	179
Tabla 150:	Datos Obtenidos del Software OpenFoam, Simulado con 03 Pilares, Pilar N° 03	180
Tabla 151:	Datos Obtenidos del Software OpenFoam, Simulado con 02 Pilares, Pilar N° 01	181
Tabla 152:	Datos Obtenidos del Software OpenFoam, Simulado con 02 Pilares, Pilar N° 02	182
Tabla 153:	Datos Obtenidos del Software OpenFoam, Simulado con 01 Pilar, Pilar N° 01	183
Tabla 154:	Datos obtenidos del software OpenFoam, simulado sin pilares	185
Tabla 155:	Comparación de Datos, Prueba de Hipótesis con 03 Pilares, Pilar N° 01	186
Tabla 156:	Comparación de Datos, Prueba de Hipótesis con 03 Pilares, Pilar N° 02	187
Tabla 157:	Comparación de Datos, Prueba de Hipótesis con 03 Pilares, Pilar N° 03	188
Tabla 158:	Diferencia de tirantes, 03 pilares.....	189
Tabla 159:	Comparación de Datos, Prueba de Hipótesis con 02 Pilares, Pilar N° 01	190
Tabla 160:	Comparación de Datos, Prueba de Hipótesis con 02 Pilares, Pilar N° 02	191
Tabla 161:	Diferencia de tirantes, 02 pilares.....	192
Tabla 162:	Comparación de Datos, Prueba de Hipótesis con 01 Pilar, Pilar N° 01...	193
Tabla 163:	Diferencial de tirantes, 01 pilar.....	194
Tabla 164:	Comparación de datos, prueba de hipótesis, sin pilares.....	196

Tabla de contenidos de figuras

Figura 1: Curva de remanso en zona 1	42
Figura 2: Curva de remanso en zona 2	42
Figura 3: Curva de remanso en zona 3	43
Figura 4: Fotografías Aérea del Puente Tablachaca (Drone Phantom 4RTK).....	70
Figura 5: Ortofoto del Río Ichu (Generado en el Agisoft PhotoScan Profesional).....	70
Figura 6: Sección transversal del área de estudio.....	71
Figura 7: Perfil longitudinal	71
Figura 8: Trazo y Replanteo del Terreno Para Construir el Modelo Físico	72
Figura 9: Corte y Relleno del Terreno Para Construir el Modelo Físico	73
Figura 10: Construcción del Modelo Físico	73
Figura 11: Modelo Digital de Elevaciones (Generado en el Agisoft PhotoScan Profesional)	74
Figura 12: Ortofoto del Modelo Físico (Generado en el Agisoft PhotoScan Profesional)	74
Figura 13: Trazo y Replanteo del Perfil Longitudinal (GPS Submétrico)	75
Figura 14: Trazo y Replanteo del Perfil Longitudinal (Dibujo del eje del río Ichu en escala)	75
Figura 15: Trazo y Replanteo del Perfil Longitudinal (Captura de Pantalla del GPS Submétrico)	76
Figura 16: Ubicación de los Pilares e Instrumentación (Medidor de Tirantes).....	76
Figura 17: Cálculo del caudal en el modelo físico	77
Figura 18: Medición de tirantes pilar N° 01	78
Figura 19: Curva de remanso al eje del pilar N° 01	80
Figura 20: Curva de remanso a 0.5cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01	81
Figura 21: Curva de remanso a 1.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01	83
Figura 22: Curva de remanso a 1.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01	84
Figura 23: Curva de remanso a 2.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01	86

Figura 24:	Curva de remanso a 2.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01	87
Figura 25:	Curva de remanso a 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01	89
Figura 26:	Curva de remanso a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01	90
Figura 27:	Curva de remanso a 1.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01	92
Figura 28:	Curva de remanso a 1.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01	93
Figura 29:	Curva de remanso a 2.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01	95
Figura 30:	Curva de remanso a 2.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01	96
Figura 31:	Curva de remanso a 3.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01	98
Figura 32:	Medición de tirantes pilar N° 02	98
Figura 33:	Curva de remanso para el eje del pilar N° 02	100
Figura 34:	Curva de remanso a 0.5cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02.....	101
Figura 35:	Curva de remanso a 1.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02....	103
Figura 36:	Curva de remanso a 1.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02....	104
Figura 37:	Curva de remanso a 2.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02....	106
Figura 38:	Curva de remanso a 2.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02....	107
Figura 39:	Curva de remanso, 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02.....	109
Figura 40:	Curva de remanso a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02	110
Figura 41:	Curva de remanso a 1.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02	112
Figura 42:	Curva de remanso a 1.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02	113

Figura 43:	Curva de remanso a 2.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02	115
Figura 44:	Curva de remanso a 2.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02	116
Figura 45:	Curva de remanso a 3.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02	118
Figura 46:	Medición de tirantes pilar N° 03	118
Figura 47:	Curva de remanso al eje del pilar N° 03	120
Figura 48:	Curva de remanso a 0.5cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03	121
Figura 49:	Curva de remanso a 1.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03....	123
Figura 50:	Curva de remanso a 1.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03....	124
Figura 51:	Curva de remanso a 2.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03....	126
Figura 52:	Curva de remanso a 2.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03....	127
Figura 53:	Curva de remanso a 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03....	129
Figura 54:	Curva de remanso a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03	130
Figura 55:	Curva de remanso a 1.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03	132
Figura 56:	Curva de remanso a 1.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03	133
Figura 57:	Curva de remanso a 2.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03	135
Figura 58:	Curva de remanso a 2.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03	136
Figura 59:	Curva de remanso a 3.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03	138
Figura 60:	Medición de tirantes pilar N° 04	138
Figura 61:	Curva de remanso al eje del pilar N° 04	140
Figura 62:	Curva de remanso a 0.5cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 04....	141

Figura 63:	Curva de remanso a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 04	143
Figura 64:	Estructura sistematizada de los testeos en OpenFoam (Flujo de Superficie Libre)	146
Figura 65:	Creación de la Geometría con el paquete computacional Salome – Meca	148
Figura 66:	Mallas Refinadas (Salome - Meca)	148
Figura 67:	Mallas Refinadas (Salome - Meca)	149
Figura 68:	controlDict (Parte I)	150
Figura 69:	controlDict (Parte II)	150
Figura 70:	fvSchemes (Parte I)	151
Figura 71:	fvSchemes (Parte II)	151
Figura 72:	fvSolution (Parte I)	152
Figura 73:	fvSolution (Parte II)	152
Figura 74:	fvSolution (Parte III)	153
Figura 75:	Procesamiento (Inicio)	153
Figura 76:	Procesamiento (Final)	154
Figura 77:	Carpetas Generadas después del Procesamiento	154
Figura 78:	Tirantes máximos (sección transversal, 04 pilares)	163
Figura 79:	Tirante máximo (perfil longitudinal, 04 pilares)	164
Figura 80:	Tablero de Control para Caudales y Presiones del Camión con Incendios	165
Figura 81:	Abastecimiento de Agua (45 galones por minuto)	165
Figura 82:	Camión Contra Incendios Tipo IV (1200 galones)	166
Figura 83:	Instrumentación del Modelo Físico	166
Figura 84:	Medición de tirantes pilar N° 01	167
Figura 85:	Curva de remanso a 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01	168
Figura 86:	Medición de tirantes pilar N° 02	169
Figura 87:	Curva de remanso a 2.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02	170
Figura 88:	Medición de tirantes pilar N° 03	170
Figura 89:	Curva de remanso a 2.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03	171

Figura 90:	Medición de tirantes pilar N° 01	172
Figura 91:	Curva de remanso a 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01	173
Figura 92:	Medición de tirantes pilar N° 02	173
Figura 93:	Curva de remanso al eje del pilar N° 02	174
Figura 94:	Medición de tirantes pilar N° 01	175
Figura 95:	Curva de remanso a 1.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01	176
Figura 96:	Medición de tirantes sin pilares	177
Figura 97:	Sección del río, sin pilares	177
Figura 98:	Simulado con 03 Pilares, Generado al Eje del Pilar N° 01	179
Figura 99:	Simulado con 03 Pilares, Generado a 0.5 cm del Lado Izquierdo del Eje del Pilar N° 02.....	180
Figura 100:	Simulado con 03 Pilares, Generado a 0.5 cm del Lado Derecho del Eje del Pilar N° 03.....	181
Figura 101:	Simulado con 02 Pilares, Generado al Eje del Pilar N° 01	182
Figura 102:	Simulado con 02 Pilares, Generado a 0.5 cm del Lado Izquierdo del Eje del Pilar N° 02.....	183
Figura 103:	Simulado con 01 Pilar, Generado al Eje del Pilar N° 01	184
Figura 104:	Simulado sin Pilares	185
Figura 105:	Tirantes máximos (sección transversal, 03 pilares)	189
Figura 106:	Tirante máximo (perfil longitudinal, 03 pilares).....	189
Figura 107:	Tirantes máximos (sección transversal, 02 pilares)	192
Figura 108:	Tirantes máximos (perfil longitudinal, 02 pilares).....	193
Figura 109:	Tirante máximo (sección transversal, 01 pilar).....	194
Figura 110:	Tirante máximo (perfil longitudinal, 01 pilar)	195
Figura 111:	Tirantes representativos (Prueba de hipótesis, sin pilares)	196

RESUMEN

El trabajo de investigación “INFLUENCIA DE LOS PILARES DEL PUENTE TABLACHACA EN EL REMANSO HIDRÁULICO DEL RÍO ICHU” se desarrolló para analizar de qué manera los 04 pilares sobredimensionados en las cual se apoya el tablero del puente tablachaca influye en el comportamiento hidráulico normal del río Ichu utilizando un modelo físico a escala 1/40 y el software libre para la dinámica computacional de fluidos OpenFoam.

La investigación que se realiza es de tipo aplicada, con diseño cuasi experimental; se determinó realizar el estudio a 70 metros aguas arriba y a 70 metros aguas abajo; con técnicas de geoprocesamiento, observación, medición, calibración de equipos y descripción, se capturo datos necesarios para realizar los modelamientos físicos y numéricos a escala.

El modelo físico y el modelo numérico se hicieron a una escala de 1/40, ambos modelos son indispensables del uno y del otro, ya que ambos se complementan para la calibración de modelos, para las pruebas que se van a realizar, para la apreciación distinta de cada modelo de acuerdo a la instrumentación que se tenga en un modelo físico; se realizaron trabajo de fotogrametría en el área de estudio para poder tener a detalle el área de estudio de manera digital y en 3D, a su vez elaborar los planos topográficos para la construcción del modelo físico y elaborar el mallado triangular en el software libre Salome Meca y realizar una simulación numérica con el solver tipo RANS en el software para la dinámica computacional de fluidos, OpenFoam, se utilizó el modelo de turbulencia tipo k-épsilon, este modelo de turbulencia ya que representa y se adecúa a las condiciones de contorno que tiene nuestra área de estudio; gracias a la información que tenemos de trabajos de investigación anteriores, que están citados en el presente documento técnico, hemos logrado calibrar el modelo físico y el modelo numérico con los caudales en tiempo de avenidas máximas, y sus tirantes representativos

Palabras Clave: modelo físico y numérico, solver tipo Rans. turbulencia k-épsilon

ABSTRACT

The research work "INFLUENCE OF THE PILLARS OF THE TABLACHACA BRIDGE IN THE HYDRAULIC BACK OF THE ICHU RIVER" was developed to analyze how the 04 oversized pillars on which the deck of the tablachaca bridge rests influence the normal hydraulic behavior of the Ichu river. using a 1/40 scale physical model and the free software for computational fluid dynamics OpenFoam.

The research carried out is of an applied type, with a quasi-experimental design; It was determined to carry out the study at 70 meters upstream and 70 meters downstream; With geoprocessing, observation, measurement, equipment calibration and description techniques, the necessary data was captured to carry out the physical and numerical modeling at scale.

The physical model and the numerical model were made at a scale of 1/40, both models are essential to each other, since both complement each other for the calibration of models, for the tests that are going to be carried out, for the appreciation different from each model according to the instrumentation that is in a physical model; Photogrammetry work was carried out in the study area to be able to have the study area in detail digitally and in 3D, in turn to elaborate the topographic plans for the construction of the physical model and to elaborate the triangular mesh in the free software Salome Meca and to carry out a numerical simulation with the RANS type solver in the software for computational fluid dynamics, OpenFoam, the k-epsilon type turbulence model was used, this turbulence model since it represents and adapts to the boundary conditions that it has. our study area; Thanks to the information we have from previous research works, which are cited in this technical document, we have managed to calibrate the physical model and the numerical model with the flows in time of maximum floods, and their representative depths.

Keywords: physical and numerical model, Rans-type solver. k-epsilon turbulence.

INTRODUCCIÓN

Existen diversos trabajos de investigación en analizar y caracterizar el comportamiento de las estructuras hidráulicas con los niveles de aguas máximos extraordinarios; en nuestro país aún no se comprende el término cultura de prevención, a través de la historia se puede apreciar que las inundaciones se han incrementado por diversos factores. Para comprender como se desarrolla la interacción entre la naturaleza y la actividad socio – económica del ser humano se debe analizar minuciosamente cada factor.

El trabajo de investigación denominado “INFLUENCIA DEL PUENTE TABLACHACA EN EL REMANSO HIDRÁULICO DEL RÍO ICHU”, tiene como finalidad analizar el remanso como efecto hidráulico en el puente Tablachaca, que se encuentra dentro del Distrito de Huancavelica, Provincia y Departamento de Huancavelica, que posiblemente cada componente del puente Tablachaca influye para poder generar la curva de remanso y que por sus subestructuras sobre dimensionadas (pilares - estribos) ocupen espacio dentro del cauce del río Ichu obstruyendo el libre tránsito del caudal del río Ichu y generando peligros naturales.

Para poder desarrollar íntegramente este trabajo de investigación se necesita recopilar informes técnicos de las entidades competentes (Instituto Nacional de Defensa Civil, el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, Oficina Regional de Defensa Nacional, Seguridad Ciudadana, Gestión del Riesgo de Desastre y Desarrollo Sostenible, etc.) que han generado estudios precedentes a través de la historia, también se recopila datos históricos de los habitantes aledaños al área de estudio.

La modelación matemática del flujo de agua en lámina libre, en régimen variable, con geometrías irregulares como es el cauce natural del río Ichu se va obtener con el Software IBER que nos van a permitir modelar con precisión la Curva de Remanso en el puente Tablachaca como efecto hidráulico y poder apreciar como el nivel de agua va ascendiendo debido a las estructuras del puente Tablachaca.

Al finalizar esta investigación del puente Tablachaca en el río Ichu se podrá implementar un sustento técnico para los ejecutores, planificadores en Gestión de Riesgo y Desastres en Huancavelica ya que se necesita generar conocimiento científico, el cual nos permitirá generar Cultura de Prevención en el Distrito de Huancavelica, sólo así se va poder entender qué hacer con un riesgo determinado ya que los riesgos tienen una escala, un factor de tiempo diferente y se caracteriza por ser recurrente a través de los vectores temporales .

Esta investigación tiene la única finalidad de dejar un sustento científico para poder ejecutar Proyectos de Inversión Pública Sostenibles y entender que la Gestión de Riesgo y Desastres tiene como fin último la prevención, la reducción y el control permanente de los factores de riesgo de desastre en la sociedad, así como la adecuada preparación y respuesta ante situaciones de desastre

El presente trabajo de investigación tiene 4 capítulos, y está estructurada de la siguiente manera: Capítulo I – Planteamiento del problema; tras la descripción del problema, surgen los objetivos que se quieren obtener, todo ello justificado debidamente. Capítulo II – Marco teórico; contiene los antecedentes a nivel internacional, nacional y local, recopilados de acuerdo al ámbito de estudio; las bases teóricas, bases conceptuales y definición de términos, los conceptos descritos brindan mayores entendimientos y esclarecen a los fundamentos de la hidráulica computacional de fluidos, el modelamiento físico y el modelamiento numérico; también cuenta con la identificación y operacionalización de variables del proyecto de investigación. Capítulo III – Metodología de la investigación; describe el ámbito de estudio, el tipo, nivel y diseño de investigación, población, muestra y muestreo, técnicas de instrumento y procesamiento del proyecto de investigación. Capítulo IV – Presentación y discusión de resultados; detalla el procesamiento de la recolección de datos por fotogrametría, el análisis de información de datos hidrológicos, el procedimiento de la modelación física a escala y de la modelación numérica 3D en el software libre para la dinámica computacional de fluidos, OpenFoam; además, contiene la discusión de resultados de cada testeo. Y al final, se encuentran las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

La sobrecarga de los ríos son en parte naturales ya que son ocasionados por fenómenos naturales en épocas establecidas, estas inundaciones se caracterizan por la elevación del caudal a causa de las precipitaciones de menor a mayor escala, lo cual ocasiona la crecida de los ríos, donde a su vez arrastra todo material que se encuentra a los bordes de su trayecto, en muchas otras partes el caudal es mayor por la misma geografía de la zona y tiende a rebalsar a las orillas, por el cual el terreno se hace no apto para su vía natural, entonces trata de expandirse apropiándose de grandes terrenos, es este sentido las viviendas cercanas a estos cauces son las más perjudicadas, donde, la escasez de información, la no importancia de los riesgos a que están sometidos, la falta de elaboración de mapas de riesgos que comprendan en esencia los efectos hidráulicos que puedan indicar las zonas de peligros, la falta de charlas a los pobladores, son causas que podría originar un desastre, que aparte de causar daños económicos, podría causar la muerte y pérdidas numerosas a un país.

En el 2017, el Perú ha evidenciado el poco interés que se da a los fenómenos naturales especialmente a las inundaciones, este año se presentó inundaciones en las zonas altas de la costa de Lima, a pesar de haber tenido las consecuencias años atrás por el mismo fenómeno, no se tomó medidas para poder contrarrestar, lo que causó que se volviere a repetir afectando a numerosas familias, que por su falta de información se asentaron en zonas que era propio del cauce, originando estas pérdidas numerosas, por otra parte no se evidencian que las autoridades responsables realicen un plan de prevención de desastres naturales para la protección de estos asentamientos, si el Perú sigue sin hacer planes de contingencia es probable que este suceso sea repetida y pueda causar quizá mayor impacto por el mismo incremento de la población, para ello deberíamos ya estar preparados y tener en cuenta que los recursos son escasos.

En el caso del distrito de Huancavelica ocurrió un acontecimiento muy importante el 07 de febrero del 2012 y que no puede pasar desapercibido para

generar cultura de prevención a base de la investigación científica y comprendiendo los fenómenos hidráulicos del puente Tablachaca.

Se tiene bien en claro que cuando obstruyes el cauce del río generas peligros naturales, es el caso del puente Tablachaca que por las inmensas crecidas del caudal del río Ichu la Municipalidad Provincial de Huancavelica ha optado por construir el Puente Tablachaca para la conectividad y transitabilidad de los pobladores del Barrio de Santa Ana y San Cristóbal con pilares sobredimensionados que ocupan espacio del cauce del río Ichu, y que en épocas de avenidas máximas tiene a crecer y desbordar en lugares cercanos al puente Tablachaca.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera influyen los pilares del puente Tablachaca en el remanso hidráulico del río Ichu?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿De qué manera influye la cantidad de pilares del puente Tablachaca en el remanso hidráulico del río Ichu?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia de los pilares del puente Tablachaca en el remanso hidráulico del río Ichu.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia de la cantidad de pilares del puente Tablachaca en el remanso hidráulico del río Ichu.

1.4. Justificación

El área de estudio que pertenece al distrito de Huancavelica, departamento y región de Huancavelica, es declarada como una zona crítica por los múltiples peligros de inundabilidad, la cual es importante conocer, cómo las estructuras del puente Tablachaca pueden repercutir en las áreas cercanas inundadas, a través de las

curvas de remanso Hidráulico, activando así diferentes tipos de peligro para la salud y medios de vida.

La presente investigación es sustancial, porque buscamos conocer la influencia del puente Tablachaca en las curvas de remanso hidráulico, ya que éste, genera inundaciones que afectan a la salud pública de los habitantes cercanos al puente, más aún cuando el nivel de agua se va incrementando considerablemente en épocas de lluvia.

De esta manera, mediante la investigación se alertará a toda la población del sector, para generar cultura de prevención a base de conocimiento científico, quienes tomarán las precauciones necesarias. Para lo cual, será esencial elaborar el plan de contingencia sobre el área vulnerable por las entidades correspondientes.

Los beneficiarios de la investigación serán los pobladores que habitan cerca al puente Tablachaca del distrito de Huancavelica y los transeúntes que utilizan el puente para poder movilizarse de un lugar a otro, ya que por la zona vulnerable está expuesto parte del malecón Santa Rosa y el malecón Virgen de la Candelaria, esta investigación permitirá generar una cultura de prevención a la población evitando así posibles riesgos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Monge (2017), desarrollo el trabajo de investigación de: *“Modelo numérico de un canal de fuerte pendiente con rugosidad variable aplicando el software ANSYS CFX y comparación con los resultados en el paquete computacional OpenFOAM”*, en la Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Este trabajo de investigación tiene como finalidad realizar una modelación numérica de un canal de fuerte pendiente con rugosidad variable aplicando el software Ansys CFX y comparar con los resultados obtenidos en el paquete computacional OpenFOAM, aplicando las herramientas de la dinámica computacional de fluidos, la validación y calibración del modelo se realizará con los resultados del proyecto de titulación (Haro y Jara. 2010). La implementación de la dinámica computacional de fluidos se ha convertido en una herramienta indispensable a fin evaluar el flujo y crear diseños hidráulicos que perduren en óptimas condiciones con el pasar del tiempo. Además, Ansys CFX permite analizar la interacción entre el fluido con sus alrededores, y variar la geometría y parámetros hidráulicos rápidamente. También establece una configuración universal y adecuada en Ansys CFX para obtener resultados lo más cercanos a la realidad, tomando en cuenta los recursos computacionales. Estas configuraciones comprenden: la creación de geometrías, mallado, características del fluido, solución y procesamiento de resultados. Se obtuvieron las comparaciones de resultados entre el modelo físico, modelo Ansys CFX y modelo OpenFOAM, estableciendo porcentajes de variación en calado, velocidad y energía mecánica.

Cisneros (2017), desarrollo el trabajo de investigación para optar el grado de maestro en ingeniería: *“Estudio en modelo físico de las características del punto de inyección del vertedor escalonado de la presa de almacenamiento Zapotillo”*, en el programa de maestría y doctorado en ingeniería civil – hidráulica de la Universidad Nacional Autónoma de México. La investigación tiene como enfoque de estudio el

uso de vertedores escalonados como disipadores de energía, pues, es considerado como una ventaja en términos de riesgos de cavitación y socavación al pie de la obra, para ello, es necesario realizar estudios y/o análisis de los principales parámetros presentes en el comportamiento del flujo. En este caso, se tomó como estudio el vertedor escalonado de la presa de almacenamiento Zapotillo, se desarrolló en la escala 1:50 en el laboratorio Enzo Levi del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Donde el autor de este trabajo, tuvo que ahorrar tiempo de simulación utilizando programas en 2D, y de acuerdo a estas simulaciones utilizo condiciones de frontera para el tránsito de avenidas sobre el vertedero (modelo físico).

Ortiz & Gomez (2017), desarrollaron el trabajo de investigación: *“Modelación matemática e hidráulica del flujo en pilares en un canal con sedimentación”*, en la facultad tecnológica ingeniería civil de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Este trabajo de investigación cuenta con ensayos experimentales del flujo en un determinado prototipo, y hace mención que a veces no es posible realizar ensayos en el mismo modelo físico, por su tamaño o por la dificultad de reproducir las condiciones reales de flujo si no está construido. Entonces recomienda que se deben de realizar los ensayos con modelos a escala reducida (geométricamente semejantes). Realizó la síntesis y análisis correspondiente de la información adquirida, para generar la solución más óptima, no solo para la implementación de un análisis dimensional, sino también para la presentación de la información dentro del sistema de recolección de sedimentos que se pretendió estudiar.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Herrera (2004), realizó la tesis de pregrado: *“Investigación en el modelo hidráulico de la represa de la hidroeléctrica Chimay”*, en el departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Piura. La mencionada tesis muestra el desarrollo y resultados del modelo hidráulico de la presa Chimay ubicada en el río Tulumayo, con el fin de optimizar la geometría de la presa para lograr un flujo paralelo sin vórtices y estudiar el fenómeno de sedimentación en la presa y su limpieza efectiva. La escala del modelo fue de 1:40, modelándose 200 m aguas arriba y 400 m aguas abajo del eje de la presa, entre los elementos que se construyeron se

encuentran: la presa derivadora y la toma. Con los resultados obtenidos, se hicieron mejoras al diseño original, investigándose en el diseño modificado permitiendo cumplir el objetivo planteado. En general los resultados obtenidos verifican el funcionamiento eficiente de la presa.

Pulcha (2014), realizó la tesis de pregrado: “*Modelación matemática bi-dimensional de Estructuras hidráulicas. Aplicación a modelos Físicos de las bocatomas Chao-Virú, Achirana, Atacayán y Batea Comezango*”, en la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería. La mencionada tesis tiene por objetivo indicar que las situaciones reales tridimensionales puedan ser simplificadas al ámbito bidimensional. Para tal fin se utilizó el modelo matemático bidimensional RIVER 2D (Universidad de Alberta - Canadá), las aplicaciones de la modelación bidimensional realizadas para esta investigación son los modelos físicos de las bocatomas Chao-Virú, La Achirana, Atacayán y Batea Comezango elaborados por el Laboratorio Nacional de Hidráulica. Los valores de los parámetros hidráulicos de cada modelo físico, medidos en puntos y secciones específicas, fueron empleados para calibrar cada modelo bidimensional y realizar la comparación entre los valores medidos en modelos físico y los valores simulados en modelo bidimensional. Con la simulación bidimensional se obtuvieron parámetros hidráulicos en todo el sector de simulación (estructura hidráulica y tramo fluvial) y se tuvo la ventaja de observar el comportamiento hidráulico y extraer los valores de los parámetros hidráulicos en zonas donde no se tiene valores medidos del modelo físico. Para determinar la capacidad predictiva de la modelación bidimensional se realiza el análisis de los resultados de las simulaciones realizadas, este análisis se divide en la comparación cualitativa (descripción del comportamiento hidráulico de las bocatomas y de los ríos), y comparación cuantitativa (magnitud de los parámetros hidráulicos) respecto de los resultados observados y medidos en los modelos físicos.

Arteaga (2017), realizó la tesis de pregrado: “*Análisis hidráulico de la bocatoma María Auxiliadora del río Quiroz con modelo numérico tridimensional*”, en la facultad de ingeniería de la Universidad de Piura. La mencionada tesis tuvo como objetivo principal estudiar el desempeño hidráulico de la bocatoma y analizar el riesgo de ocurrencia de erosión, previo análisis de la interacción del flujo y

estructura hidráulica, se utilizaron herramientas y técnicas de la dinámica de fluidos computacional (CFD) para la simulación numérica tridimensional del diseño original de la bocatoma, de igual forma, para desarrollar esta simulación se utilizó el software ANSYS CFX. Se realizó un análisis de los valores de velocidad de flujo para cada tipo de condición de caudal, se consideró $Q_{prom}=50 \text{ m}^3/\text{s}$ y un $Q_{m\acute{a}x}=300 \text{ m}^3/\text{s}$ de igual forma se consideró una condición de tirante de agua 0.4 m, 0.5 m, 0.6 m, con el que se calculará la erosión en la bocatoma como resultado de la interacción entre el fluido y la estructura, por otro lado, los esfuerzos de corte serán expuestos mediante gráficos para cada tipo de condición de caudal y altura de agua, nos mostrará las zonas más afectadas por el flujo del fluido y por el transporte de sedimentos. La posibilidad de ocurrencia de erosión en la losa aguas abajo del aliviadero móvil de la bocatoma es de un valor de 25.2% cuando se presentan máximas avenidas y el valor de posibilidad de ocurrencia de erosión aumenta a 45.83% al considerar un mecanismo más conservador de los resultados de potencia de flujo obtenido. A partir de los resultados mencionados se puede verificar al observar el estado actual en la realidad la severa erosión generada en esa zona.

Jaramillo (2017), presento la tesis de pregrado: *“Evaluación del efecto de la geometría de pilares en la socavación del cauce”*, en la facultad de ingeniería de la Universidad de Piura. La mencionada tesis tuvo como objetivo principal comparar la dinámica de los flujos para las diferentes geometrías presentadas en esta investigación y evaluar cuál de los pilares influye más en la erosión del cauce. Se realizó usando herramientas y técnicas de la dinámica de fluidos computacional (CFD) para la simulación numérica tridimensional mediante el software ANSYS CFX, para esta investigación se analizarán independientemente dos pilares de sección rectangular variable en profundidad. El primero con angostamiento en la parte alta, el segundo con angostamiento en la parte baja. Se realizó la experimentación del flujo alrededor de cada geometría de pilar dentro de dos escenarios; sin foso de socavación y con foso de socavación. Finalmente, el modelo numérico logró representar de forma confiable los resultados del problema, de igual forma, se demostró que mediante contornos que representaron el campo de

velocidades y la utilización de vectores que representaban las líneas de flujo la geometría del pilar angosto en la parte baja genera más socavación.

Noblecilla (2019), presento la tesis de pregrado: *“Modelación numérica para determinar la orientación de una bifurcación en el Tramo B del Río Piura”*, en la facultad de ingeniería de la Universidad de Piura. La mencionada tesis tuvo como propósito mejorar la eficacia de captación del recurso hídrico para su posterior aprovechamiento modificando la orientación de la bifurcación en el tramo B del río Piura. Para la orientación de la bifurcación se analizó tres posibles alternativas de solución las cuales son: cuando se encuentra perpendicular al flujo, aguas arriba y aguas abajo del río; de igual forma, se utilizaron herramientas y técnicas de la dinámica de fluidos computacional (CFD) para la simulación numérica mediante el software Ansys CFX. Con los gráficos de las líneas de flujo se identificó zonas de estancamiento y depósito dentro del canal de captación para cada alternativa de solución, también, permitió identificar los nuevos parámetros de ancho de captación del caudal del río y ancho efectivo, por otro lado, los gráficos de los perfiles de velocidades permitieron obtener la orientación con mayor eficacia de captación y el cálculo de la velocidad promedio. La alternativa de aguas abajo obtuvo mejores resultados con respecto a la eficacia en la captación del recurso hídrico, debido a que la velocidad actuante en el canal es mayor y la extensión de la zona de estancamiento es menor.

2.1.3. Antecedentes locales

Huiza & Ventura (2020), realizaron la tesis de pregrado: *“Estructuras fluviales de concreto para la reducción de socavamiento en el cauce del río Ichu. Huancavelica, Perú”*, en la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Huancavelica. La investigación tuvo como objetivo la determinación de la influencia de las estructuras fluviales de concreto para la reducción de socavamiento en el cauce del río Ichu. El tipo de investigación fue aplicada de nivel explicativo considerando un grupo experimental y un grupo control, teniendo como variable independiente a las estructuras fluviales de concreto y como variable dependiente al socavamiento. Se realizó un modelamiento físico a escala 1/60 de lecho fijo no distorsionado para la medición de velocidades de flujo superficial, así

mismo, se empleó softwares para la modelación numérica de la socavación por flujo. La medición del post test y manipulación de la variable independiente ha permitido probar que las estructuras fluviales de concreto influyen significativamente en la reducción de socavamiento en el cauce del río Ichu, a través de la réplica realizada se logró probar que las estructuras fluviales de concreto de diversos tamaños y formas influyen en la reducción de la velocidad y por el cual disminuye el socavamiento del cauce del río Ichu.

Taipe (2021), realizaron la tesis de pregrado: *“Ángulo de transición y comportamiento hidráulico de un desarenador mediante modelo numérico y físico”*, en la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Huancavelica. La investigación tiene como objetivo determinar la influencia del ángulo de transición y el comportamiento hidráulico en desarenadores y/o canales de expansión, para ello, se utilizó un modelo físico del laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Huancavelica y se validó mediante el software Iber modelo 2D, calibrándolo mediante ensayos del modelo físico. Los ángulos considerados fueron 5, 10, 12.5, 45 y 90 grados, en los resultados de las velocidades en el eje x y en los resultados del modelamiento Iber 2D se observó variaciones ligeras en los parámetros hidráulicos, velocidades, tirantes de flujo y el número de Froude. El mejor ángulo de transición fue 22.2 grados, ya que se presentó resultados más estables en el comportamiento hidráulico de un desarenador o estructuras similares con canales en expansión.

Toribio & Toribio (2021), realizaron la tesis de pregrado: *“Influencia de tipos de perfil de barraje en el resalto hidráulico mediante modelo físico y numérico”*, en la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Huancavelica. La investigación tiene la finalidad de determinar la influencia del tipo de perfil de barraje en el resalto hidráulico (Parámetro Hidrodinámico) mediante un modelo físico y un modelo numérico, teniendo como parámetros el caudal de diseño, se tomó 03 tipos de perfil de barraje wes, ogee e indio. Los ensayos de transición de flujo realizados dieron la caracterización de los resaltos hidráulicos, obteniendo la velocidad y turbulencia del resalto hidráulico, así mismo, se realizó el modelamiento numérico para los diferentes tipos de perfil de barraje, tomando cuatro

puntos a lo largo del barraje, donde realizaron las mediciones para diferentes caudales de diseño.

Repuello & Sanchez (2022), realizaron la tesis de pregrado: “*Parámetros hidrodinámicos del modelamiento físico y numérico 3D del puente colonial de ascensión*”, en la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Huancavelica. La investigación tuvo como objetivo describir los parámetros hidrodinámicos del modelamiento físico y numérico 3D del puente colonial de Ascensión, donde lograron describir los parámetros hidrodinámicos del modelamiento físico y numérico 3D del puente colonial de Ascensión; por medio de los modelamientos computacionales y físicos a escala 1/30 para los caudales de máximas avenidas $Q1 = 151.90 \text{ m}^3/\text{s}$ y $Q2 = 250.00 \text{ m}^3/\text{s}$, para lo cual, previamente realizaron el levantamiento topográfico mediante la fotogrametría del prototipo para representar el puente colonial de Ascensión en el modelo físico y realizar las simulaciones, obteniendo la representación de las líneas de flujo a lo largo del modelo físico y numérico, en ambos modelos se aprecia que las líneas de flujo al interactuar con los pilares siguen una trayectoria impredecible incrementando las velocidades y formando vórtices aguas abajo de los pilares en las zonas reducidas.

2.2. Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.2.1. Puente

Según Rodríguez (2012), un puente es una obra que se construye para salvar un obstáculo dando así continuidad a una vía. Suele sustentar un camino, una carretera o una vía férrea, pero también puede transportar tuberías y líneas de distribución de energía.

Además, según Herrera (1996), un puente es una obra que se construye para salvar un obstáculo, dando así continuidad a una vía.

2.2.1.1. Partes de un puente

Rodríguez (2012) manifiesta que las partes del puente son:

A. Superestructura

Conformada por: tablero que soporta directamente las cargas; vigas, armaduras, cables, bóvedas, arcos, quienes transmiten las cargas del tablero a los apoyos (Rodríguez, 2012).

- Tablero: Esta es la base superior del rodaje que se utiliza para repartir la carga a largueros y a vigas en momentos específicos. La estructura del tablero puede estar elaborada para servir de base a una vía férrea, a un canal de riego o a un canal de navegación, en estos dos últimos casos se le llamaría puente canal y también a una tubería, en el cual su nombre sería puente tubo.

B. Infraestructura

Conformada por: pilares (apoyos centrales); estribos (apoyos extremos) que soportan directamente la superestructura; y cimientos, encargados de transmitir al terreno los esfuerzos (Rodríguez, 2012).

- Estribos: Apoyos extremos de un puente, que tienen por finalidad principal soportar la superestructura, transmitir las cargas al terreno y sostener el relleno de los accesos.
- Pilares: Apoyos intermedios de un puente, que tienen por finalidad principal soportar la superestructura y transmitir las cargas al terreno.

2.2.1.2. Clasificación de los puentes

Según Rodríguez (2012), la clasificación de puentes es como sigue:

A. Según su función

- Peatonales
- Carreteros
- Ferroviarios

B. Por los materiales de construcción

- Madera
- Mampostería
- Acero Estructural
- Sección compuesta
- Concreto Armado
- Concreto Presforzado

C. Por el tipo de estructura

- Simplemente apoyados
- Continuos
- Simples de tramos múltiples
- Cantilever (brazos voladizos)
- En arco
- Atirantado (utilizan cables rectos que atirantan el tablero)
- Colgantes
- Levadizos (basculantes)
- Pontones (puentes flotantes permanentes)

2.2.2. Remanso hidráulico

Villón (2007), se conoce como curvas de remanso o ejes hidráulicos, a los perfiles longitudinales que adquiere la superficie libre del líquido en un canal, cuando se efectúa un escurrimiento bajo las condiciones de flujo gradualmente variado.

Así mismo, Rocha (2007) menciona que, se denomina curva de remanso a la que se produce en un canal al presentarse un movimiento gradualmente variado

2.2.2.1. Clasificación y nomenclatura de las curvas de remanso

Según Villon (2007), podemos encontrar:

A. Tipos de pendiente de fondo

- Pendiente suave: Se dice que la pendiente del fondo del canal es suave, cuando para las condiciones hidráulicas (Q) y característica del canal (b, T, n, S_0) dadas, se generan un tirante normal (y_n) mayor que el crítico (y_c); esto es $y_n > y_c$, También $S_0 < S_c$.

A las curvas generalmente en este tipo de pendiente se les conoce como curvas “M” (del inglés MILD: suave, subcrítica).

- Pendiente critica: es aquella pendiente de fondo con la cual se satisface, para las condiciones dadas, que el tirante normal es igual al tirante crítico. Aquí se cumple que:

$$S = \left(\frac{Q * n}{AR^{2/3}} \right)^2$$

Las curvas de remanso generadas en este tipo de pendiente son denominadas curvas “C” (del inglés CRITICAL: crítica).

- Pendiente fuerte: es aquella con la cual, para las condiciones dadas, se produce un tirante normal menor al crítico. En esta se cumple que:

$$y_n < y_c$$

$$S_0 > S_c$$

A las curvas generadas en este tipo de pendiente se les conoce como curvas “S” (del inglés Steep: empinado, abrupto, supercrítico).

- Pendiente horizontal: Es aquella en la cual $S_0 = 0$ y como consecuencia el tirante normal se hace infinito, es decir, en la ecuación de Manning:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$\text{Si: } S = 0 \rightarrow v = 0$$

Además, de la ecuación de continuidad:

$$\text{Si: } v = \frac{Q}{A} = 0 \rightarrow A = \infty \rightarrow y_n = \infty$$

Las curvas horizontales en este tipo de pendiente se llaman curvas “H” (del inglés HORIZONTAL: horizontal).

- Pendiente adversa: Es aquella en la cual el líquido trabaja en contra de la gravedad, ya que el fondo del canal (en comparación con un plano horizontal), aumenta en el sentido del flujo, es decir la pendiente es negativa.

El tirante normal y_n no existe en este tipo de pendiente por no tener significado físico, lo cual se observa al sustituir el valor negativo de S_0 en la ecuación:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2}$$

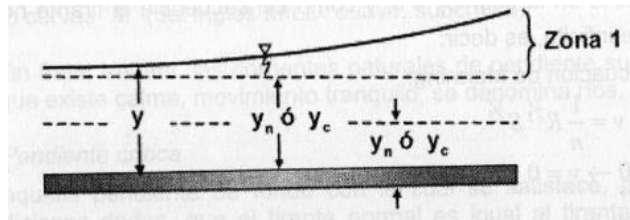
$$\text{Si: } S_0 \text{ es negativo} \rightarrow \sqrt{S_0} = \text{imaginario}$$

A las curvas generadas en este tipo de pendiente se les llama curvas “A” (del inglés ADVERSE: adversa).

B. Zonas de generación de las curvas de remanso

- Zona 1: se dice que una curva de remanso se presenta en la zona 1, cuando el tirante real de escurrimiento posee valores mayores que el normal y el crítico (figura 1), pudiendo ser este mayor que aquel o viceversa.

Figura 1: Curva de remanso en zona 1



Nota. Figura adaptada (Villon, 2007)

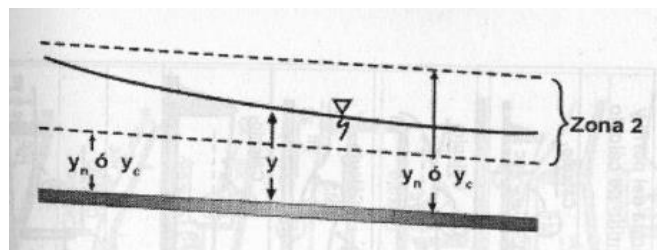
Es decir, $y > y_n$, $y > y_c$

Donde: $y_n > y_c$ ó $y_c > y_n$

- Zona 2: la curva de remanso se localiza en la zona 2, cuando el tirante real del flujo se encuentra comprendido entre el tirante normal y el crítico, (figura 2) pudiendo ser:

$$y_c < y < y_n \text{ ó } y_n < y < y_c$$

Figura 2: Curva de remanso en zona 2



Nota. Figura adaptada (Villon, 2007)

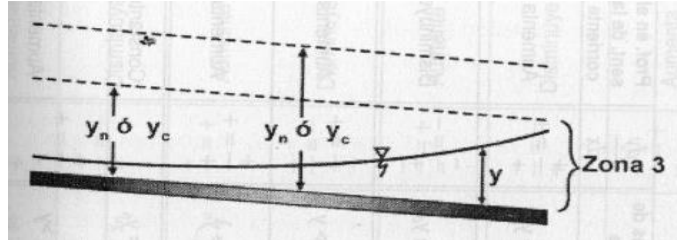
- Zona 3: la curva de remanso se localiza en la zona 3, cuando el tirante real posee valores menores que el normal y el crítico, pudiendo ser este mayor que aquel o viceversa (figura 3), es decir:

$$y < y_n , y < y_c$$

Siendo:

$$y_n > y_c \text{ ó } y_c > y_n$$

Figura 3: Curva de remanso en zona 3



Nota. Figura adaptada (Villon, 2007)

2.2.3. Fundamentos de la hidrodinámica

2.2.3.1. Fluido

La materia solo se presenta en estado sólido y fluido, la diferencia radica en la relación de ambos a un esfuerzo cortante, puesto que el sólido puede resistir mediante una deformación estática y el fluido no, pues el fluido se mueve y deforma continuamente sin importar el tamaño del esfuerzo. Existen dos clases de fluidos, líquidos y gases, la distinción radica en el efecto de las fuerzas cohesivas, ya que, el líquido está compuesto por agrupaciones de moléculas con enormes fuerzas cohesivas, que conllevan a conservar su volumen y formar una superficie libre en un campo gravitatorio; mientras que, un gas está compuesto por moléculas que se encuentran separadas entre sí, libres de expandirse hasta encontrar confinamiento, las fuerzas cohesivas son despreciables en este tipo de fluido. Si bien existen líquidos comunes como agua, aceite, mercurio, gasolina y alcohol, gases comunes como aire, helio, hidrógeno y vapor de agua en el rango de temperatura y presión normal, existen también casos donde algunas sustancias sólidas resisten esfuerzos cortantes durante un periodo corto, deformándose y comportándose como fluido en periodos largos, así mismo, hay situaciones en que la diferencia entre líquido y gas se difumina debido a la temperatura y presión por encima del punto crítico de dicha sustancia. (White, 2004).

2.2.3.2. Fluido como medio continuo

La distancia de las moléculas del fluido con respecto al diámetro molecular es mucho mayor, las moléculas dentro del volumen cambian continuamente, por ello, la variación de la densidad o masa por unidad de volumen no tiene un significado

preciso. Si la unidad de volumen es mucho mayor que el cubo del espaciado molecular el efecto mencionado pierde importancia. La mayoría de situaciones está relacionada con dimensiones físicas más grandes que un volumen límite, haciendo que la densidad sea una función puntual y las propiedades del fluido se consideren como variables continuas en el espacio, el fluido como medio continuo significa que la variación de sus propiedades es mínima que se puede utilizar el cálculo diferencial para analizarlo. (White, 2004)

2.2.3.3. Clasificación de los flujos de fluido

Potter, Wiggert y Ramadan (2016) clasifican los flujos de fluidos en:

C. Flujos en una, dos y tres dimensiones

Esta clase de flujos dependen del vector velocidad y del tiempo, se dice que el flujo es tridimensional porque el vector velocidad depende de las tres coordenadas espaciales $V(x, y, z)$; flujo bidimensional porque el vector velocidad depende de las dos coordenadas espaciales $V(x, y)$ y flujo unidimensional es aquel donde el vector velocidad solo depende de una variable espacial. En el caso de que el flujo sea permanente, la velocidad y otras propiedades son constantes en toda el área, las condiciones de flujo dependen de la variable espacial.

D. Flujos laminar y turbulento

Los flujos viscosos son aquellos que se pueden clasificar como laminares o turbulentos, se dice que es laminar cuando al fluir no hay un mezclado significativo de partículas, es decir, si se inyectara un colorante, este no se mezclará con el fluido circundante a excepción de la actividad molecular; y se dice que es turbulento cuando los movimientos del fluido varían irregularmente, haciendo que la velocidad y la presión varíen aleatoriamente en el tiempo y en las coordenadas espaciales, es decir, si se inyectara un colorante, este se mezclaría inmediatamente por la acción de las partículas del fluido que se mueven al azar, haciendo que el colorante pierda su identidad, así mismo, se define el flujo turbulento permanente cuando las cantidades físicas promedio dependen del tiempo pero no cambian con este, y como flujo turbulento no permanente cuando cambian con el tiempo.

Para determinar si un flujo es laminar o turbulento se analiza tres parámetros físicos que describen las condiciones del flujo, estos son:

- Longitud del campo del flujo (L): viene a ser el grosor de la capa límite o el diámetro de tubería, si este parámetro es grande el flujo puede ser turbulento.
- Velocidad (V): en el caso de que este parámetro sea alto el flujo podría ser turbulento.
- Viscosidad cinemática (ν): en el caso de que este parámetro sea pequeño el flujo podría ser turbulento.

Osborne Reynolds combinó estos tres parámetros en un parámetro adimensional, denominado número de Reynolds (Re).

$$Re = \frac{V L}{\nu}$$

En el caso de que el número de Reynolds sea pequeño, el flujo vendría a ser laminar, si es grande, el flujo vendría a ser turbulento. Según la geometría que este en estudio, el número de Reynolds crítico es diferente.

Por ejemplo, según Villón (2007) menciona que “en los canales se han comprobado resultados semejantes al flujo en tuberías, por lo que respecta este criterio de clasificación”. (p. 47)

- $Re < 580$; las fuerzas viscosas son relativamente más grandes que las fuerzas de inercia, por lo tanto, el flujo es laminar.
- $580 \leq Re \leq 750$; presenta un estado mixto entre flujo laminar y turbulento, por lo tanto, el flujo es transicional.
- $Re \geq 750$; las fuerzas viscosas son relativamente más pequeñas que las fuerzas de inercia, por lo tanto, el flujo es turbulento.

E. Flujo crítico, subcrítico y supercrítico

Según Villón (2007) el parámetro adimensional llamado número de Froude relaciona el efecto de la gravedad (g) con la fuerza de inercia de la velocidad (V) en

una longitud característica (L), lo cual define al flujo como crítico, subcrítico o supercrítico.

$$Fr = \frac{V L}{v}$$

Según el valor obtenido de este parámetro, el flujo puede ser:

- $Fr < 1$; las fuerzas gravitatorias son dominantes con respecto a las fuerzas de inercia, siendo tranquilo y lento, por lo tanto, el flujo es subcrítico.
- $Fr = 1$; presenta un estado de equilibrio entre las fuerzas de inercia y gravedad, por lo tanto, el flujo es crítico.
- $Fr > 1$; las fuerzas de inercia son dominantes con respecto a las fuerzas gravitatorias, siendo rápido y torrencioso, por lo tanto, el flujo es supercrítico.

F. Flujos incomprensibles y comprensibles

Se dice que un flujo incomprensible es aquel donde la densidad de cada partícula permanece relativamente constante al moverse en el campo del fluido, y que un flujo es comprensible cuando las variaciones de la densidad influyen en el flujo, por ende, tienen que tomar en cuenta los efectos de la comprensibilidad; un ejemplo de los flujos incomprensibles son los flujos atmosféricos, y de los flujos comprensibles, el flujo de la mezcla de aire y gas en un motor de combustión interna.

2.2.3.4. *Parámetros adimensionales en la mecánica de fluidos*

Ugarte (2008) menciona algunos parámetros adimensionales que están presentes con mayor frecuencia en el análisis dimensional.

A. Número de Reynolds (Re)

Representa la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas.

$$Re = \frac{F. inercia}{F. viscosas}$$

$$Re = \frac{(Presión dinámica) \times (área)}{(Esfuerzo viscoso) \times (área)}$$

$$Re = \frac{\rho V^2 L^2}{\left(\mu \frac{V}{L}\right) L^2}$$

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu}$$

Donde:

ρ = densidad (kg/m^3)

V = velocidad (m/s)

μ = viscosidad ($N.s/m^2$)

L = longitud (m)

Este parámetro determina el régimen laminar y el régimen turbulento en un escurrimiento dado.

B. Número de Froude (Fr)

Representa la relación entre la fuerza de inercia y la fuerza gravitatoria.

$$Fr = \frac{F.inercia}{F.gravedad}$$

$$Fr = \frac{\rho V^2 / L}{\rho g}$$

$$Fr = \frac{V^2}{L g}$$

Donde:

ρ = densidad (kg/m^3)

V = velocidad (m/s)

L = longitud (m)

g = gravedad (m/s^2)

Este parámetro adimensional se emplea con mayor frecuencia en el estudio de fluidos en una superficie libre, donde las fuerzas gravitacionales son importantes.

Modelamiento físico

Según Martín (2003) en su libro *Ingeniería de Ríos* menciona que:

Los modelos reducidos, modelos físicos o modelos hidráulicos son una técnica para resolver problemas de ingeniería hidráulica, consistente en el ensayo de una réplica del problema a escala reducida. La réplica reducida es lo que llamamos modelo, frente a la realidad que llamamos prototipo. Los modelos en ingeniería hidráulica son todavía necesarios porque el cálculo hidráulico no ha alcanzado la competencia suficiente para sustituirlo. El cálculo es imperfecto debido principalmente a la complejidad de los fenómenos de turbulencia y a la dificultad que impone los contornos reales, tridimensionales y “caprichosos” cuando son móviles (piénsese en un río). (p. 273)

Así mismo, Mateos (2000) menciona que:

La finalidad de un modelo es obtener una representación de un determinado proceso o situación. Naturalmente se pretende que esta representación se realice obteniendo alguna o algunas ventajas sobre la ejecución directa del acontecimiento: costo reducido, menor tiempo, visión más global, mejor calidad de información, etc. Los modelos son medios para analizar un posible acontecimiento por medio de otro y están basados en el concepto de semejanza. (p. 55)

2.2.4. Clasificación de los modelos físicos

Herrera (2004) menciona que los modelos físicos se clasifican según sus características propias:

A. Clasificación respecto de la semejanza geométrica con el prototipo

- Modelos geoméricamente semejantes o no distorsionados

Son los modelos que conservan la semejanza de todas las variables geométricas y la igualdad de ángulos correspondientes entre el modelo y el prototipo, el factor de reducción o amplificación denominado escala es único.

- Modelos geoméricamente distorsionados

Son los modelos que conservan la semejanza con el prototipo, pero la escala es diferente para las dimensiones del modelo, es decir, las dimensiones horizontales tienen una escala diferente a las dimensiones verticales. Esta diferencia de escalas se debe a diversos factores como la rugosidad, el flujo, la disponibilidad de espacio y los equipos de medición; estos factores pueden ser difíciles de representar en el modelo debido al tamaño.

B. Clasificación respecto de la movilidad y deformabilidad del fondo

- Modelos de fondo fijo

En un modelo de fondo fijo la deformabilidad del fondo no es relevante, ya que, el objetivo del modelo es el estudio de los parámetros hidráulicos como los tirantes, velocidades, superficie inundada, etc. El modelo debe representar correctamente la geometría y la rugosidad fluvial.

- Modelos de fondo móvil

En un modelo de fondo móvil se debe representar el fondo de una forma realista y confiable, ya que, el objetivo del modelo es el estudio de los fenómenos hidráulicos que ocurren por la movilidad y deformabilidad de la sección como el transporte de sedimentos, la erosión de la superficie, etc. Se puede representar el modelo con lecho móvil por zonas y los bordes fijos.

2.2.5. Teoría de la semejanza

Martín (2003) en su libro *Ingeniería de Ríos* menciona que la teoría de semejanza es un conjunto de conceptos y métodos de análisis que relaciona el modelo con el prototipo, orientando a la construcción y ensayo de las magnitudes del modelo en una escala apropiada, para ello se analizará las siguientes similitudes:

A. Semejanza geométrica

Según Echávez (1996) “Hay semejanza geométrica entre el modelo y el prototipo si el cociente de longitudes correspondientes (homologas) es el mismo. Así, la relación de tirantes, anchos, distancias, etc., Correspondientes debe ser constante”. (p. 37)

El prototipo viene a ser la estructura real que está en estudio, mientras que, el modelo viene a ser la maqueta escalada de la estructura, así mismo, el cociente de longitudes entre el modelo y prototipo se denomina escala de longitudes (le).

B. Semejanza cinemática

Según Echávez (1996) “Hay semejanza cinemática si los componentes de la velocidad, de todos los puntos correspondientes, son semejantes geoméricamente”. (p. 38)

Así mismo Martin (2003) menciona que mientras exista semejanza geométrica entre el modelo y el prototipo, será posible que las trayectorias recorridas por cualquier partícula guarden relación constante y única en todo el dominio de estudio, siempre que exista una magnitud de tiempo común y única en todo el dominio del movimiento; así es como sería posible definir las escalas de magnitudes cinemáticas.

C. Semejanza dinámica

Según Echávez (1996) “Existe semejanza dinámica si los polígonos de fuerza, de todos los puntos correspondientes, son semejantes geoméricamente”. (p. 38)

Así mismo Martin (2003) menciona que la acción de diferentes fuerzas sobre un elemento causa su movimiento, estas fuerzas son representadas mediante vectores, que forman un polígono de fuerzas, estaríamos estableciendo una semejanza dinámica entre las fuerzas causantes del movimiento en el prototipo y en el modelo, si los polígonos de fuerzas guardan semejanza geométrica.

D. Semejanza hidráulica

Martin (2003) menciona que la semejanza dinámica entre un modelo y un prototipo es rigurosamente imposible en la hidráulica, pues no se puede satisfacer simultáneamente todas las condiciones de semejanza, por dicho motivo se recurre al concepto de semejanza hidráulica aproximada, ya que exige la identidad entre modelo y prototipo del cociente entre una sola fuerza exterior y la fuerza de inercia, así mismo, estos son precisamente los números de Froud y Reynolds para el caso de

las fuerzas gravitatorias y viscosas respectivamente. Para que se cumpla el criterio de similitud adecuada, el modelo debe participar de algunas de las cualidades del prototipo que se trata de reproducir.

- **Similitud de número de Froude**

La fuerza de gravedad es la que domina en los problemas de obras hidráulicas, en la similitud o semejanza de Froude se garantiza que esta fuerza en su proporción con su resultante se reproduzca correctamente en el modelo. (Martín, 2003)

Así mismo, según Rocha (1998) como condición necesaria “Para que haya similitud entre el modelo y el prototipo ambos deben tener el mismo Número de Froude”. (p. 250)

$$F_{MODELO} = F_{PROTOTIPO}$$

- **Similitud de número de Reynolds**

Según Rocha (1998) “Se requiere además que en el modelo haya suficiente turbulencia. El Número de Reynolds del modelo debe necesariamente ser mayor que el Número de Reynolds crítico (del modelo) que separa los escurrimientos laminares de los turbulentos” (p. 250).

$$Re_{MODELO} > Re_{CRITICO}$$

Calibración de un modelo físico

Si bien el modelo físico no solo debe representar el prototipo en estudio, sino que también debe reflejar las cualidades de este, para ello se debe verificar si realmente el modelo puede representarlas o si es necesario que se efectuar cambios para superar aquello que discrepe de la realidad del prototipo, por ende, se recomienda calibrar el modelo antes y durante su ejecución, adecuando las condiciones y características físicas e hidráulicas, como la rugosidad del lecho, la descarga, los niveles del agua, la sección de la superficie del lecho, con las del prototipo. (Herrera, 2004)

2.2.6. Necesidad y confiabilidad de un modelo físico

La necesidad de un modelo físico está presente en la mayoría de casos donde la teoría es incompleta, inaplicable o inexistente, la enorme ventaja que se tiene de un modelo físico es que el flujo se representa de manera tridimensional, resultando ser un eficaz instrumento de ayuda al diseñador. La investigación del modelo forma parte del estudio definitivo de un proyecto, es ahí donde se ve la factibilidad de realizar o no el modelo, fijándose los objetivos de la investigación y el tiempo requerido.

La confiabilidad de un modelo físico depende de varios factores, como el tipo de estructura, el problema específico que se investiga, escalas escogidas, calidad de la información, técnicas del laboratorio, etc. Un modelo físico solo responde a las preguntas que han sido hechas, es decir, que los modelos físicos se realizan en función a la solución que se busca, la interpretación de resultados requiere experiencia e imaginación. (Rocha, 1998)

2.2.7. Modelamiento numérico

2.2.7.1. *Dinámica computacional de fluidos (CFD)*

Computational Fluid Dynamics (CFD) o la dinámica de fluidos computacional, es la rama de la mecánica de fluidos que se encarga del análisis de sistemas relacionados con el flujo de fluidos (Versteeg & Malalasekera, 2007), análogamente, según Zikanov (2010) menciona que es un conjunto de métodos numéricos utilizados para lograr soluciones aproximadas de problemas de dinámica de fluidos mediante ordenadores.

En general, la CFD busca desarrollar un código que sea capaz de solucionar un conjunto de ecuaciones matemáticas del flujo de manera satisfactoria, para ello, resulta indispensable la unión de diversas disciplinas científicas como las matemáticas, la programación, las ciencias físicas y la ingeniería.

Por otra parte, para dar lugar a las famosas ecuaciones de Navier-Stokes se introdujeron los términos de transporte viscoso a las ecuaciones de Euler. Estas ecuaciones incluyen las leyes de conservación para la masa, la cantidad de movimiento y la energía de un flujo (Fernández, 2012).

El comportamiento de los flujos y los fenómenos relacionados se pueden representar mediante ecuaciones diferenciales parciales o integro-diferenciales (Ferziger & Peric, 2002). Dada la complejidad del problema real que se pretende resolver y la inexistencia de una solución analítica de estas ecuaciones, es esencial la aplicación de los métodos numéricos (Durán, 2017), adecuados para conseguir la convergencia necesaria, mediante técnicas iterativas hasta obtener un error despreciable (Cortés et al., 2019).

2.2.7.2. *Ecuaciones de Navier – Stokes para fluidos newtonianos*

Según Versteeg & Malalasekera (2007), las tensiones viscosas son las incógnitas adicionales que contienen las ecuaciones de gobierno del flujo de fluidos, introduciendo un modelo adecuado para las tensiones viscosas obtendremos la forma más apropiada para las ecuaciones de conservación y para los flujos de fluidos.

Las tensiones viscosas en muchos flujos de fluidos se pueden denotar como funciones de la tasa de deformación local, de igual manera, en flujos tridimensionales la tasa de deformación local está compuesto de la tasa de deformación lineal y la tasa de deformación volumétrica.

En un fluido newtoniano las tensiones viscosas y las tasas de deformaciones son relacionadas proporcionalmente, así mismo, la ley de viscosidad de Newton para flujos compresibles tiene una forma tridimensional, lo cual implica dos constantes de proporcionalidad: la primera viscosidad (dinámica), μ , para relacionar las tensiones con las deformaciones lineales, y la segunda viscosidad, λ , para relacionar las tensiones con la deformación volumétrica.

$$\tau_{xx} = 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \text{div } u ; \tau_{yy} = 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} + \lambda \text{div } u ; \tau_{zz} = 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} + \lambda \text{div } u$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right); \tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right);$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)$$

Debido a que en la práctica su efecto es pequeño no se conoce mucho sobre la segunda viscosidad λ , por tanto, para obtener una buena aproximación en los gases se asumirá el valor $\lambda = -2/3\mu$, así mismo, debido a que los líquidos son incompresibles

en la ecuación de conservación de la masa se cumple $\text{div } \mathbf{u} = 0$ y las tensiones viscosas son el doble de la tasa local de deformación lineal multiplicada por la viscosidad dinámica.

La sustitución de los esfuerzos cortantes anteriores produce las llamadas ecuaciones de Navier-Stokes, además de ser la forma más conveniente para el desarrollo de las ecuaciones por el método numérico de volúmenes finitos es:

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial p}{\partial x} + \text{div} (\mu \text{ grad } u) + S_{Mx}$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial p}{\partial y} + \text{div} (\mu \text{ grad } v) + S_{My}$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial p}{\partial z} + \text{div} (\mu \text{ grad } w) + S_{Mz}$$

2.2.7.3. *Métodos de solución numéricos*

Componentes de un método de solución numérica:

A. Modelo matemático

Según Ferziger & Peric (2002) el modelo matemático es el conjunto de ecuaciones diferenciales parciales o integro-diferenciales que representa el punto de partida de cualquier método de simulación numérico, de igual manera, se selecciona el modelo matemático apropiado en función a las necesidades y las propiedades del flujo de fluidos en estudio (turbulento, bidimensional o tridimensional, etc.).

B. Método de discretización

Según Ferziger & Peric (2002) una vez seleccionado el modelo matemático, se debe elegir un método de discretización que aproxime las ecuaciones diferenciales a un sistema de ecuaciones algebraicas, así mismo, Fernández (2012) afirma que, de las diversas metodologías de discretización, los más utilizados en la ingeniería civil son: el método de diferencias finitas (FDM), el método de elementos finitos (FEM) y el método de volúmenes finitos (MVF).

C. Clasificación de los métodos de discretización

Según Ferziger & Peric (2002) una vez culminado la elección del tipo de mallado pasaremos a elegir las aproximaciones numéricas a utilizarse en el proceso de discretización del dominio geométrico del problema. Entre los principales métodos de discretización tenemos:

- Método de diferencias finitas

Según Ferziger & Peric (2002) se dice que, para la solución numérica de ecuaciones diferenciales parciales durante el siglo XVIII, Euler introdujo el método de diferencias finitas, resultando ser el método numérico más sencillo de emplear, pero presenta ciertas desventajas como la limitación a geometrías muy simples y el no cumplimiento de la conservación.

Este método nos menciona que, reemplazando las derivadas parciales por aproximaciones finitas en términos de valores nodales, podremos aproximar la ecuación diferencial en cada punto del mallado, por tanto, el resultado es una ecuación algebraica por nodo.

- Método de volumen finitos

Según Ferziger & Peric (2002) este método emplea las ecuaciones de conservación descritas en su expresión integrada, también nos permite descomponer el dominio en una cantidad finita de volúmenes de control, en los cuales se aplican las ecuaciones de conservación en su forma integrada, en cuanto a las integrales de superficie y las integrales de volumen se aproximan utilizando fórmulas de cuadratura adecuadas, como resultado se obtiene una ecuación algebraica para cada volumen de control.

Una de las grandes ventajas es que puede adaptarse a geometrías complejas además una ventaja esencial es que esta metodología es conservativa y por todo lo antes mencionado hoy en día es el método más popular y utilizado entre los ingenieros.

D. Malla numérica

Según Ferziger & Peric (2002) la malla numérica es una representación discreta de la geometría del dominio continuo donde se pretende analizar el problema, es decir, divide el dominio continuo en un número finito de subdominios o volúmenes de control. Algunos de los tipos más comunes de mallado son:

- Malla estructurada (regular)

Los mallados estructurados son muy útiles para solucionar un flujo alineado con las direcciones principales de la malla, ya que, en comparación a los mallados no estructurados tiene mejor rendimiento en términos de precisión, tiempo de cálculo y costo computacional, dado que la cantidad de celdas que se crean en un mallado irregular es relativamente mayor a las mallas regulares (Fernández, 2012), una de las desventajas que presenta este método de mallado es que solo se puede usar en dominios de geometrías sencillas (Ferziger & Peric, 2002).

E. Método de solución

La discretización produce como resultado un gran sistema de ecuaciones algebraicas no lineales, por lo que, es necesario el uso de procedimientos indirectos o iterativos para poder resolverlos, este método adivina una solución y usa la ecuación para mejorarlo sistemáticamente hasta asegurar la convergencia, así mismo, para la elección del método de solución de estas ecuaciones se debe analizar el tipo de flujo del problema en estudio, como flujos no estacionarios que se utilizan métodos basados en problemas de valor inicial para ecuaciones diferenciales ordinarias (que varían en el tiempo), de igual forma, el flujo estacionario generalmente se resuelve mediante un avance pseudo-temporal o un esquema de iteración (Ferziger & Peric, 2002).

- Criterio de convergencia

Para el método iterativo es indispensable establecer los criterios de convergencia, pues, nos permiten decidir cuándo detener el proceso iterativo, normalmente tenemos dos niveles de iteraciones. Para la solución de sistemas de

ecuaciones lineales usaremos las iteraciones internas y para sistemas de ecuaciones no lineales usaremos las iteraciones externas (Ferziger & Peric, 2002).

2.2.8. Turbulencia

De los diversos tipos de flujos existentes que se encuentran en la práctica de la ingeniería la mayoría son flujos turbulentos (Ferziger & Peric, 2002), por consiguiente, para completar la definición de la turbulencia, Fernández (2012) afirma que la turbulencia es el movimiento fluctuante o desordenado del flujo que se origina a partir de irregularidades en las condiciones de contorno y se manifiesta con el surgimiento de vórtices (eddies), oscilaciones de la velocidad y la presión como una función del tiempo.

A. Modelos de turbulencia

Fernández (2012) menciona que, dependiendo al número de escalas de la turbulencia por resolver, cantidad de energía cinética turbulenta que se vaya a transportar, y el grado de detalle que queremos obtener podemos utilizar cualquiera de los 3 niveles de aproximación para la simulación numérica del flujo turbulento.

- RANS (Reynolds Averaged Navier – Stokes)

El promediado de Reynolds de las ecuaciones de Navier-Stokes, actualmente es el método de aproximación más empleado en la ingeniería (Fernández, 2012), en virtud de la demanda computacional y la ventaja de implementación del modelo en nuestros proyectos (Miranda et al., 2021). Por otra parte, nos permite insertar el fenómeno de la turbulencia en las técnicas numéricas. De igual forma, en este método todas las escalas se modelizan. para un intervalo de tiempo mucho mayor que las escalas integrales, con lo que se obtiene un nuevo conjunto de ecuaciones RANS (Fernández, 2012).

2.2.9. Modelo k-epsilon (k-ε)

K-epsilon (k-ε) es un modelo semi empírico, es el más conocido y el más utilizado durante las últimas décadas, debido a la robustez, bajo costo computacional y la capacidad de convergencia para simular los flujos turbulentos (Fernández, 2012), en este modelo se desprecia los efectos de viscosidad (López y Muñoz, 2004), por

ende, para abordar el estudio del flujo en zonas próximas de los contornos sólidos requiere funciones de amortiguamiento (Miranda et al., 2021), por otra parte, en flujos a superficie libre el modelo ha demostrado muy buenas predicciones de los fenómenos turbulentos en una gran cantidad de problemas de ingeniería, además, este modelo desarrolla dos ecuaciones de transporte, con el cual, obtendremos los parámetros k y ε que hacen mención al transporte de energía cinética turbulenta, con el cual, determinaremos la energía de turbulencia y la tasa de disipación de la energía cinética turbulenta que determina la escala de turbulencia (Fernández, 2012).

2.2.10. Modelo k-omega ($k-\omega$)

kolmogorov en 1942 presento un primer modelo completo de esta categoría (Moukalled et al., 2016), posteriormente el modelo k-omega fue propuesto por Wilcox (1998) (Fernández, 2012), este modelo presenta una estructura parecida al modelo k-epsilon y fue desarrollado en base a la aproximación de Boussinesq (Moukalled et al., 2016), resultando un modelo más adecuado para el estudio de flujos turbulentos a números de Reynolds bajos, flujos con variaciones de presión importantes en la dirección del flujo (Fernández, 2012), para flujos en áreas cercanas a las contornos sólidos (Mendoza, 2021), ya que, no requiere funciones de amortiguamiento en la subcapa viscosa o en las paredes (Menter, 1992), por otra parte, en este modelo se modifica los términos de producción y disipación en la ecuación de transporte para obtener el parámetro k y se añade una ecuación de transporte para el parámetro ω (Fernández, 2012), donde ω representa la velocidad a la que se convierte la energía cinética de la turbulencia en energía térmica en función del volumen y tiempo (Moukalled et al., 2016).

- **LES (Large Eddy Simulation)**

En la simulación LES o también llamada la simulación de grandes vórtices, las grandes escalas se resuelven en el sistema de ecuaciones, por otro lado, el efecto de las escalas más pequeñas no será resuelto en el sistema de ecuaciones, por tanto, se recurre a la modelización. Así mismo, para resolver los torbellinos grandes que transportan entre el 50 y el 80% de toda la energía cinética turbulenta se requiere mallas menos densas que las necesidades del DNS (Fernández, 2012). El costo

computacional de este método es menor, por lo tanto, es mucho más accesible a la hora de realizar simulaciones.

- **DNS (Direct Numerical Simulation)**

Este tipo de aproximación es uno de los más complejos y completos, ya que, todas las escalas de turbulencia son resueltas incluido las escalas disipativas que representa la fase ultima de la cascada de energía, así mismo, en las simulaciones directas se usa una malla extremadamente fina (Fernández, 2012), y con intervalos de tiempo lo bastante pequeños para resolver incluso los remolinos turbulentos más pequeños y las fluctuaciones más rápidas (Versteeg & Malalasekera, 2007), sin embargo, debido a su alto costo computacional no es posible utilizarlo de forma sistemática para desarrollar los problemas de ingeniería civil (Fernández, 2012).

2.3. Definición de términos

- **Dominio geométrico:** se define como el espacio que contiene netamente el volumen del flujo del fluido en donde se necesita conseguir información y así descubrir los diferentes fenómenos que suceden (Mendoza, 2021).
- **Escala:** es la relación y/o proporción entre las dimensiones reales de un prototipo y las de un modelo que lo representa.
- **Turbulencia:** en la turbulencia los vórtices de mayor tamaño extraen energía del flujo principal, todo esto es posible gracias a que el flujo conectivo deforma esos vórtices más grandes, proporcionándole energía en el proceso, de igual forma, también existen las escalas más pequeñas de la turbulencia cuya función es netamente disipativa y que representa la parte última del fenómeno de disipación de energía (Fernández, 2012).
- **Flujo incompresible:** son los tipos de flujos en el cual la densidad del fluido no varía en el tiempo ni el espacio, asimismo, en condiciones isotérmicas las variables hidrodinámicas (presión y velocidad) se resuelven de forma independiente del campo de temperatura (Fernández, 2012).

- **Isotérmico:** se considera flujo isotérmico a aquellos flujos en el que las variaciones de temperatura son insignificantes por no decir constante (Fernández, 2012).
- **Línea de flujo:** el vector velocidad es tangente a la línea de corriente en todo punto, en un régimen estacionario las líneas de corriente están fijas e indican las trayectorias de los elementos del fluido.
- **Modelo:** es la representación a escala de un prototipo, permite entender perfectamente prototipo que será modelado numérica o físicamente.
- **Prototipo:** es la representación real o producto final del cual se va a realizar un estudio y/o análisis.
- **Tensión superficial:** es una fuerza que se crea únicamente en la interface entre fluidos que no se pueden mezclar, a causa de, la variación de presiones que existe entre los dos fluidos (Fernández, 2012).
- **Vorticidad:** es una magnitud física que cuantifica la rotación de un fluido, dos veces la velocidad angular.
- **Volumen de control:** en la dinámica de fluidos es más común que se trabaje con un volumen de control (también conocido como sistema abierto). Volumen de control se refiere a una región en el espacio donde se realizará el estudio, el cual está definido por una frontera y sus alrededores. Para este proyecto se considera volúmenes de control abiertos donde el fluido entra y sale continuamente, además, de forma y tamaño fijos.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

Los pilares del puente Tablachaca influyen significativamente en el remanso hidráulico del río Ichu.

2.4.2. Hipótesis Específicas

La cantidad de pilares del puente Tablachaca influye significativamente en el remanso hidráulico del río Ichu.

2.5. Identificación de variables

Arias (2012), refiere que las variables son “una característica o cualidad; magnitud o cantidad, que puede sufrir cambios, y que es objeto de análisis, medición, manipulación o control en una investigación” (p. 57).

De los problemas planteados, se ha identificado las siguientes variables:

Variable 01:

Pilares del puente

Dimensiones:

- Cantidad

Variable 02:

Remanso hidráulico.

Dimensiones:

- Curva de remanso

2.6. Operacionalización de variables

Arias (2012), refiere que la operacionalización es el proceso que transforma la variable de estudio a términos observables y medibles es decir a dimensiones e indicadores.

Tabla 1: Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente: Pilares del puente	Los pilares son apoyos intermedios de un puente de dos o más tramos, es decir que reciben las reacciones de dos tramos de puentes transmitiendo la carga al cimiento.	Cantidad	0, 1, 2, 3 y 4 pilares
Variable dependiente: Remanso Hidraulico	Es el incremento del nivel de agua de un río, debido al taponamiento natural o artificial de éste, que se esparce aguas abajo, disminuyendo su intensidad hasta alcanzar el equilibrio con el nivel natural del agua.	Curva de remanso	Tirantes (m)

Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito de estudios

3.1.1. Ámbito espacial

Ubicación:

- DEPARTAMENTO : Huancavelica
- PROVINCIA : Huancavelica
- DISTRITO : Huancavelica

Localización:

El trabajo de investigación se realizó en un tramo del cauce del río Ichu, 70 m aguas arriba y 70 m aguas abajo del puente Tablachaca, en el distrito de Huancavelica.

3.1.2. Ámbito temporal

El presente trabajo de investigación “INFLUENCIA DE LOS PILARES DEL PUENTE TABLACHACA EN EL REMANSO HIDRÁULICO DEL RIO ICHU” se dio inicio en el mes de diciembre del 2019 y finalizó el mes de noviembre del 2022.

3.2. Tipo y nivel de investigación

3.2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada, ya que, “busca la aplicación sobre una realidad circunstancial antes que el desarrollo de teorías” (Gonzales et al., 2011, p. 141). Es decir, se dará solución a un problema práctico a corto plazo tomando teorías ya establecidas por el tipo de investigación pura. En esta investigación, como solución al problema práctico, se obtendrá el remanso hidráulico en el puente Tablachaca.

3.2.2. Nivel de investigación

El nivel o alcance de la investigación es explicativa, dado que, van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre

conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables (Hernández et al., 2014). En la investigación, se comprobará la influencia de los pilares del puente en el remanso hidráulico del río Ichu.

3.2.3. Método de investigación

El método general es el método científico debido a que se usa en muchas disciplinas, es un método bien estructurado y tiene una secuencia lógica. La investigación empleará el método científico, “este método sigue un procedimiento para la solución de un problema, para poder demostrar la fiabilidad de la investigación este método busca la utilización de técnicas e instrumentos adecuados para la realización de la investigación” (Niño, 2011, p. 26).

3.3. Diseño de investigación

El diseño de investigación es cuasi experimental, puesto que, son muy parecidos a los verdaderos experimentos; solamente que no hay asignación al azar o emparejamiento; pero por lo demás son iguales, las interpretaciones similares, las comparaciones son las mismas y los análisis estadísticos iguales” (Gonzales, Oseda, Ramirez, & Gave, 2011, pág. 218), es decir, nuestro diseño usará dos grupos, uno tendrá variaciones de cantidad de pilares y el otro no.

Esquema:

GE__X__O1

GC_____O2

Donde:

GE: Grupo experimental

GC: Grupo control

O1, O2: Mediciones del post test

X: Manipulación de la variable independiente

3.4. Población, muestra y muestreo

3.4.1. Población

La población de la investigación es el cauce del río Ichu en toda su longitud principal, el cual es 52.58 Km aproximadamente (Requena, 2018).

3.4.2. Muestra

La muestra de la investigación será el tramo de 140 m, el cual se distribuye 70 m aguas arriba y 70 m aguas abajo del puente Tablachaca.

3.4.3. Muestreo

El tipo de muestreo en esta investigación será no probabilístico-Intencional, “son escogidos con base en criterios o juicios preestablecidos por el investigador” (Arias, 2012, p. 85).

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas de recolección de datos

Las principales técnicas de recolección de datos en esta investigación serán:

- La observación

Es una técnica de recolección de datos que consiste en recoger la información sobre el objeto de estudio. “La observación, como técnica de investigación científica, es un proceso riguroso que permite conocer, de forma directa e indirecta, el objeto de estudio para luego describir y analizar situaciones sobre la realidad estudiada” (Bernal, 2010, p. 257).

- La medición

Según Espinoza (2014) la técnica de medición es un proceso cuantitativo en el cual se extrae diversos datos al observar ciertas propiedades de los parámetros, es decir, se hablará de medición siempre que se asigne valores numéricos a ciertas características observadas a partir de diversos instrumentos de medición.

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

Los principales instrumentos de recolección de datos en esta investigación serán:

Instrumentos de observación

- Cámara fotográfica
- Libreta de Campo

Instrumentos de medición

- Estación total
- GPS Submétrico
- Cinta métrica
- Drone Phantom 4 RTK
- Modelo físico a escala 1/40

3.5.3. Procedimientos de recolección de datos

- Levantamiento topográfico en superficie de prototipo
- Levantamiento topográfico en superficie de modelo a escala
- Ensayo en modelo físico a escala reducida.

3.6. Técnicas de procesamientos y análisis de datos

Los datos obtenidos en bruto del modelamiento físico y numérico mediante cualquiera de las técnicas e instrumentos, no es más que un resultado sin significación si no se realiza los respectivos procesos de organización, un análisis y una interpretación (Niño, 2011).

3.6.1. Procesamiento de los datos

En la presente investigación registraremos mediante tablas o listados los datos obtenidos del modelamiento físico y numérico para facilitar justamente su agrupamiento y su contabilización, función del procesamiento de datos, al igual que su análisis (Niño, 2011).

Para procesar y analizar los datos se utilizó los siguientes programas.

- AutoCAD civil 3D
- Agisoft PhotoScan
- QGis
- Excel

3.6.2. Análisis de datos

Niño (2011) afirma que: “el análisis es un proceso mental complejo, el cual comprende varias operaciones (de alguna manera ya mencionadas) como descomponer, examinar, reconocer, sintetizar, conceptualizar, relacionar, explicar y comprender” (p. 103). Asimismo, el análisis e interpretación de datos en este proyecto de investigación se da a partir de los resultados que obtenidos de la modelación numérica 3D y del modelamiento físico de tirantes en el del puente Tablachaca.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Sistematización de la Investigación

Para verificar la influencia de la existencia de los pilares en el remanso hidráulico del río Ichu, se va describir las etapas de este trabajo de investigación en un cuadro resumen que nos va ayudar a sistematizar este proceso con el modelo físico e interactuar con él.

PRIMERA FASE	<ul style="list-style-type: none"> •Evaluación, reconocimiento y captura de datos de las características topográficas (pendientes, curvas de nivel, áreas, perímetro, etc.) del área de estudio y del lugar escogido para la instalación del modelo físico
SEGUNDA FASE	<ul style="list-style-type: none"> •Evaluación, reconocimiento y captura de datos de las características hidráulicas del río Ichu enfocado en el área de estudio (pilares del puente tablachaca)
TERCERA FASE	<ul style="list-style-type: none"> •Elaboración del modelo físico del Río Ichu a escala 1/40, y la elaboración de los pilares del puente tablachaca
CUARTA FASE	<ul style="list-style-type: none"> •Captura de datos (Tirante, Radio Hidráulico) para obtener el caudal del flujo en el modelo físico y procesar los datos obtenidos para calcular el remanso hidráulico.
QUINTA FASE	<ul style="list-style-type: none"> •Calibrar los modelos numéricos existentes (número de mallas, número de Courant) utilizando el software gratuito de código abierto para la dinámica computacional de fluidos, para obtener las mismas velocidades que se obtuvieron en el modelo físico (realizando varias simulaciones).
SEXTA FASE	<ul style="list-style-type: none"> •Demostrar que el modelo numérico escogido se adecua a las condiciones de contorno del modelo físico, utilizando diferentes cantidades de pilares (Tirante, Radio Hidráulico). •Realizar una sola simulación, los datos obtenidos en el modelo físico y el software deben de ser similares, solo así se validará que el modelo numérico escogido es el idóneo para cualquier simulación numérica en el ámbito de estudio seleccionado
SÉPTIMA FASE	<ul style="list-style-type: none"> •Describir el remanso hidráulico.

4.2. Fotogrametría del Área de Estudio

Se ha llegado a realizar el estudio técnico y descriptivo del área de estudio y del lugar donde se ha llegado a planificar y proyectar la construcción del modelo físico (escala 1/40) del río Ichu, que, gracias a la tecnología actual (fotogrametría), logramos utilizar métodos y operaciones para medir, procesar y transmitir los datos del terreno, y representarlos con mayor detalle y precisión en escala reducida.

4.2.1. Área de Estudio

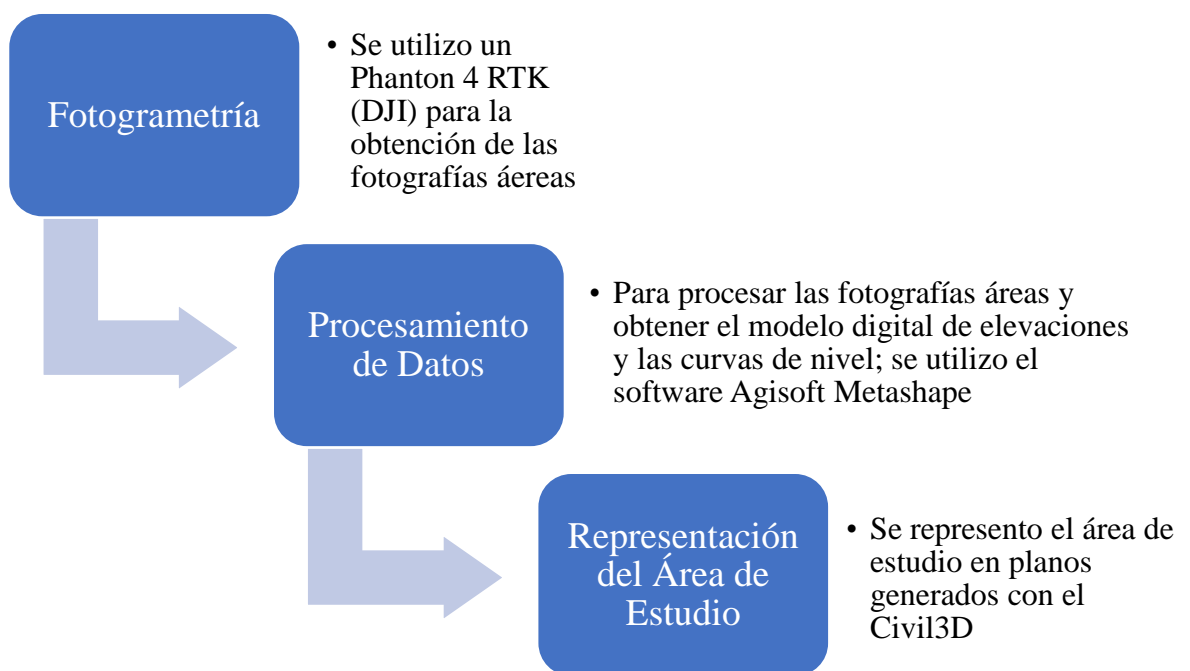
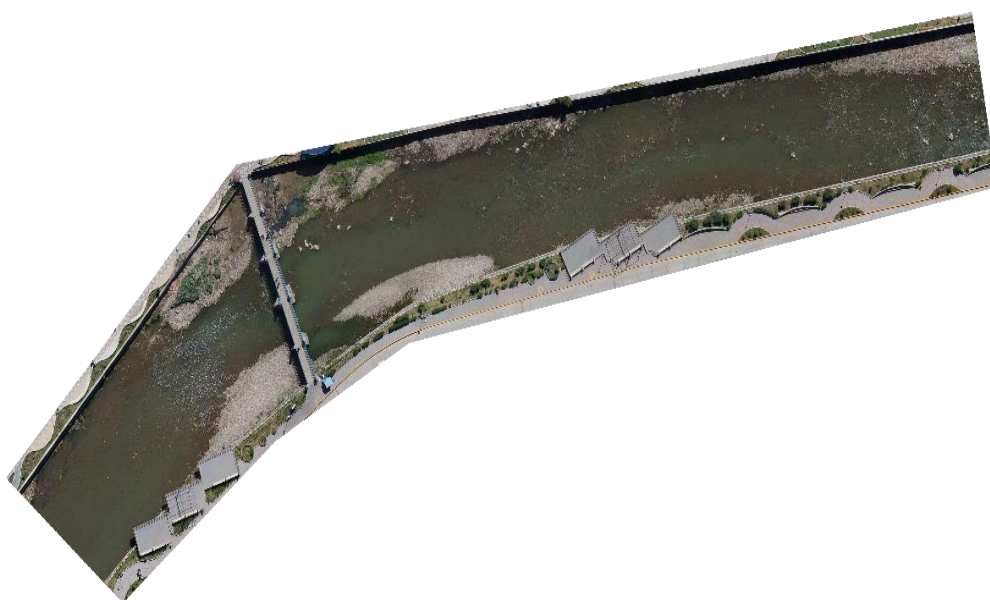


Figura 4: Fotografías Aérea del Puente Tablachaca (Drone Phantom 4RTK)



Nota. Elaboración propia

Figura 5: Ortofoto del Río Ichu (Generado en el Agisoft PhotoScan Profesional)



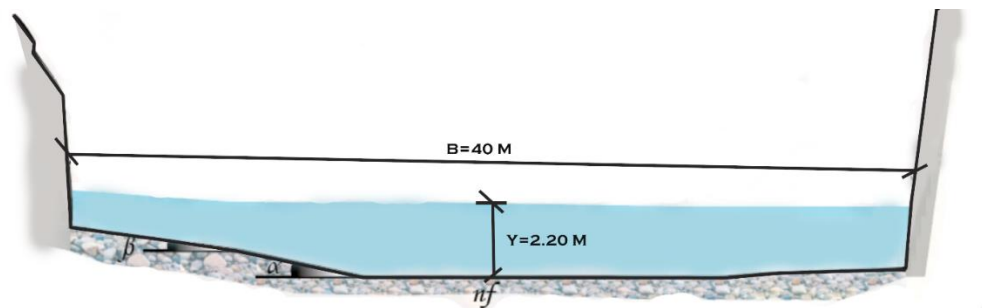
Nota. Elaboración propia

4.3. Características Hidráulicas del Área de Estudio

4.3.1. Sección Transversal

La sección transversal que estamos presentando, es una representación del área de estudio del río Ichu, este corte transversal representa el tirante promedio que se obtiene cuando por la sección del área de estudio atraviesa el flujo del río Ichu, con un caudal promedio de $120 \text{ m}^3/\text{seg}$. Y con este dato vamos a calibrar los caudales del río Ichu en el modelo físico

Figura 6: Sección transversal del área de estudio

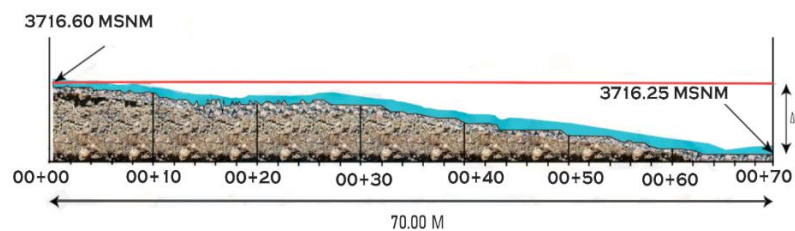


Nota. Elaboración propia

4.3.2. Perfil Longitudinal

Representar el perfil longitudinal del río Ichu nos ayuda a determinar la pendiente con la cual vamos a trabajar en nuestra área de estudio, para determinar el remanso hidráulico necesitamos el valor de la pendiente y así determinar los caudales y la velocidad de flujo en nuestro modelo físico, la pendiente del prototipo del río Ichu es de 0.5%.

Figura 7: Perfil longitudinal



Nota. Elaboración propia

4.4. Diseño y Construcción del Modelo Físico del Río Ichu

4.4.1. Levantamiento Fotogramétrico

El modelo físico del río Ichu inicia en el puente del Esslaud, que une el barrio de Yananaco de la Provincia de Huancavelica con el Distrito de Ascensión; hasta el puente del Ejército, que une el barrio de Santa Ana con el Barrio de San Cristóbal de la Provincia de Huancavelica; este modelo físico fue construido con la finalidad de apreciar a escala el verdadero comportamiento hidráulico (Este modelo físico fue construido por Christian Slater Condori Crispin, Cesar Christ Mandujano Huaira, Dennis Olíver Ventura Huaman, Miguel Angel Huiza Soto, Venus Laura Carhuapoma, Luis Boza Cahuana), y realizar distintas simulaciones en cada uno de sus tramos, este trabajo de investigación quiere simular el comportamiento de los pilares del puente Tablacha con el caudal del río Ichu, y verificar que el volumen sobredimensionado de estos pilares generan remansos hidráulicos (la verificación se hará disminuyendo la cantidad de pilares, desde 4 pilares hasta 0 pilares, quitando el volumen de concreto, pilares, que se ocupa en la sección transversal del puente tablachaca).

Figura 8: Trazo y Replanteo del Terreno Para Construir el Modelo Físico



Nota. Elaboración propia

Figura 9: Corte y Relleno del Terreno Para Construir el Modelo Físico



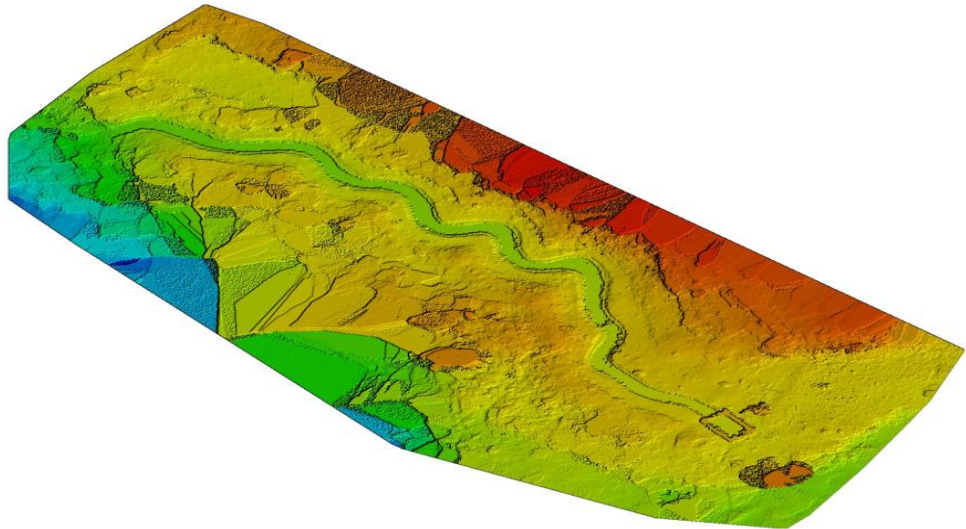
Nota. Elaboración propia

Figura 10: Construcción del Modelo Físico



Nota. Elaboración propia

Figura 11: Modelo Digital de Elevaciones (Generado en el Agisoft PhotoScan Profesional)



Nota. Elaboración propia

Figura 12: Ortofoto del Modelo Físico (Generado en el Agisoft PhotoScan Profesional)



Nota. Elaboración propia

4.4.2. Trazo y replanteo

Figura 13: Trazo y Replanteo del Perfil Longitudinal (GPS Submétrico)



Nota. Elaboración propia

Figura 14: Trazo y Replanteo del Perfil Longitudinal (Dibujo del eje del río Ichu en escala)



Nota. Elaboración propia

Figura 15: Trazo y Replanteo del Perfil Longitudinal (Captura de Pantalla del GPS Submétrico)



Nota. Elaboración propia

4.4.3. Ubicación de los Pilares

Figura 16: Ubicación de los Pilares e Instrumentación (Medidor de Tirantes)



Nota. Elaboración propia

4.5. Simulaciones en el Modelo Físico

El modelo físico del río Ichu debe de ser calibrado, con las condiciones de caudales, velocidades, rugosidad, pendiente, radio hidráulico, etc. Según Requena, 2018, pág. 101, el caudal en tiempo de máximas avenidas es de $120 \text{ m}^3/\text{s}$, con este caudal máximo en la sección de estudio alcanza un tirante de 2.20 metros aproximadamente, es decir que a escala 1/40 (escala del modelo físico), con las mismas condiciones de rugosidad y pendiente, debe de alcanzar un tirante hidráulico de 5.5 cm.

Calibrando el modelo físico con el tirante hidráulico deseado (5.5 cm, tirante hidráulico a escala 1/40) se obtiene un caudal de $0.006 \text{ m}^3/\text{s}$, de acuerdo a Claudio, F. [N´Hydro Water Research]. (2022, 14 de octubre). Webinar Modelos Físicos Hidráulicos [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=3nUIBVsn9tE&t=335s>, este caudal calculado en el modelo físico representa el caudal del río en estudio; siempre y cuando tengas condiciones de contorno similares (rugosidad, pendiente, etc.)

El caudal calculado para el modelo físico servirá de dato de ingreso para el software de dinámica computacional de fluidos, OpenFoam.

Figura 17: Cálculo del caudal en el modelo físico

Cálculo del caudal, sección trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: Proyecto:
Tramo: Revestimiento:

Datos:

Tirante (y): m
Ancho de solera (b): m
Talud (Z):
Coeficiente de rugosidad (n):
Pendiente (S): m/m

Resultados:

Caudal (Q): m³/s
Área hidráulica (A): m²
Radio hidráulico (R): m
Número de Froude (F):
Tipo de flujo:

Velocidad (v): m/s
Perímetro (p): m
Espejo de agua (T): m
Energía específica (E): m-Kg/Kg

Diagrama de la sección trapezoidal:

Botones:

Ingresar el valor de la rugosidad dependiendo del tipo de material 00:51 07/11/2022

Nota. Elaboración propia (cálculo en HCanales)

4.5.1. Datos Obtenidos del Modelo Físico – ensayo 04 pilares

Se han obtenido datos del modelo físico de acuerdo a los objetivos del trabajo de investigación, los datos obtenidos son los tirantes hidráulicos por cada pilar del puente tablachaca, estos tirantes se han medido a distancias prudenciales de cada 0.5 cm para adelante y para los costados (derecha e izquierda). Además, se realizó una prueba de normalidad para verificar la dispersión de los datos, mediante la prueba de Shapiro - Wilk, debido a que la cantidad de datos que tenemos es menor que 30; el valor del P calculado en todos los ensayos resulta menor que 0.05, vale decir que el resultado no se dio al azar, que existe un patrón razonable que, si se vuelve a realizar el estudio con las mismas características, se deben de encontrar los mismos resultados.

A su vez se llegó a utilizar hojas de cálculo (archivos xls.) para graficar las mediciones que realizamos y contrastar los gráficos que generan los tirantes hidráulicos en el software libre para la dinámica computacional de fluidos.

- PARA EL PILAR N° 01

Figura 18: Medición de tirantes pilar N° 01



Nota. Elaboración propia

Tabla 2: Tirantes al eje del pilar N° 01

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.96	6.55	6.29	6.10	5.92	5.78	5.63	5.57
02	0.006	6.92	6.51	6.25	6.06	5.88	5.74	5.59	5.53
03	0.006	6.95	6.54	6.28	6.09	5.91	5.77	5.62	5.56
04	0.006	6.93	6.52	6.26	6.07	5.89	5.75	5.60	5.54
05	0.006	6.94	6.53	6.27	6.08	5.90	5.76	5.61	5.55
06	0.006	6.95	6.54	6.28	6.09	5.91	5.77	5.62	5.57
07	0.006	6.94	6.53	6.27	6.08	5.90	5.76	5.61	5.55
08	0.006	6.93	6.52	6.26	6.07	5.89	5.75	5.60	5.54
09	0.006	6.92	6.51	6.25	6.06	5.88	5.74	5.59	5.53
10	0.006	6.96	6.55	6.29	6.10	5.92	5.78	5.63	5.57
11	0.006	6.96	6.55	6.29	6.10	5.92	5.78	5.63	5.57
12	0.006	6.94	6.53	6.27	6.08	5.90	5.76	5.61	5.55
13	0.006	6.95	6.54	6.28	6.09	5.92	5.77	5.62	5.56
14	0.006	6.92	6.51	6.25	6.06	5.92	5.77	5.59	5.57
15	0.006	6.93	6.52	6.26	6.10	5.89	5.75	5.63	5.54
16	0.006	6.95	6.54	6.29	6.09	5.91	5.77	5.63	5.56
17	0.006	6.96	6.55	6.29	6.10	5.92	5.78	5.63	5.57
18	0.006	6.96	6.53	6.27	6.08	5.90	5.76	5.61	5.55
19	0.006	6.92	6.55	6.25	6.06	5.88	5.74	5.59	5.57
20	0.006	6.93	6.52	6.26	6.07	5.89	5.75	5.60	5.54

Nota. Elaboración propia

Tabla 3: Prueba de normalidad Shapiro Wilk al eje del pilar N° 01

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1 cm	x=1.5 cm	x=2 cm	x=2.5 cm	x=3 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8768	0.8933	0.8820	0.8820	0.8771	0.9043	0.8668	0.8665
p-value	0.0155	0.0310	0.0192	0.0192	0.0157	0.0496	0.0103	0.0102
Alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Normal	No	no	no	no	no	no	no	no

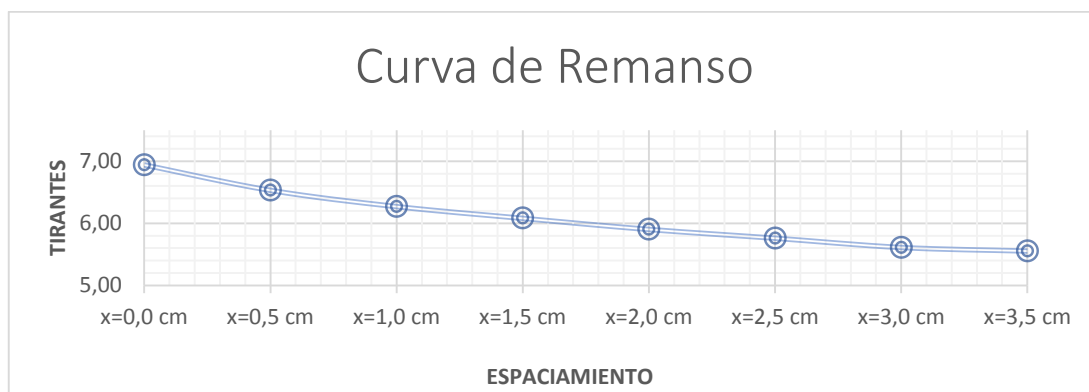
Nota. Elaboración propia

Tabla 4: Tirantes promedio al eje del pilar N° 01

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.94	6.53	6.27	6.08	5.90	5.76	5.61	5.55

Nota. Elaboración propia

Figura 19: Curva de remanso al eje del pilar N° 01



Nota. Elaboración propia

Tabla 5: Tirantes a 0.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.95	6.72	6.51	6.34	6.19	6.11	6.06	6.01
02	0.006	6.91	6.68	6.47	6.30	6.15	6.07	6.02	5.97
03	0.006	6.92	6.69	6.48	6.31	6.16	6.08	6.03	5.98
04	0.006	6.92	6.69	6.48	6.31	6.16	6.08	6.03	5.98
05	0.006	6.91	6.68	6.47	6.30	6.15	6.07	6.02	5.97
06	0.006	6.91	6.68	6.47	6.30	6.15	6.07	6.02	5.97
07	0.006	6.92	6.69	6.48	6.31	6.16	6.08	6.03	5.98
08	0.006	6.93	6.70	6.49	6.32	6.17	6.09	6.04	5.99
09	0.006	6.93	6.70	6.49	6.32	6.17	6.09	6.04	5.99
10	0.006	6.92	6.69	6.48	6.31	6.16	6.08	6.03	5.98
11	0.006	6.93	6.70	6.49	6.32	6.17	6.09	6.04	5.99
12	0.006	6.93	6.70	6.49	6.32	6.17	6.09	6.04	5.99
13	0.006	6.92	6.69	6.48	6.31	6.16	6.08	6.06	6.01
14	0.006	6.92	6.69	6.48	6.31	6.16	6.11	6.03	5.98
15	0.006	6.93	6.70	6.51	6.32	6.16	6.09	6.04	5.99
16	0.006	6.91	6.68	6.47	6.30	6.15	6.09	6.02	5.98
17	0.006	6.91	6.72	6.47	6.34	6.19	6.11	6.02	5.97
18	0.006	6.92	6.69	6.48	6.34	6.19	6.08	6.06	6.01
19	0.006	6.95	6.69	6.48	6.31	6.16	6.08	6.03	6.01
20	0.006	6.91	6.68	6.47	6.30	6.15	6.07	6.02	5.97

Nota. Elaboración propia

Tabla 6: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 0.5 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 01

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1 cm	x=1.5 cm	x=2 cm	x=2.5 cm	x=3 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8352	0.8362	0.8166	0.8407	0.8219	0.8526	0.8370	0.8439
p-value	0.0030	0.0032	0.0015	0.0037	0.0019	0.0059	0.0032	0.0042
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	no	no	no	no	no	no	no	no

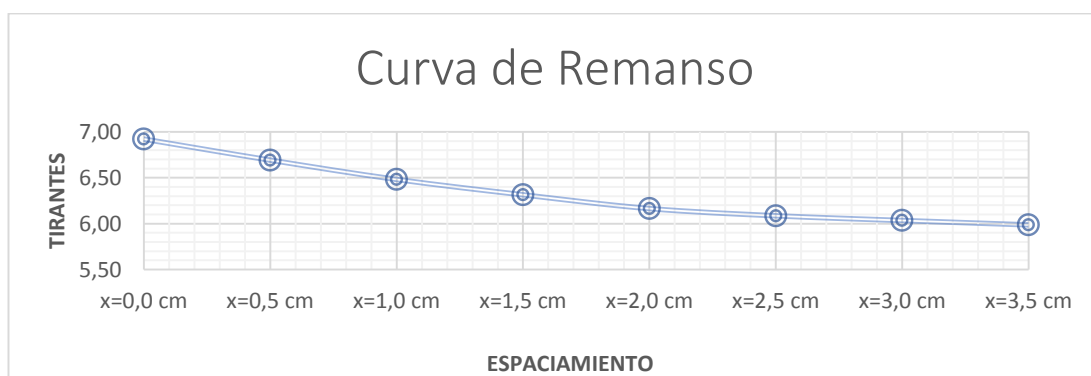
Nota. Elaboración propia

Tabla 7: Tirantes promedio a 0.5cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.92	6.69	6.48	6.31	6.16	6.09	6.03	5.99

Nota. Elaboración propia

Figura 20: Curva de remanso a 0.5cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01



Nota. Elaboración propia

Tabla 8: Tirantes a 1.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.90	6.67	6.46	6.29	6.14	6.06	5.99	5.95
02	0.006	6.88	6.67	6.46	6.29	6.14	6.06	5.99	5.95
03	0.006	6.91	6.68	6.47	6.30	6.15	6.07	6.00	5.96
04	0.006	6.89	6.66	6.45	6.28	6.13	6.05	5.98	5.94
05	0.006	6.88	6.67	6.46	6.28	6.14	6.06	6.00	5.96
06	0.006	6.90	6.67	6.46	6.29	6.14	6.06	5.99	5.95
07	0.006	6.89	6.66	6.45	6.28	6.13	6.05	5.98	5.94

08	0.006	6.91	6.68	6.47	6.30	6.15	6.07	6.00	5.96
09	0.006	6.89	6.66	6.45	6.28	6.13	6.05	5.98	5.94
10	0.006	6.90	6.67	6.46	6.29	6.14	6.06	5.99	5.95
11	0.006	6.91	6.68	6.47	6.28	6.15	6.07	6.00	5.96
12	0.006	6.89	6.66	6.45	6.28	6.13	6.05	5.98	5.94
13	0.006	6.90	6.67	6.46	6.29	6.14	6.06	5.99	5.95
14	0.006	6.90	6.67	6.46	6.29	6.14	6.06	5.99	5.95
15	0.006	6.89	6.66	6.45	6.28	6.13	6.05	5.98	5.94
16	0.006	6.89	6.66	6.47	6.28	6.13	6.05	5.98	5.94
17	0.006	6.90	6.67	6.46	6.29	6.14	6.06	5.99	5.95
18	0.006	6.88	6.66	6.45	6.28	6.13	6.05	5.98	5.94
19	0.006	6.88	6.67	6.46	6.29	6.14	6.06	5.99	5.96
20	0.006	6.89	6.66	6.45	6.28	6.13	6.05	5.98	5.94

Nota. Elaboración propia

Tabla 9: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.0 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 01

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1 cm	x=1.5 cm	x=2 cm	x=2.5 cm	x=3 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8882	0.7954	0.8092	0.7597	0.7954	0.7954	0.7999	0.7966
p-value	0.0249	0.0007	0.0012	0.0002	0.0007	0.0007	0.0009	0.0008
Alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	no	no	no	no	no	no	no	no

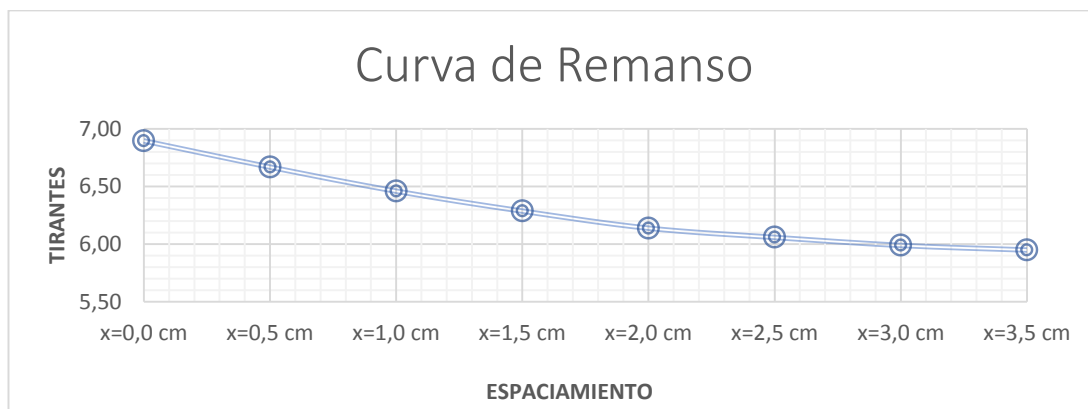
Nota. Elaboración propia

Tabla 10: Tirantes promedio a 1.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)						
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm
01	0.006	6.90	6.67	6.46	6.29	6.14	6.06	5.99
								5.95

Nota. Elaboración propia

Figura 21: Curva de remanso a 1.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01



Nota. Elaboración propia

Tabla 11: Tirantes a 1.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.88	6.66	6.44	6.26	6.12	6.04	5.98	5.97
02	0.006	6.88	6.66	6.44	6.26	6.12	6.04	5.98	5.97
03	0.006	6.88	6.66	6.45	6.28	6.13	6.03	5.97	5.96
04	0.006	6.88	6.66	6.45	6.28	6.13	6.03	5.97	5.96
05	0.006	6.86	6.64	6.43	6.26	6.11	6.02	5.96	5.95
06	0.006	6.86	6.64	6.43	6.26	6.11	6.02	5.96	5.95
07	0.006	6.85	6.63	6.42	6.26	6.10	6.02	5.96	5.95
08	0.006	6.87	6.65	6.44	6.27	6.12	6.04	5.96	5.95
09	0.006	6.86	6.64	6.43	6.26	6.11	6.04	5.97	5.95
10	0.006	6.86	6.64	6.43	6.26	6.11	6.02	5.97	5.95
11	0.006	6.87	6.65	6.44	6.27	6.12	6.02	5.96	5.95
12	0.006	6.87	6.65	6.44	6.27	6.12	6.02	5.96	5.95
13	0.006	6.87	6.65	6.44	6.27	6.12	6.02	5.96	5.95
14	0.006	6.86	6.64	6.43	6.26	6.11	6.03	5.97	5.95
15	0.006	6.88	6.66	6.45	6.28	6.13	6.03	5.97	5.96
16	0.006	6.88	6.66	6.45	6.28	6.13	6.03	5.97	5.96
17	0.006	6.86	6.64	6.43	6.26	6.11	6.02	5.96	5.94
18	0.006	6.87	6.66	6.44	6.27	6.12	6.02	5.96	5.95
19	0.006	6.88	6.66	6.45	6.28	6.13	6.03	5.97	5.96
20	0.006	6.86	6.64	6.43	6.26	6.11	6.02	5.96	5.94

Nota. Elaboración propia

Tabla 12: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.5 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 01

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8415	0.8198	0.8694	0.7532	0.8694	0.7622	0.7597	0.8432
p-value	0.0039	0.0017	0.0114	0.0002	0.0114	0.0002	0.0002	0.0041
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
norma l	no	no	no	no	no	no	no	no

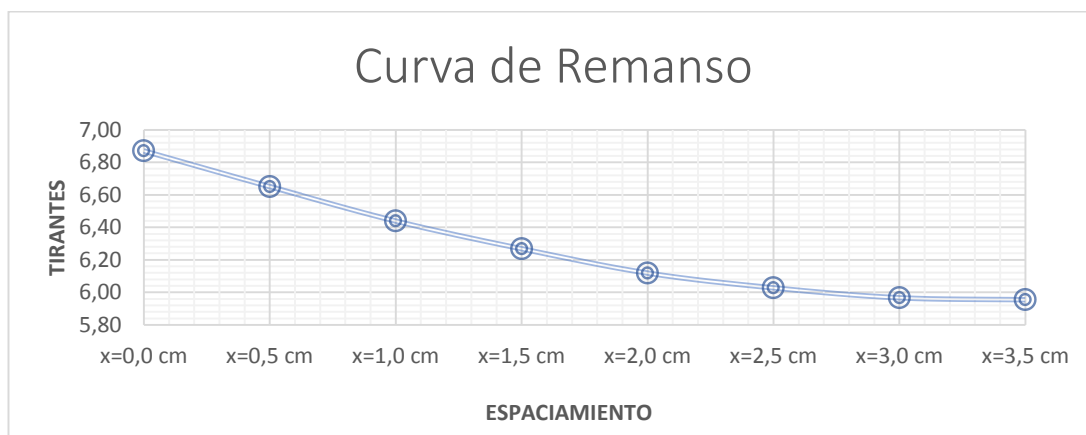
Nota. Elaboración propia

Tabla 13: Tirantes promedio a 1.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01

N º	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.87	6.65	6.44	6.27	6.12	6.03	5.97	5.95

Nota. Elaboración propia

Figura 22: Curva de remanso a 1.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01



Nota. Elaboración propia

Tabla 14: Tirantes a 2.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01

N º	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.86	6.65	6.45	6.28	6.14	6.04	5.98	5.97
02	0.006	6.85	6.64	6.44	6.27	6.13	6.03	5.97	5.96
03	0.006	6.86	6.65	6.45	6.28	6.14	6.04	5.98	5.97

04	0.006	6.86	6.65	6.45	6.28	6.14	6.04	5.98	5.97
05	0.006	6.85	6.64	6.44	6.27	6.13	6.03	5.97	5.96
06	0.006	6.85	6.64	6.44	6.27	6.13	6.03	5.97	5.96
07	0.006	6.84	6.63	6.43	6.26	6.12	6.02	5.96	5.95
08	0.006	6.85	6.64	6.44	6.27	6.13	6.03	5.97	5.96
09	0.006	6.86	6.65	6.45	6.28	6.14	6.04	5.98	5.97
10	0.006	6.84	6.63	6.43	6.26	6.12	6.01	5.96	5.95
11	0.006	6.85	6.64	6.44	6.27	6.13	6.03	5.95	5.96
12	0.006	6.85	6.64	6.44	6.27	6.11	6.03	5.95	5.96
13	0.006	6.85	6.64	6.45	6.27	6.13	6.03	5.97	5.96
14	0.006	6.86	6.65	6.45	6.28	6.14	6.04	5.98	5.97
15	0.006	6.86	6.64	6.45	6.28	6.14	6.04	5.98	5.97
16	0.006	6.86	6.65	6.44	6.28	6.14	6.04	5.98	5.97
17	0.006	6.85	6.64	6.44	6.27	6.13	6.03	5.97	5.96
18	0.006	6.86	6.63	6.43	6.28	6.12	6.02	5.98	5.97
19	0.006	6.84	6.63	6.43	6.28	6.14	6.04	5.96	5.97
20	0.006	6.85	6.64	6.44	6.27	6.13	6.03	5.97	5.96

Nota. Elaboración propia

Tabla 15: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.0 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 01

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.7954	0.8117	0.8092	0.7734	0.8259	0.8042	0.8262	0.7734
p-value	0.0007	0.0013	0.0012	0.0004	0.0022	0.0010	0.0022	0.0004
Alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Norma I	no	no	no	no	no	no	no	no

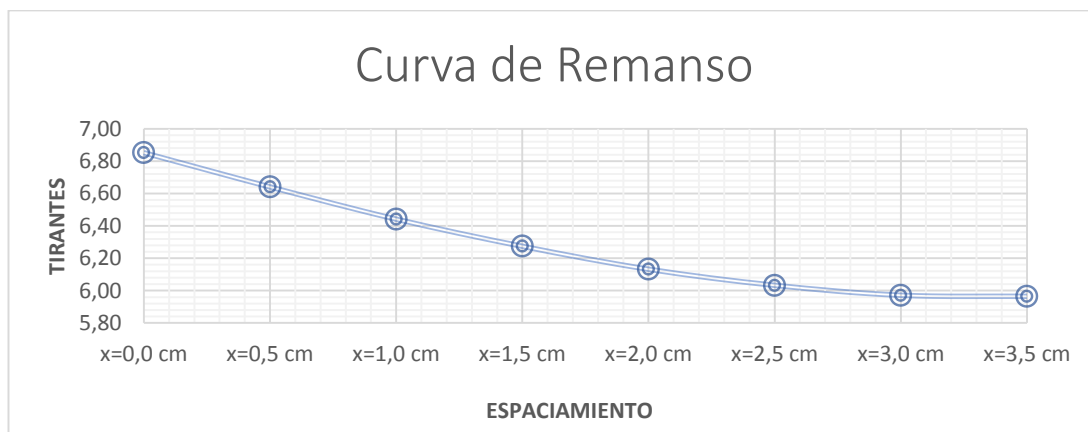
Nota. Elaboración propia

Tabla 16: Tirantes promedio a 2.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01

N o	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)						
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm
01	0.006	6.85	6.64	6.44	6.27	6.13	6.03	5.97

Nota. Elaboración propia

Figura 23: Curva de remanso a 2.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01



Nota. Elaboración propia

Tabla 17: Tirantes a 2.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01

N°	Caudal (m ³ /s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.84	6.63	6.43	6.26	6.12	6.05	5.98	5.95
02	0.006	6.82	6.63	6.43	6.26	6.12	6.05	5.98	5.95
03	0.006	6.82	6.63	6.43	6.26	6.12	6.05	5.98	5.95
04	0.006	6.83	6.64	6.44	6.27	6.13	6.06	5.99	5.96
05	0.006	6.84	6.65	6.45	6.28	6.14	6.07	6.00	5.97
06	0.006	6.83	6.64	6.44	6.27	6.13	6.06	5.99	5.96
07	0.006	6.84	6.65	6.45	6.28	6.14	6.07	6.00	5.97
08	0.006	6.82	6.63	6.43	6.26	6.12	6.01	5.98	5.95
09	0.006	6.82	6.63	6.43	6.26	6.12	6.05	5.98	5.95
10	0.006	6.83	6.64	6.44	6.24	6.13	6.06	5.99	5.96
11	0.006	6.82	6.62	6.41	6.26	6.12	6.05	5.96	5.95
12	0.006	6.82	6.63	6.43	6.26	6.10	6.01	5.98	5.95
13	0.006	6.84	6.65	6.45	6.28	6.14	6.07	6.00	5.97
14	0.006	6.83	6.64	6.44	6.27	6.13	6.06	5.96	5.96
15	0.006	6.82	6.63	6.43	6.26	6.10	6.05	5.98	5.95
16	0.006	6.82	6.63	6.43	6.26	6.12	6.05	5.98	5.95
17	0.006	6.82	6.64	6.44	6.27	6.13	6.06	5.99	5.96
18	0.006	6.84	6.63	6.43	6.26	6.12	6.05	5.98	5.95
19	0.006	6.83	6.64	6.44	6.27	6.13	6.06	5.99	5.96
20	0.006	6.82	6.63	6.43	6.26	6.12	6.05	5.98	5.95

Nota. Elaboración propia

Tabla 18: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.5 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 01

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.7532	0.8412	0.8378	0.8215	0.8558	0.7336	0.8488	0.7401
p-value	0.0002	0.0038	0.0033	0.0018	0.0067	0.0001	0.0051	0.0001
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	no	no	no	no	no	no	no	no

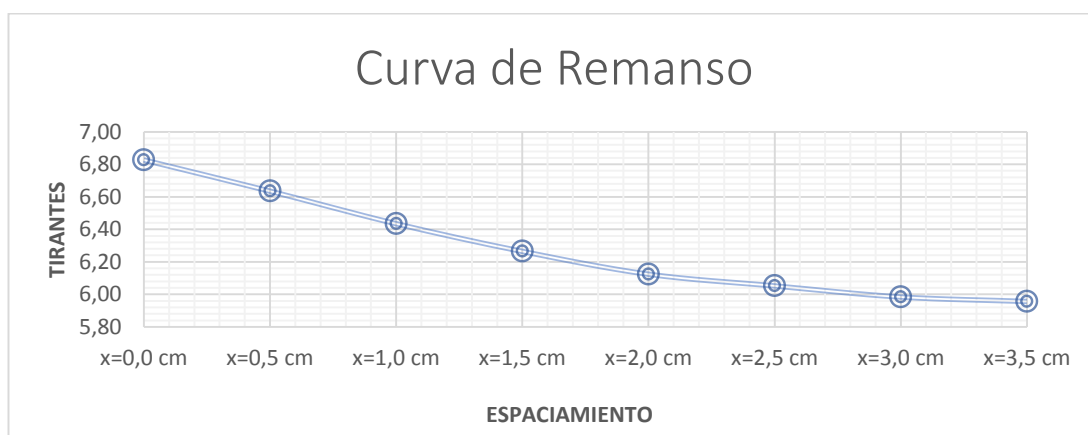
Nota. Elaboración propia

Tabla 19: Tirantes promedio a 2.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01

N °	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.83	6.64	6.44	6.26	6.12	6.05	5.98	5.96

Nota. Elaboración propia

Figura 24: Curva de remanso a 2.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01



Nota. Elaboración propia

Tabla 20: Tirantes a 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01

N °	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.78	6.60	6.41	6.25	6.12	6.05	6.00	5.97
02	0.006	6.76	6.58	6.39	6.23	6.10	6.03	5.98	5.95
03	0.006	6.78	6.60	6.41	6.25	6.12	6.05	6.00	5.97

04	0.006	6.78	6.60	6.41	6.25	6.11	6.05	6.00	5.94
05	0.006	6.76	6.58	6.39	6.23	6.10	6.03	5.98	5.95
06	0.006	6.76	6.58	6.38	6.22	6.11	6.03	5.98	5.95
07	0.006	6.76	6.58	6.39	6.23	6.10	6.03	5.98	5.95
08	0.006	6.78	6.60	6.41	6.25	6.12	6.05	6.00	5.97
09	0.006	6.78	6.60	6.41	6.25	6.12	6.05	6.00	5.97
10	0.006	6.76	6.58	6.39	6.23	6.10	6.02	5.98	5.95
11	0.006	6.78	6.56	6.41	6.22	6.12	6.05	5.97	5.94
12	0.006	6.76	6.56	6.39	6.23	6.10	6.03	5.98	5.95
13	0.006	6.74	6.58	6.39	6.23	6.10	6.03	5.98	5.94
14	0.006	6.76	6.58	6.39	6.23	6.10	6.02	5.97	5.95
15	0.006	6.76	6.58	6.39	6.22	6.11	6.03	5.98	5.95
16	0.006	6.76	6.58	6.38	6.23	6.10	6.02	5.98	5.95
17	0.006	6.76	6.58	6.39	6.23	6.11	6.03	5.98	5.94
18	0.006	6.78	6.60	6.41	6.25	6.12	6.05	5.97	5.97
19	0.006	6.76	6.58	6.39	6.23	6.10	6.03	5.98	5.95
20	0.006	6.76	6.58	6.39	6.23	6.10	6.03	5.98	5.95

Nota. Elaboración propia

Tabla 21: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 3.0 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 01

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.7360	0.7712	0.7447	0.7589	0.7391	0.7676	0.7425	0.7626
p-value	0.0001	0.0003	0.0001	0.0002	0.0001	0.0003	0.0001	0.0003
Alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
norma l	no	no	no	no	no	no	no	no

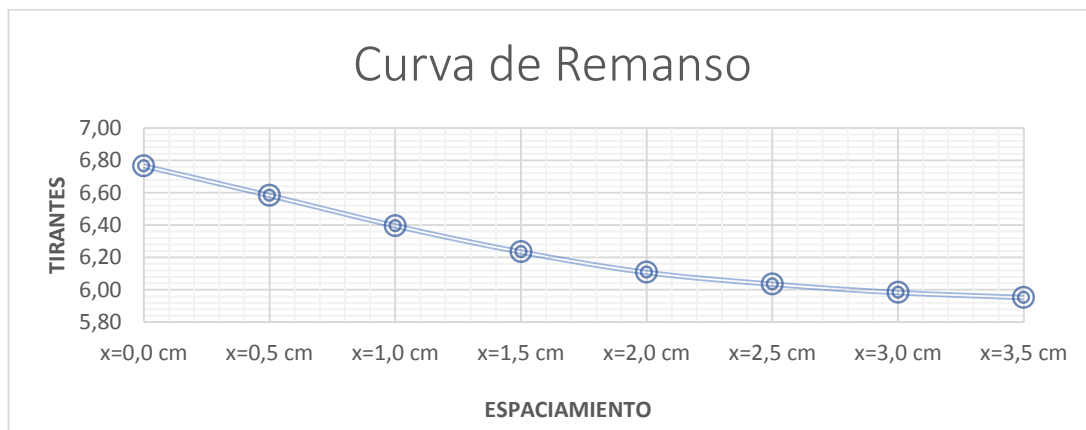
Nota. Elaboración propia

Tabla 22: Tirantes promedio a 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01

N °	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)						
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm
01	0.006	6.77	6.58	6.40	6.23	6.11	6.04	5.98

Nota. Elaboración propia

Figura 25: Curva de remanso a 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01



Nota. Elaboración propia

Tabla 23: Tirantes a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.74	5.70	5.66	5.63	5.61	5.60	5.59	5.59
02	0.006	5.70	5.66	5.62	5.59	5.57	5.56	5.55	5.55
03	0.006	5.71	5.67	5.63	5.60	5.58	5.56	5.56	5.56
04	0.006	5.71	5.67	5.63	5.60	5.58	5.57	5.56	5.56
05	0.006	5.70	5.66	5.62	5.59	5.57	5.56	5.55	5.55
06	0.006	5.70	5.66	5.62	5.59	5.57	5.56	5.55	5.55
07	0.006	5.71	5.67	5.63	5.60	5.58	5.57	5.56	5.56
08	0.006	5.72	5.68	5.64	5.61	5.59	5.58	5.57	5.58
09	0.006	5.72	5.68	5.64	5.61	5.59	5.58	5.57	5.57
10	0.006	5.71	5.67	5.63	5.60	5.58	5.57	5.56	5.56
11	0.006	5.72	5.68	5.64	5.61	5.59	5.59	5.59	5.57
12	0.006	5.72	5.68	5.64	5.61	5.59	5.58	5.59	5.57
13	0.006	5.71	5.67	5.63	5.60	5.58	5.57	5.56	5.56
14	0.006	5.71	5.67	5.63	5.60	5.58	5.56	5.56	5.56
15	0.006	5.72	5.68	5.66	5.61	5.59	5.58	5.57	5.57
16	0.006	5.70	5.70	5.62	5.59	5.61	5.56	5.55	5.55
17	0.006	5.70	5.66	5.62	5.59	5.57	5.60	5.55	5.55
18	0.006	5.74	5.67	5.63	5.60	5.58	5.57	5.56	5.57
19	0.006	5.71	5.67	5.63	5.63	5.58	5.57	5.56	5.56
20	0.006	5.70	5.66	5.62	5.59	5.57	5.56	5.55	5.55

Nota. Elaboración propia

Tabla 24: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 0.5 cm al lado derecho del eje del pilar N° 01

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8352	0.8362	0.8166	0.8352	0.8362	0.8423	0.7980	0.8700
p-value	0.0030	0.0032	0.0015	0.0030	0.0032	0.0040	0.0008	0.0117
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
norma l	no	no	no	no	no	no	no	no

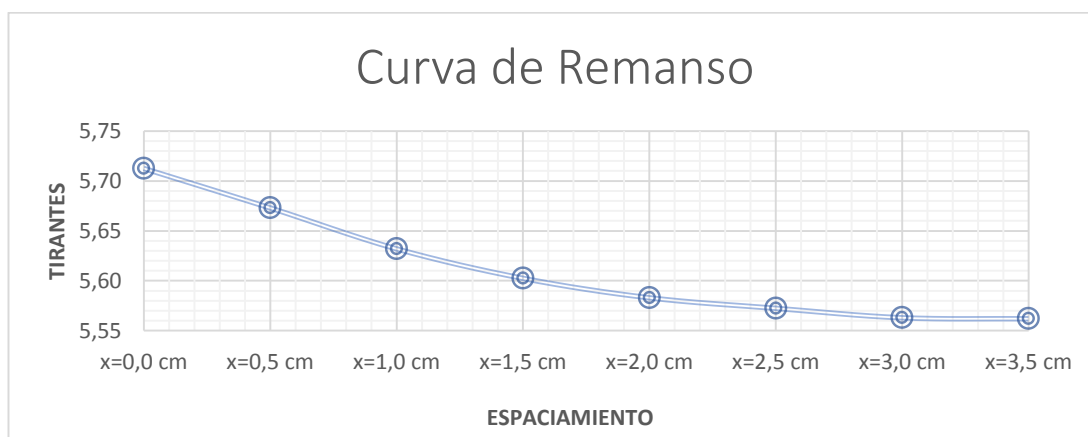
Nota. Elaboración propia

Tabla 25: Tirantes promedio a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01

N º	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.71	5.67	5.63	5.60	5.58	5.57	5.56	5.56

Nota. Elaboración propia

Figura 26: Curva de remanso a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01



Nota. Elaboración propia

Tabla 26: Tirantes a 1.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01

N º	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.71	5.66	5.62	5.60	5.60	5.57	5.57	5.58
02	0.006	5.71	5.65	5.62	5.61	5.58	5.57	5.58	5.58
03	0.006	5.70	5.65	5.63	5.59	5.58	5.58	5.58	5.57

04	0.006	5.70	5.66	5.61	5.59	5.59	5.58	5.57	5.61
05	0.006	5.71	5.64	5.61	5.60	5.59	5.57	5.61	5.59
06	0.006	5.69	5.64	5.62	5.60	5.58	5.61	5.57	5.58
07	0.006	5.69	5.65	5.62	5.59	5.62	5.57	5.58	5.58
08	0.006	5.70	5.65	5.61	5.63	5.58	5.58	5.58	5.57
09	0.006	5.70	5.64	5.65	5.59	5.59	5.58	5.57	5.57
10	0.006	5.69	5.68	5.61	5.60	5.59	5.57	5.57	5.58
11	0.006	5.73	5.64	5.62	5.60	5.58	5.59	5.58	5.59
12	0.006	5.69	5.66	5.62	5.59	5.58	5.59	5.59	5.59
13	0.006	5.70	5.65	5.61	5.59	5.59	5.59	5.59	5.58
14	0.006	5.70	5.64	5.61	5.60	5.60	5.59	5.58	5.59
15	0.006	5.69	5.64	5.62	5.63	5.58	5.58	5.59	5.59
16	0.006	5.69	5.65	5.63	5.61	5.59	5.59	5.60	5.58
17	0.006	5.70	5.66	5.62	5.60	5.60	5.59	5.60	5.58
18	0.006	5.71	5.66	5.62	5.61	5.60	5.58	5.58	5.59
19	0.006	5.71	5.65	5.63	5.61	5.59	5.58	5.59	5.57
20	0.006	5.70	5.66	5.63	5.60	5.59	5.59	5.57	5.57

Nota. Elaboración propia

Tabla 27: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.0 cm al lado derecho del eje del pilar N° 01

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8363	0.8465	0.8174	0.8166	0.8150	0.8547	0.8756	0.8489
p-value	0.0032	0.0047	0.0016	0.0015	0.0015	0.0064	0.0147	0.0051
Alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
norma l	no	no	no	no	no	no	no	no

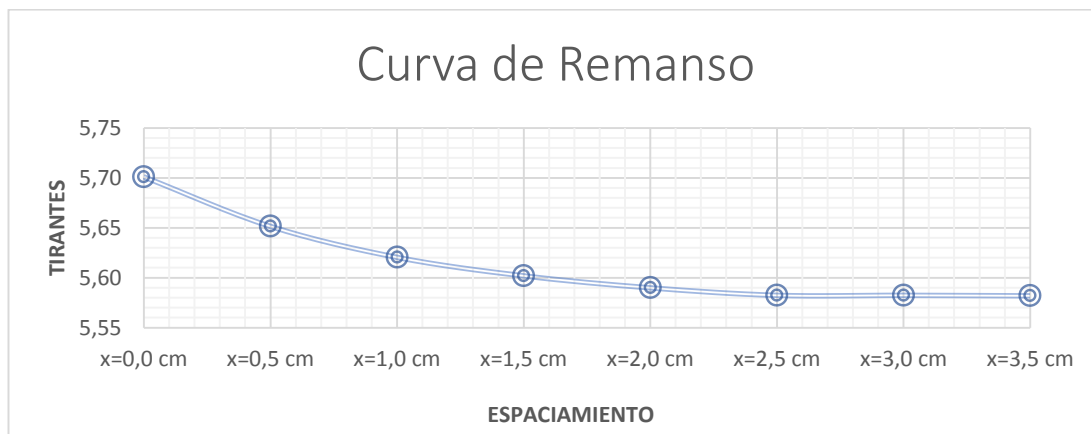
Nota. Elaboración propia

Tirantes promedio a 1.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01

N _o	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.70	5.65	5.62	5.60	5.59	5.58	5.58	5.58

Nota. Elaboración propia

Figura 27: Curva de remanso a 1.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01



Nota. Elaboración propia

Tabla 28: Tirantes a 1.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.70	5.64	5.61	5.60	5.57	5.56	5.56	5.56
02	0.006	5.69	5.64	5.62	5.58	5.57	5.57	5.56	5.55
03	0.006	5.69	5.65	5.60	5.58	5.58	5.57	5.55	5.57
04	0.006	5.70	5.63	5.60	5.59	5.58	5.56	5.59	5.55
05	0.006	5.68	5.63	5.61	5.59	5.57	5.60	5.55	5.56
06	0.006	5.68	5.64	5.61	5.58	5.61	5.56	5.56	5.56
07	0.006	5.69	5.64	5.60	5.59	5.57	5.57	5.56	5.55
08	0.006	5.69	5.63	5.64	5.58	5.56	5.57	5.55	5.55
09	0.006	5.68	5.67	5.60	5.59	5.56	5.56	5.55	5.56
10	0.006	5.72	5.64	5.61	5.57	5.57	5.55	5.56	5.57
11	0.006	5.70	5.64	5.61	5.60	5.57	5.57	5.57	5.57
12	0.006	5.69	5.64	5.60	5.58	5.58	5.58	5.56	5.56
13	0.006	5.69	5.63	5.60	5.59	5.59	5.58	5.56	5.57
14	0.006	5.68	5.63	5.61	5.60	5.59	5.57	5.57	5.57
15	0.006	5.68	5.64	5.62	5.60	5.58	5.56	5.57	5.56
16	0.006	5.69	5.65	5.62	5.57	5.57	5.58	5.56	5.56
17	0.006	5.70	5.65	5.59	5.60	5.59	5.57	5.56	5.57
18	0.006	5.70	5.64	5.62	5.60	5.58	5.56	5.57	5.55
19	0.006	5.69	5.65	5.62	5.59	5.58	5.58	5.55	5.55
20	0.006	5.70	5.65	5.61	5.59	5.59	5.56	5.55	5.56

Nota. Elaboración propia

Tabla 29: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.5 cm al lado derecho del eje del pilar N° 01

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8489	0.8350	0.8987	0.8708	0.8994	0.8821	0.8174	0.8125
p-value	0.0051	0.0030	0.0390	0.0121	0.0401	0.0193	0.0016	0.0013
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
norma l	no	no	no	no	no	no	no	no

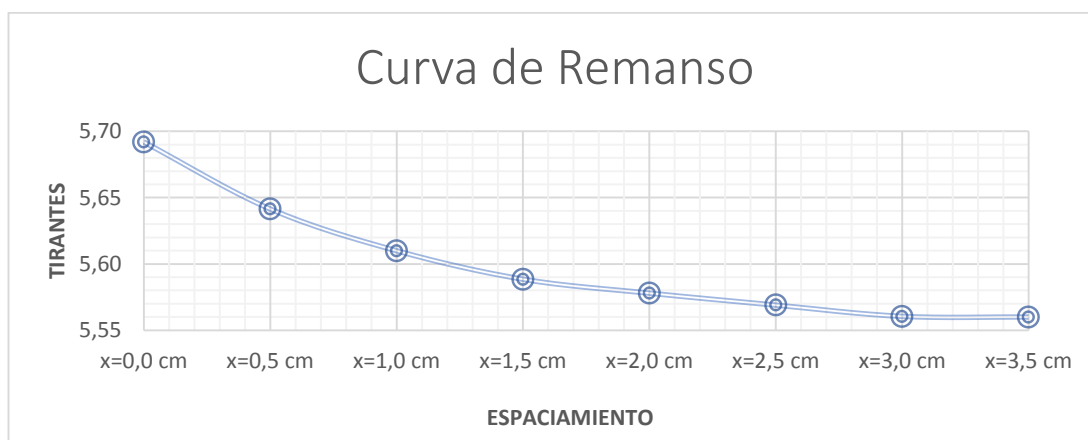
Nota. Elaboración propia

Tirantes promedio a 1.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01

Tirantes promedio a 1.5 cm del lado del ceno del eje del pilar N° 01									
N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.69	5.64	5.61	5.59	5.58	5.57	5.56	5.56

Nota. Elaboración propia

Figura 28: Curva de remanso a 1.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01



Nota. Elaboración propia

Tabla 30: Tirantes a 2.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01

N o	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.68	5.63	5.61	5.57	5.55	5.55	5.54	5.52
02	0.006	5.68	5.64	5.59	5.57	5.56	5.55	5.53	5.53
03	0.006	5.69	5.62	5.59	5.58	5.56	5.54	5.52	5.52
04	0.006	5.67	5.62	5.60	5.58	5.55	5.53	5.53	5.53
05	0.006	5.67	5.63	5.60	5.57	5.54	5.54	5.54	5.53
06	0.006	5.68	5.63	5.59	5.56	5.55	5.55	5.54	5.52

07	0.006	5.68	5.62	5.58	5.57	5.56	5.55	5.53	5.52
08	0.006	5.67	5.66	5.59	5.58	5.56	5.54	5.53	5.53
09	0.006	5.71	5.62	5.60	5.58	5.55	5.54	5.54	5.54
10	0.006	5.67	5.63	5.60	5.57	5.55	5.55	5.55	5.54
11	0.006	5.66	5.63	5.58	5.57	5.56	5.56	5.55	5.53
12	0.006	5.68	5.62	5.59	5.58	5.57	5.56	5.54	5.54
13	0.006	5.67	5.61	5.60	5.59	5.57	5.55	5.52	5.54
14	0.006	5.67	5.63	5.61	5.59	5.56	5.56	5.55	5.53
15	0.006	5.68	5.64	5.61	5.58	5.57	5.56	5.54	5.53
16	0.006	5.69	5.64	5.60	5.59	5.57	5.55	5.54	5.54
17	0.006	5.69	5.63	5.61	5.56	5.56	5.53	5.52	5.52
18	0.006	5.68	5.64	5.61	5.58	5.56	5.56	5.53	5.52
19	0.006	5.69	5.64	5.60	5.58	5.57	5.54	5.53	5.53
20	0.006	5.69	5.63	5.60	5.59	5.55	5.54	5.54	5.53

Nota. Elaboración propia

Tabla 31: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.0 cm al lado derecho del eje del pilar N° 01

V	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8987	0.8992	0.8778	0.8859	0.8729	0.8821	0.8872	0.8159
p-value	0.0390	0.0398	0.0161	0.0226	0.0132	0.0193	0.0239	0.0015
Alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Normal	no	no	no	no	no	no	no	no

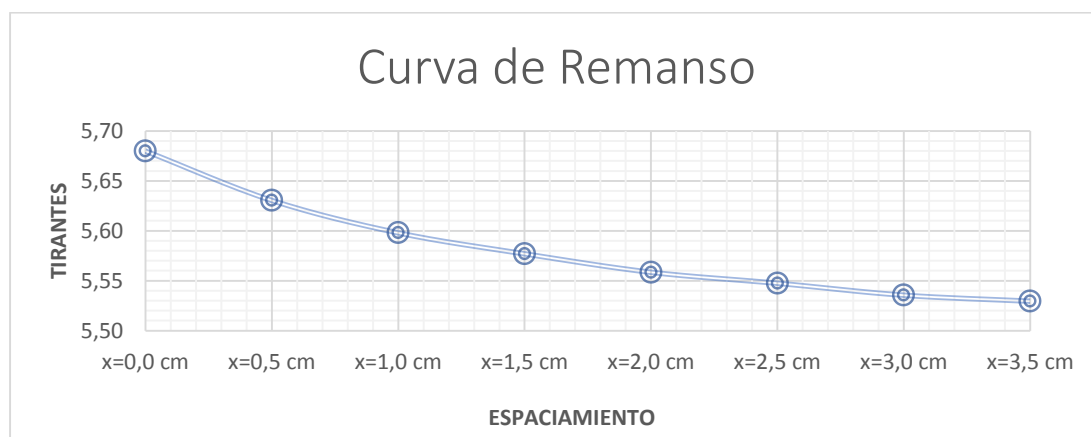
Nota. Elaboración propia

Tabla 32: Tirantes promedio a 2.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01

N °	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.68	5.63	5.60	5.58	5.56	5.55	5.54	5.53

Nota. Elaboración propia

Figura 29: Curva de remanso a 2.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01



Nota. Elaboración propia

Tabla 33: Tirantes a 2.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01

N°	Caudal (m³/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.67	5.63	5.57	5.55	5.54	5.53	5.51	5.55
02	0.006	5.68	5.59	5.57	5.56	5.54	5.52	5.50	5.51
03	0.006	5.66	5.61	5.58	5.56	5.53	5.51	5.51	5.52
04	0.006	5.66	5.59	5.58	5.55	5.54	5.52	5.52	5.52
05	0.006	5.67	5.62	5.57	5.55	5.53	5.53	5.52	5.51
06	0.006	5.67	5.61	5.56	5.55	5.54	5.53	5.51	5.51
07	0.006	5.66	5.65	5.57	5.56	5.54	5.52	5.51	5.52
08	0.006	5.70	5.61	5.58	5.56	5.53	5.52	5.52	5.50
09	0.006	5.66	5.62	5.58	5.55	5.53	5.53	5.53	5.50
10	0.006	5.65	5.62	5.57	5.55	5.54	5.54	5.53	5.52
11	0.006	5.66	5.61	5.57	5.56	5.55	5.54	5.52	5.53
12	0.006	5.66	5.61	5.58	5.57	5.55	5.53	5.53	5.53
13	0.006	5.66	5.59	5.59	5.57	5.54	5.54	5.53	5.52
14	0.006	5.67	5.63	5.59	5.56	5.55	5.54	5.52	5.52
15	0.006	5.68	5.59	5.58	5.57	5.55	5.53	5.52	5.50
16	0.006	5.68	5.59	5.59	5.55	5.54	5.51	5.53	5.51
17	0.006	5.67	5.63	5.59	5.56	5.54	5.54	5.51	5.55
18	0.006	5.68	5.63	5.58	5.56	5.55	5.52	5.50	5.52
19	0.006	5.68	5.62	5.58	5.57	5.53	5.52	5.52	5.52
20	0.006	5.67	5.62	5.59	5.55	5.53	5.53	5.52	5.51

Nota. Elaboración propia

Tabla 34: Prueba de normalidad Shapiro Wilk 2.5 cm al lado derecho del eje del pilar N° 01

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8912	0.9035	0.8729	0.7999	0.8159	0.8821	0.8778	0.8685
p-value	0.0283	0.0479	0.0132	0.0009	0.0015	0.0193	0.0161	0.0111
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	no	no	no	no	no	no	no	no

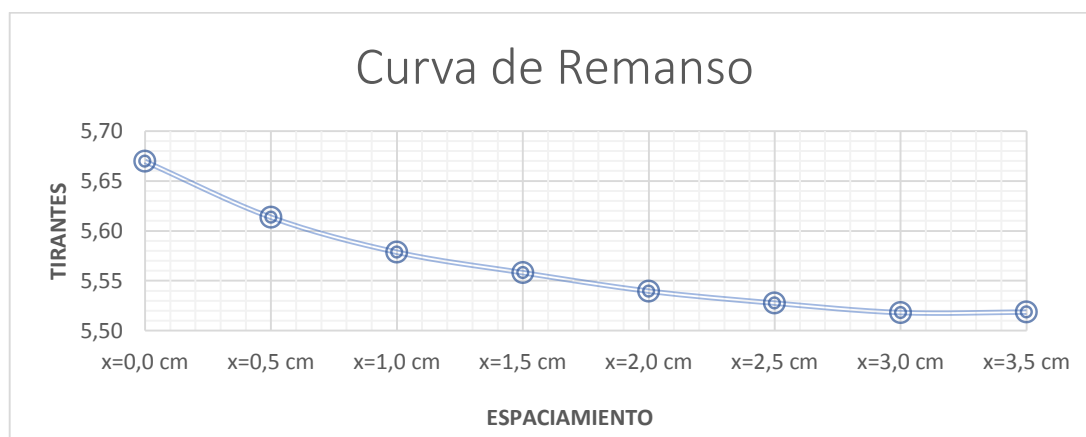
Nota. Elaboración propia

Tabla 35: Tirantes promedio a 2.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01

N°	Cauda l (m ³ /s)	Tirantes promedio (cm)						
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm
01	0.006	5.67	5.61	5.58	5.56	5.54	5.53	5.52

Nota. Elaboración propia

Figura 30: Curva de remanso a 2.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01



Nota. Elaboración propia

Tabla 36: Tirantes a 3.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01

N°	Cauda l (m ³ /s)	Tirantes (cm)						
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm
01	0.006	5.67	5.60	5.57	5.56	5.54	5.52	5.51
02	0.006	5.65	5.60	5.58	5.56	5.53	5.51	5.52
03	0.006	5.65	5.61	5.58	5.55	5.55	5.52	5.52

04	0.006	5.66	5.61	5.57	5.57	5.53	5.53	5.52	5.51
05	0.006	5.66	5.60	5.58	5.55	5.54	5.53	5.51	5.51
06	0.006	5.65	5.60	5.57	5.56	5.54	5.52	5.51	5.52
07	0.006	5.69	5.60	5.58	5.56	5.53	5.52	5.52	5.53
08	0.006	5.65	5.61	5.58	5.55	5.53	5.53	5.53	5.49
09	0.006	5.66	5.61	5.57	5.55	5.54	5.54	5.53	5.52
10	0.006	5.64	5.60	5.57	5.56	5.55	5.54	5.52	5.53
11	0.006	5.65	5.60	5.58	5.57	5.55	5.53	5.51	5.53
12	0.006	5.65	5.61	5.59	5.57	5.54	5.54	5.51	5.52
13	0.006	5.66	5.62	5.59	5.56	5.55	5.54	5.52	5.52
14	0.006	5.67	5.62	5.58	5.57	5.55	5.53	5.52	5.49
15	0.006	5.67	5.61	5.59	5.57	5.54	5.53	5.53	5.51
16	0.006	5.66	5.62	5.59	5.56	5.54	5.54	5.51	5.51
17	0.006	5.67	5.62	5.58	5.56	5.55	5.52	5.51	5.52
18	0.006	5.67	5.61	5.58	5.57	5.54	5.51	5.52	5.52
19	0.006	5.66	5.61	5.59	5.55	5.55	5.53	5.52	5.51
20	0.006	5.66	5.62	5.57	5.55	5.54	5.53	5.51	5.55

Nota. Elaboración propia

Tabla 37: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 3.0 cm al lado derecho del eje del pilar N° 01

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8987	0.8094	0.8159	0.8125	0.8092	0.8778	0.7840	0.8942
p-value	0.0390	0.0012	0.0015	0.0013	0.0012	0.0161	0.0005	0.0322
Alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Norma I	no	no	no	no	no	no	no	no

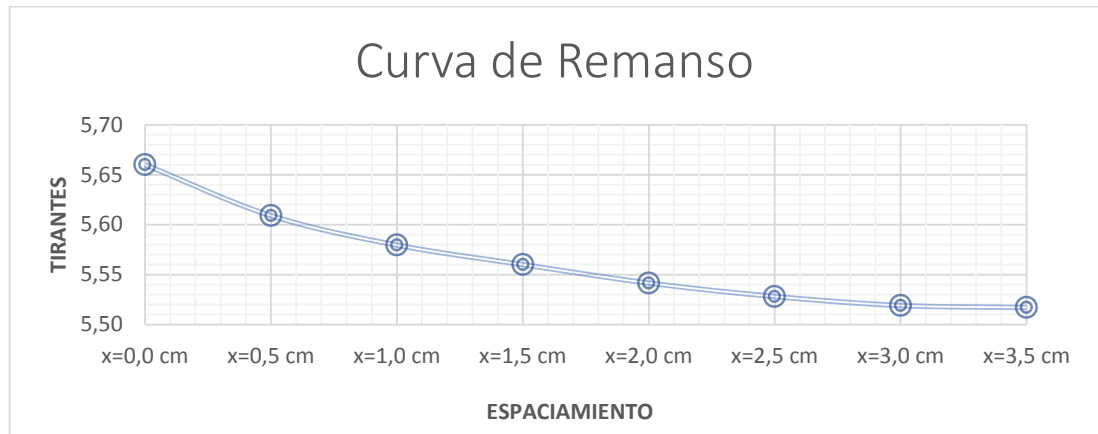
Nota. Elaboración propia

Tabla 38: Tirantes promedio a 3.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01

N °	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)						
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm
01	0.006	5.66	5.61	5.58	5.56	5.54	5.53	5.52

Nota. Elaboración propia

Figura 31: Curva de remanso a 3.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01



Nota. Elaboración propia

- **PARA EL PILAR N° 02**

Figura 32: Medición de tirantes pilar N° 02



Nota. Elaboración propia

Tabla 39: Tirantes al eje del pilar N° 02

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.97	6.74	6.53	6.36	6.21	6.13	6.07	6.04
02	0.006	6.93	6.70	6.49	6.32	6.17	6.09	6.03	6.00
03	0.006	6.96	6.73	6.52	6.35	6.20	6.12	6.06	6.03
04	0.006	6.94	6.71	6.50	6.33	6.18	6.10	6.04	6.01
05	0.006	6.95	6.74	6.51	6.34	6.19	6.11	6.07	6.02
06	0.006	6.96	6.73	6.52	6.35	6.20	6.12	6.06	6.04
07	0.006	6.95	6.72	6.51	6.34	6.19	6.11	6.05	6.02
08	0.006	6.94	6.74	6.50	6.33	6.18	6.10	6.04	6.01
09	0.006	6.93	6.70	6.49	6.32	6.17	6.09	6.03	6.00
10	0.006	6.97	6.74	6.49	6.36	6.21	6.13	6.07	6.04
11	0.006	6.97	6.74	6.53	6.36	6.21	6.13	6.07	6.02
12	0.006	6.95	6.72	6.51	6.34	6.19	6.11	6.05	6.04
13	0.006	6.96	6.73	6.52	6.35	6.20	6.12	6.06	6.03
14	0.006	6.93	6.74	6.53	6.32	6.17	6.13	6.07	6.02
15	0.006	6.94	6.71	6.50	6.36	6.18	6.10	6.04	6.01
16	0.006	6.96	6.73	6.52	6.35	6.20	6.12	6.06	6.03
17	0.006	6.97	6.74	6.53	6.36	6.21	6.13	6.07	6.04
18	0.006	6.97	6.72	6.51	6.34	6.20	6.11	6.05	6.02
19	0.006	6.93	6.70	6.49	6.32	6.17	6.09	6.03	6.00
20	0.006	6.94	6.71	6.50	6.33	6.18	6.10	6.04	6.01

Nota. Elaboración propia

Tabla 40: Prueba de normalidad Shapiro Wilk al eje del pilar N° 02

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8768	0.8526	0.8959	0.8820	0.8875	0.8933	0.8717	0.8954
p-value	0.0155	0.0059	0.0345	0.0192	0.0242	0.0310	0.0126	0.0339
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
norma l	no	no	no	no	no	no	no	no

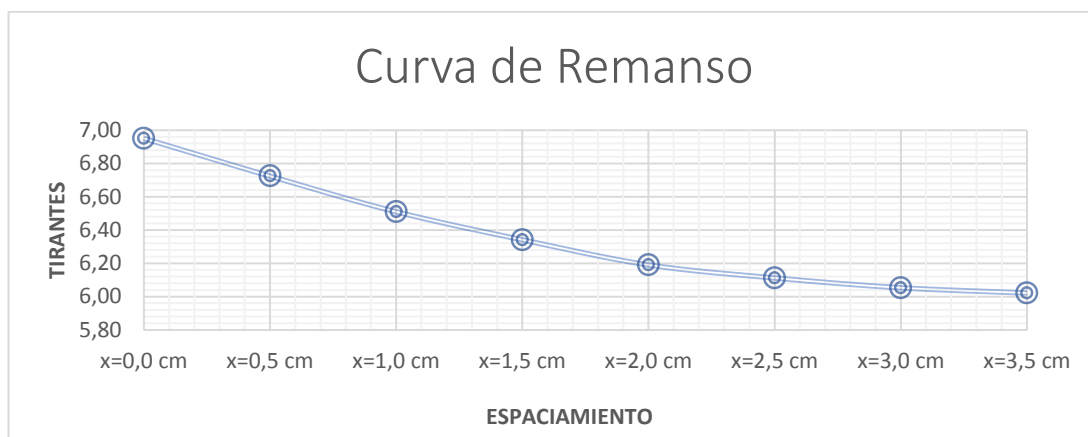
Nota. Elaboración propia

Tabla 41: Tirantes promedio al eje del pilar N° 02

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.95	6.72	6.51	6.34	6.19	6.11	6.05	6.02

Nota. Elaboración propia

Figura 33: Curva de remanso para el eje del pilar N° 02



Nota. Elaboración propia

Tabla 42: Tirantes a 0.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.94	6.71	6.50	6.33	6.18	6.10	6.02	5.99
02	0.006	6.90	6.67	6.46	6.29	6.14	6.06	5.98	5.95
03	0.006	6.91	6.68	6.47	6.30	6.15	6.07	5.99	5.96
04	0.006	6.91	6.68	6.47	6.30	6.15	6.07	5.99	5.96
05	0.006	6.90	6.67	6.46	6.29	6.14	6.06	5.98	5.95
06	0.006	6.90	6.67	6.46	6.29	6.14	6.07	5.98	5.95
07	0.006	6.91	6.68	6.47	6.30	6.15	6.07	5.99	5.96
08	0.006	6.92	6.69	6.48	6.31	6.16	6.08	6.00	5.97
09	0.006	6.92	6.69	6.48	6.31	6.16	6.08	6.00	5.97
10	0.006	6.91	6.68	6.47	6.30	6.15	6.07	5.99	5.96
11	0.006	6.92	6.69	6.48	6.31	6.16	6.08	6.00	5.97
12	0.006	6.92	6.71	6.48	6.31	6.16	6.08	6.00	5.97
13	0.006	6.91	6.68	6.47	6.30	6.15	6.07	6.02	5.96
14	0.006	6.91	6.68	6.47	6.30	6.15	6.10	5.99	5.96
15	0.006	6.92	6.69	6.48	6.31	6.16	6.08	5.98	5.97
16	0.006	6.90	6.67	6.46	6.33	6.14	6.06	5.98	5.95
17	0.006	6.90	6.67	6.46	6.29	6.14	6.06	5.98	5.95
18	0.006	6.94	6.68	6.50	6.30	6.15	6.07	5.99	5.95
19	0.006	6.91	6.68	6.50	6.30	6.15	6.10	5.99	5.96
20	0.006	6.90	6.67	6.46	6.29	6.14	6.06	5.98	5.95

Nota. Elaboración propia

Tabla 43: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 0.5 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 02

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8352	0.8166	0.8370	0.8362	0.8363	0.8407	0.8118	0.8303
p-value	0.0030	0.0015	0.0032	0.0032	0.0032	0.0037	0.0013	0.0025
Alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Norma l	no	no	no	no	no	no	no	no

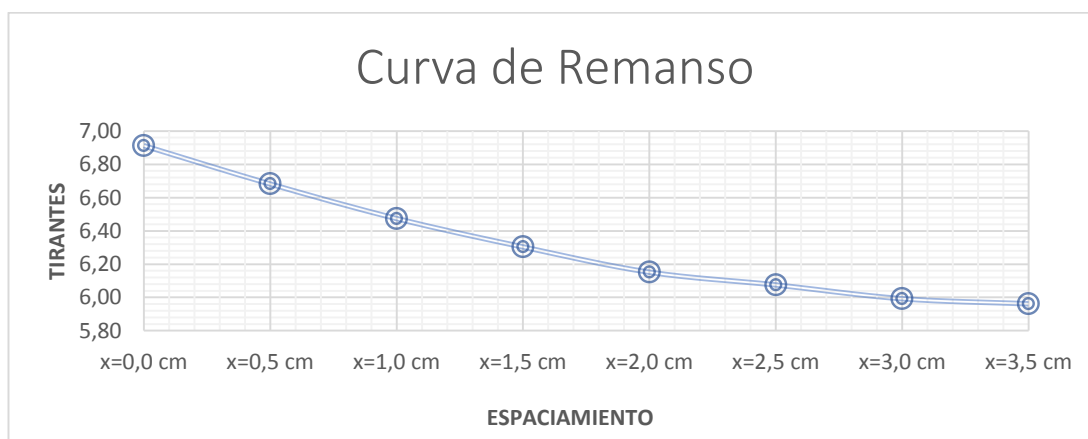
Nota. Elaboración propia

Tabla 44: Tirantes promedio a 0.5cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02

N º	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.91	6.68	6.47	6.30	6.15	6.07	5.99	5.96

Nota. Elaboración propia

Figura 34: Curva de remanso a 0.5cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02



Nota. Elaboración propia

Tabla 45: Tirantes a 1.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02

N º	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.89	6.66	6.45	6.28	6.16	6.07	6.00	5.95
02	0.006	6.89	6.66	6.45	6.28	6.16	6.07	6.00	5.95
03	0.006	6.90	6.67	6.46	6.29	6.17	6.08	6.01	5.96
04	0.006	6.88	6.65	6.44	6.27	6.15	6.06	5.99	5.94

05	0.006	6.88	6.65	6.44	6.26	6.14	6.07	6.02	5.93
06	0.006	6.89	6.66	6.45	6.28	6.16	6.07	6.00	5.95
07	0.006	6.88	6.65	6.44	6.27	6.15	6.06	5.99	5.94
08	0.006	6.90	6.67	6.46	6.29	6.17	6.08	6.01	5.96
09	0.006	6.88	6.65	6.44	6.27	6.15	6.06	5.99	5.94
10	0.006	6.89	6.66	6.45	6.28	6.16	6.07	6.00	5.95
11	0.006	6.90	6.67	6.46	6.29	6.17	6.08	6.01	5.96
12	0.006	6.88	6.65	6.44	6.27	6.15	6.06	5.99	5.94
13	0.006	6.89	6.66	6.45	6.28	6.16	6.07	6.00	5.95
14	0.006	6.89	6.66	6.45	6.28	6.16	6.07	6.00	5.95
15	0.006	6.88	6.65	6.44	6.27	6.15	6.06	5.99	5.94
16	0.006	6.88	6.65	6.44	6.27	6.15	6.06	5.99	5.94
17	0.006	6.89	6.66	6.45	6.28	6.16	6.07	6.00	5.95
18	0.006	6.88	6.65	6.44	6.27	6.15	6.06	5.99	5.94
19	0.006	6.88	6.64	6.45	6.26	6.16	6.07	6.02	5.93
20	0.006	6.88	6.65	6.44	6.27	6.15	6.06	5.99	5.94

Nota. Elaboración propia

Tabla 46: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.0 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 02

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.7652	0.8583	0.7836	0.8845	0.8680	0.7954	0.8262	0.8845
p-value	0.0003	0.0074	0.0005	0.0213	0.0108	0.0007	0.0022	0.0213
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
norma l	no	no	no	no	no	no	no	no

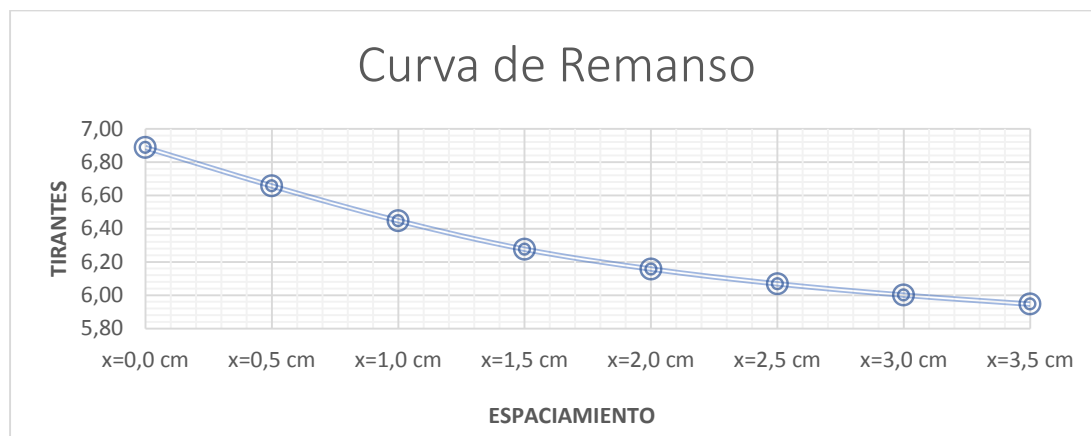
Nota. Elaboración propia

Tabla 47: Tirantes promedio a 1.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02

N °	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.89	6.66	6.45	6.28	6.16	6.07	6.00	5.95

Nota. Elaboración propia

Figura 35: Curva de remanso a 1.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02



Nota. Elaboración propia

Tabla 48: Tirantes a 1.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02

N°	Caudal (m³/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.88	6.66	6.45	6.28	6.17	6.07	6.00	5.97
02	0.006	6.86	6.64	6.45	6.28	6.17	6.07	6.00	5.97
03	0.006	6.87	6.65	6.44	6.27	6.16	6.06	5.99	5.96
04	0.006	6.87	6.65	6.44	6.24	6.16	6.06	5.99	5.96
05	0.006	6.84	6.64	6.42	6.25	6.14	6.04	5.97	5.94
06	0.006	6.86	6.64	6.42	6.25	6.14	6.04	5.97	5.94
07	0.006	6.86	6.64	6.43	6.26	6.14	6.04	5.97	5.95
08	0.006	6.86	6.64	6.43	6.26	6.15	6.05	5.98	5.95
09	0.006	6.86	6.64	6.42	6.24	6.14	6.04	5.97	5.94
10	0.006	6.86	6.62	6.42	6.24	6.14	6.04	5.97	5.94
11	0.006	6.84	6.62	6.43	6.26	6.15	6.05	5.98	5.95
12	0.006	6.84	6.64	6.43	6.26	6.15	6.05	5.98	5.95
13	0.006	6.86	6.64	6.43	6.26	6.15	6.05	5.98	5.95
14	0.006	6.86	6.64	6.42	6.25	6.14	6.04	5.97	5.94
15	0.006	6.87	6.65	6.44	6.27	6.16	6.06	5.99	5.96
16	0.006	6.87	6.65	6.44	6.27	6.16	6.07	5.99	5.96
17	0.006	6.86	6.64	6.42	6.25	6.17	6.04	5.97	5.94
18	0.006	6.86	6.65	6.43	6.24	6.15	6.05	5.98	5.97
19	0.006	6.87	6.65	6.44	6.24	6.16	6.06	5.99	5.96
20	0.006	6.86	6.64	6.42	6.25	6.14	6.04	5.97	5.95

Nota. Elaboración propia

Tabla 49: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.5 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 02

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8166	0.8073	0.8576	0.9026	0.8526	0.8311	0.8388	0.8685
p-value	0.0015	0.0011	0.0072	0.0461	0.0059	0.0026	0.0035	0.0110
Alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
norma l	No	no	no	no	no	no	no	no

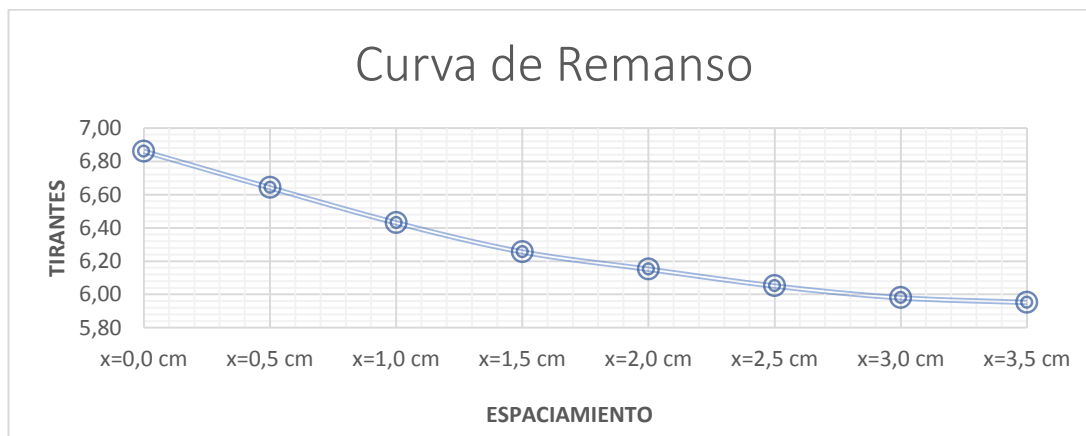
Nota. Elaboración propia

Tabla 50: Tirantes promedio a 1.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02

N º	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)						
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm
01	0.006	6.86	6.64	6.43	6.26	6.15	6.05	5.95

Nota. Elaboración propia

Figura 36: Curva de remanso a 1.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02



Nota. Elaboración propia

Tabla 51: Tirantes a 2.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02

N º	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)						
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm
01	0.006	6.85	6.64	6.44	6.27	6.16	6.07	5.97
02	0.006	6.84	6.63	6.43	6.26	6.15	6.06	5.96
03	0.006	6.85	6.64	6.44	6.27	6.16	6.07	5.95
04	0.006	6.85	6.64	6.44	6.27	6.16	6.07	5.95

05	0.006	6.84	6.63	6.43	6.26	6.15	6.06	5.99	5.96
06	0.006	6.84	6.63	6.43	6.26	6.15	6.06	5.99	5.96
07	0.006	6.83	6.62	6.42	6.25	6.14	6.05	6.01	5.95
08	0.006	6.84	6.63	6.43	6.26	6.15	6.06	5.99	5.96
09	0.006	6.85	6.64	6.44	6.27	6.16	6.07	6.00	5.97
10	0.006	6.83	6.62	6.42	6.25	6.14	6.05	5.98	5.95
11	0.006	6.84	6.64	6.43	6.26	6.15	6.06	5.99	5.96
12	0.006	6.84	6.63	6.43	6.26	6.15	6.06	5.99	5.95
13	0.006	6.84	6.63	6.43	6.26	6.15	6.06	5.99	5.96
14	0.006	6.85	6.64	6.44	6.27	6.16	6.07	6.00	5.97
15	0.006	6.85	6.64	6.42	6.24	6.16	6.08	6.01	5.97
16	0.006	6.85	6.64	6.44	6.27	6.16	6.07	6.00	5.95
17	0.006	6.84	6.63	6.43	6.26	6.15	6.06	5.99	5.96
18	0.006	6.85	6.62	6.42	6.25	6.14	6.05	5.98	5.95
19	0.006	6.83	6.62	6.42	6.25	6.14	6.05	5.98	5.95
20	0.006	6.84	6.63	6.43	6.26	6.15	6.06	5.99	5.96

Nota. Elaboración propia

Tabla 52: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.0 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 02

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.7954	0.7999	0.8159	0.8563	0.8092	0.8733	0.8808	0.7999
p-value	0.0007	0.0009	0.0015	0.0068	0.0012	0.0134	0.0183	0.0009
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	no	no	no	no	no	no	no	no

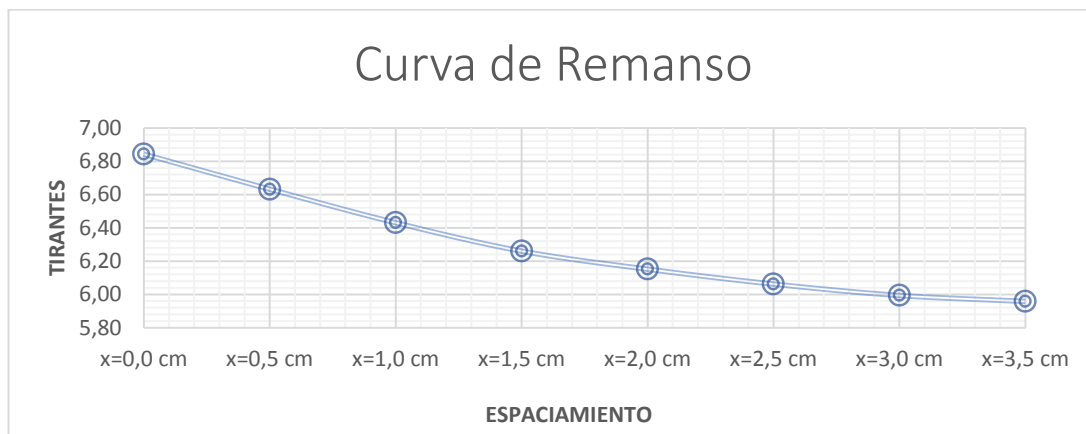
Nota. Elaboración propia

Tabla 53: Tirantes promedio a 2.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.84	6.63	6.43	6.26	6.15	6.06	5.99	5.96

Nota. Elaboración propia

Figura 37: Curva de remanso a 2.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02



Nota. Elaboración propia

Tabla 54: Tirantes a 2.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02

N°	Caudal (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.81	6.62	6.42	6.25	6.15	6.05	5.99	5.95
02	0.006	6.81	6.62	6.42	6.25	6.15	6.05	6.01	5.95
03	0.006	6.81	6.62	6.42	6.25	6.15	6.05	5.99	5.95
04	0.006	6.82	6.63	6.43	6.26	6.16	6.06	6.00	5.96
05	0.006	6.83	6.64	6.44	6.27	6.17	6.07	6.01	5.97
06	0.006	6.82	6.63	6.43	6.26	6.16	6.06	6.00	5.96
07	0.006	6.83	6.64	6.44	6.27	6.17	6.07	6.01	5.97
08	0.006	6.81	6.62	6.41	6.25	6.15	6.05	5.99	5.95
09	0.006	6.81	6.62	6.42	6.25	6.15	6.05	5.99	5.95
10	0.006	6.82	6.61	6.43	6.26	6.16	6.06	6.00	5.96
11	0.006	6.81	6.62	6.42	6.25	6.15	6.05	5.99	5.95
12	0.006	6.81	6.62	6.42	6.25	6.15	6.05	5.99	5.95
13	0.006	6.83	6.64	6.44	6.27	6.17	6.07	6.01	5.97
14	0.006	6.82	6.63	6.43	6.26	6.16	6.06	6.00	5.96
15	0.006	6.81	6.62	6.42	6.25	6.15	6.05	5.99	5.95
16	0.006	6.81	6.62	6.42	6.25	6.15	6.04	5.99	5.95
17	0.006	6.82	6.63	6.43	6.27	6.16	6.06	6.00	5.94
18	0.006	6.81	6.62	6.42	6.25	6.17	6.05	5.99	5.95
19	0.006	6.82	6.63	6.43	6.26	6.16	6.06	6.00	5.96
20	0.006	6.81	6.62	6.42	6.25	6.15	6.05	5.99	5.95

Nota. Elaboración propia

Tabla 55: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.5 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 02

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.7401	0.8166	0.8412	0.7342	0.7622	0.8412	0.7622	0.8166
p-value	0.0001	0.0015	0.0038	0.0001	0.0002	0.0038	0.0002	0.0015
Alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Norma l	no	no	no	no	no	no	no	no

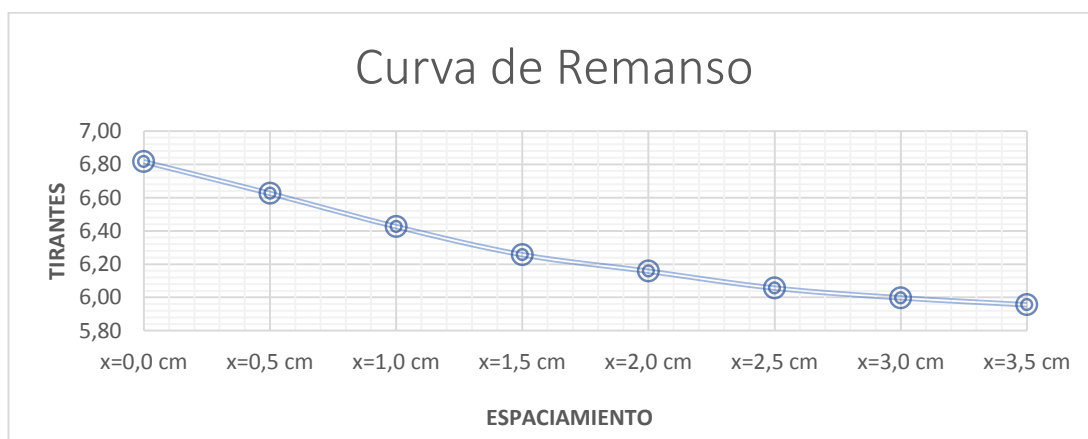
Nota. Elaboración propia

Tabla 56: Tirantes promedio a 2.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02

N º	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.82	6.63	6.43	6.26	6.16	6.06	6.00	5.96

Nota. Elaboración propia

Figura 38: Curva de remanso a 2.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02



Nota. Elaboración propia

Tabla 57: Tirantes a 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02

N º	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.77	6.59	6.40	6.24	6.11	6.03	6.02	5.99
02	0.006	6.75	6.57	6.38	6.22	6.09	6.03	6.00	5.99
03	0.006	6.77	6.59	6.40	6.24	6.11	6.03	6.02	5.99
04	0.006	6.77	6.59	6.40	6.24	6.11	6.04	6.02	6.00

05	0.006	6.75	6.55	6.38	6.23	6.09	6.05	6.00	6.01
06	0.006	6.75	6.57	6.38	6.22	6.08	6.04	5.99	5.98
07	0.006	6.75	6.57	6.37	6.22	6.09	6.05	6.00	6.01
08	0.006	6.77	6.59	6.40	6.24	6.11	6.03	6.02	5.99
09	0.006	6.77	6.59	6.40	6.24	6.11	6.03	6.02	5.99
10	0.006	6.75	6.57	6.38	6.22	6.09	6.04	6.00	6.00
11	0.006	6.74	6.59	6.40	6.24	6.11	6.03	6.02	5.99
12	0.006	6.74	6.57	6.38	6.22	6.08	6.03	6.00	5.99
13	0.006	6.75	6.57	6.38	6.22	6.09	6.05	6.00	6.01
14	0.006	6.75	6.57	6.37	6.22	6.09	6.04	6.00	6.00
15	0.006	6.75	6.57	6.38	6.23	6.08	6.03	5.99	5.99
16	0.006	6.75	6.57	6.38	6.22	6.09	6.02	6.00	5.99
17	0.006	6.75	6.55	6.38	6.22	6.09	6.04	6.00	5.98
18	0.006	6.77	6.59	6.40	6.24	6.11	6.03	6.02	5.99
19	0.006	6.75	6.57	6.38	6.22	6.09	6.04	6.00	6.00
20	0.006	6.74	6.57	6.38	6.22	6.09	6.03	6.00	5.99

Nota. Elaboración propia

Tabla 58: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 3.0 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 02

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.7589	0.7795	0.7447	0.6877	0.7676	0.8412	0.7447	0.8318
p-value	0.0002	0.0004	0.0001	0.0000	0.0003	0.0038	0.0001	0.0027
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
norma l	no	no	no	no	no	no	no	no

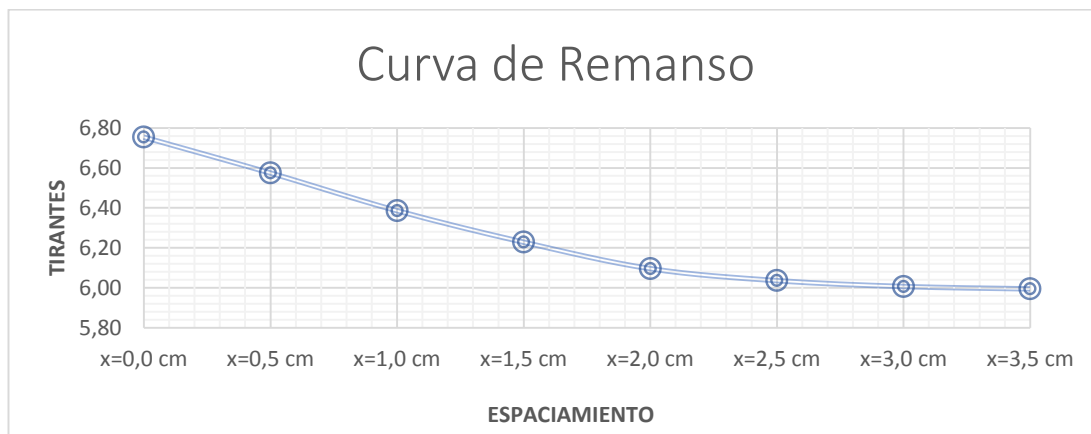
Nota. Elaboración propia

Tabla 59: Tirantes promedio a 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.75	6.58	6.39	6.23	6.10	6.04	6.01	5.99

Nota. Elaboración propia

Figura 39: Curva de remanso, 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02



Nota. Elaboración propia

Tabla 60: Tirantes a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.69	5.64	5.62	5.60	5.58	5.57	5.58	5.56
02	0.006	5.65	5.65	5.61	5.60	5.57	5.57	5.56	5.57
03	0.006	5.66	5.61	5.62	5.59	5.59	5.54	5.54	5.54
04	0.006	5.66	5.62	5.58	5.60	5.58	5.56	5.57	5.55
05	0.006	5.65	5.62	5.59	5.56	5.59	5.57	5.57	5.53
06	0.006	5.65	5.61	5.59	5.57	5.55	5.58	5.56	5.56
07	0.006	5.66	5.61	5.58	5.57	5.56	5.54	5.57	5.53
08	0.006	5.67	5.62	5.58	5.56	5.56	5.55	5.53	5.56
09	0.006	5.67	5.63	5.59	5.56	5.55	5.56	5.54	5.54
10	0.006	5.66	5.63	5.60	5.57	5.55	5.54	5.54	5.53
11	0.006	5.67	5.62	5.60	5.58	5.56	5.54	5.53	5.53
12	0.006	5.67	5.63	5.59	5.58	5.57	5.55	5.53	5.54
13	0.006	5.66	5.63	5.60	5.57	5.57	5.56	5.54	5.54
14	0.006	5.66	5.62	5.60	5.58	5.56	5.54	5.55	5.53
15	0.006	5.67	5.62	5.59	5.58	5.57	5.55	5.55	5.54
16	0.006	5.65	5.63	5.59	5.57	5.57	5.56	5.54	5.56
17	0.006	5.65	5.61	5.60	5.57	5.56	5.56	5.54	5.53
18	0.006	5.66	5.61	5.58	5.58	5.56	5.55	5.55	5.56
19	0.006	5.66	5.62	5.58	5.56	5.57	5.56	5.54	5.54
20	0.006	5.65	5.62	5.59	5.56	5.55	5.56	5.54	5.53

Nota. Elaboración propia

Tabla 61: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 0.5 cm al lado derecho del eje del pilar N° 02

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8363	0.8736	0.8707	0.8699	0.9044	0.9042	0.8805	0.8316
p-value	0.0032	0.0136	0.0121	0.0117	0.0500	0.0496	0.0181	0.0027
Alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
norma l	no	no	no	no	no	no	no	no

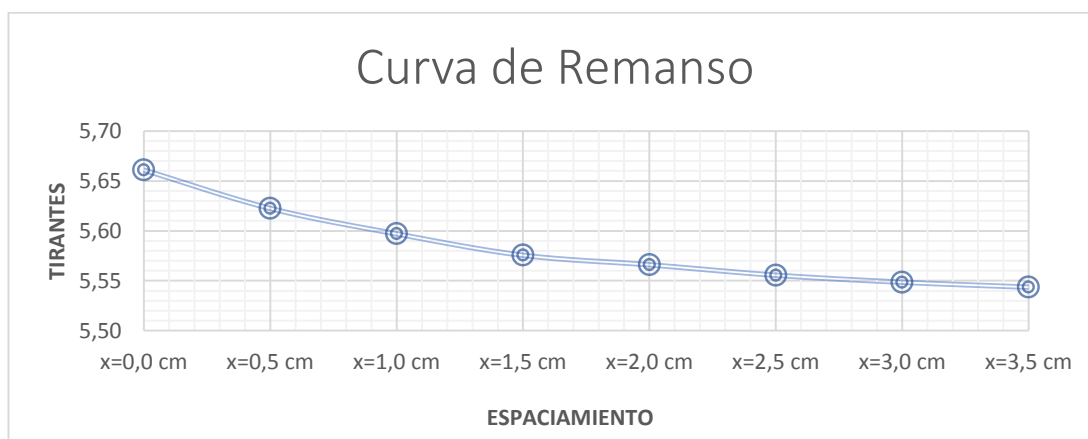
Nota. Elaboración propia

Tabla 62: Tirantes promedio a 0.5 cm del Lado derecho del Eje del Pilar N° 02

N o	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.66	5.62	5.60	5.58	5.57	5.56	5.55	5.54

Nota. Elaboración propia

Figura 40: Curva de remanso a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02



Nota. Elaboración propia

Tabla 63: Tirantes a 1.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02

N o	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.67	5.64	5.60	5.59	5.57	5.57	5.56	5.56
02	0.006	5.68	5.62	5.60	5.58	5.57	5.56	5.57	5.56
03	0.006	5.64	5.64	5.58	5.58	5.58	5.56	5.55	5.57
04	0.006	5.65	5.60	5.62	5.58	5.58	5.57	5.55	5.55

05	0.006	5.65	5.61	5.58	5.58	5.56	5.53	5.56	5.55
06	0.006	5.64	5.61	5.59	5.56	5.55	5.55	5.56	5.56
07	0.006	5.64	5.60	5.59	5.57	5.54	5.57	5.54	5.56
08	0.006	5.65	5.60	5.58	5.57	5.55	5.53	5.56	5.54
09	0.006	5.66	5.61	5.58	5.56	5.55	5.54	5.52	5.56
10	0.006	5.66	5.62	5.59	5.56	5.54	5.54	5.53	5.52
11	0.006	5.65	5.62	5.60	5.57	5.54	5.53	5.53	5.53
12	0.006	5.66	5.61	5.60	5.58	5.55	5.53	5.52	5.53
13	0.006	5.66	5.62	5.59	5.58	5.56	5.54	5.52	5.52
14	0.006	5.65	5.62	5.60	5.57	5.56	5.55	5.53	5.52
15	0.006	5.65	5.61	5.60	5.58	5.55	5.55	5.56	5.53
16	0.006	5.66	5.61	5.59	5.58	5.56	5.54	5.54	5.52
17	0.006	5.64	5.62	5.59	5.57	5.56	5.56	5.53	5.54
18	0.006	5.64	5.60	5.60	5.57	5.55	5.53	5.56	5.53
19	0.006	5.65	5.60	5.58	5.58	5.55	5.56	5.54	5.54
20	0.006	5.65	5.61	5.58	5.56	5.56	5.55	5.53	5.52

Nota. Elaboración propia

Tabla 64: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.0 cm al lado derecho del eje del pilar N° 02

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8736	0.8505	0.8488	0.8530	0.9026	0.8933	0.8935	0.8848
p-value	0.0136	0.0054	0.0051	0.0060	0.0462	0.0310	0.0312	0.0216
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	no	no	no	no	no	no	no	no

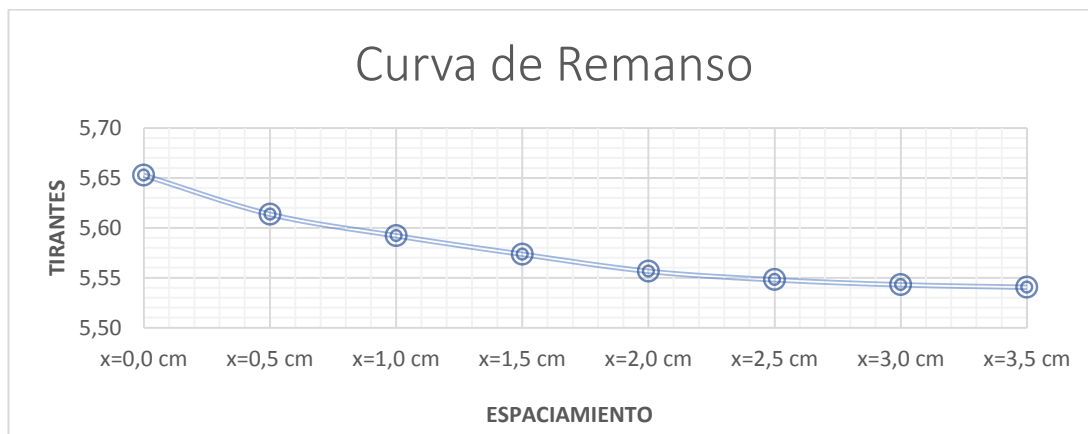
Nota. Elaboración propia

Tabla 65: Tirantes promedio a 1.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02

N°	Cauda l (m ³ /s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.65	5.61	5.59	5.57	5.56	5.55	5.54	5.54

Nota. Elaboración propia

Figura 41: Curva de remanso a 1.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02



Nota. Elaboración propia

Tabla 66: Tirantes a 1.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02

N°	Caudal (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.67	5.62	5.58	5.56	5.54	5.54	5.54	5.54
02	0.006	5.66	5.62	5.59	5.55	5.54	5.55	5.54	5.54
03	0.006	5.67	5.61	5.59	5.53	5.54	5.53	5.55	5.54
04	0.006	5.63	5.62	5.58	5.57	5.55	5.53	5.53	5.55
05	0.006	5.64	5.58	5.59	5.56	5.55	5.54	5.53	5.53
06	0.006	5.64	5.59	5.55	5.57	5.54	5.54	5.54	5.52
07	0.006	5.63	5.59	5.56	5.53	5.55	5.53	5.54	5.54
08	0.006	5.63	5.58	5.56	5.54	5.51	5.54	5.53	5.54
09	0.006	5.64	5.58	5.55	5.54	5.52	5.50	5.54	5.53
10	0.006	5.65	5.59	5.55	5.53	5.52	5.51	5.50	5.54
11	0.006	5.65	5.60	5.56	5.53	5.51	5.51	5.51	5.50
12	0.006	5.64	5.60	5.57	5.54	5.51	5.50	5.51	5.51
13	0.006	5.65	5.59	5.57	5.57	5.52	5.50	5.50	5.51
14	0.006	5.65	5.60	5.56	5.55	5.53	5.51	5.50	5.50
15	0.006	5.64	5.60	5.57	5.54	5.53	5.52	5.51	5.50
16	0.006	5.64	5.59	5.57	5.57	5.52	5.54	5.52	5.51
17	0.006	5.65	5.59	5.56	5.53	5.53	5.51	5.54	5.52
18	0.006	5.63	5.60	5.56	5.52	5.54	5.54	5.51	5.52
19	0.006	5.63	5.58	5.57	5.54	5.52	5.52	5.52	5.51
20	0.006	5.64	5.58	5.55	5.55	5.52	5.51	5.52	5.52

Nota. Elaboración propia

Tabla 67: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.5 cm al lado derecho del eje del pilar N° 02

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8707	0.8699	0.8935	0.9011	0.9011	0.8911	0.9035	0.9043
p-value	0.0121	0.0117	0.0312	0.0433	0.0433	0.0281	0.0480	0.0497
Alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Norma l	no	no	no	no	no	no	no	no

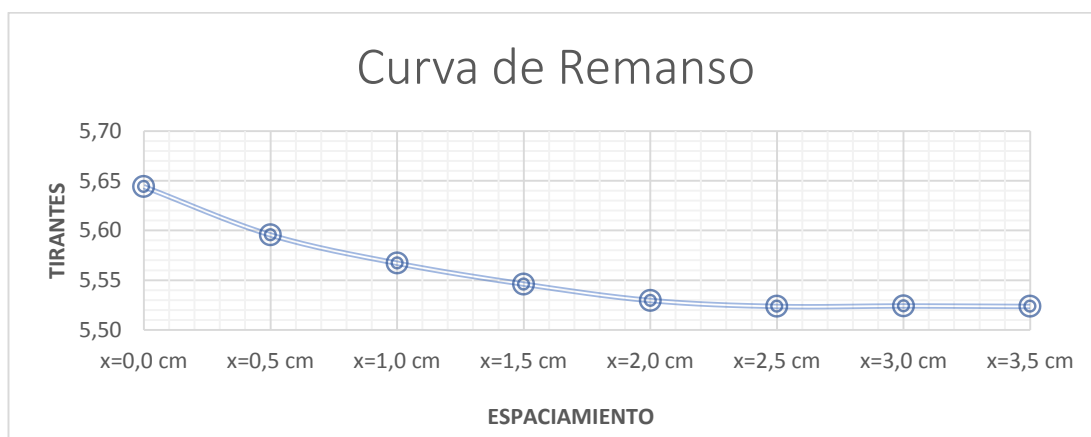
Nota. Elaboración propia

Tabla 68: Tirantes promedio a 1.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02

N o	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.64	5.60	5.57	5.55	5.53	5.52	5.52	5.52

Nota. Elaboración propia

Figura 42: Curva de remanso a 1.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02



Nota. Elaboración propia

Tabla 69: Tirantes a 2.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02

N o	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.66	5.60	5.57	5.56	5.56	5.54	5.52	5.54
02	0.006	5.66	5.61	5.57	5.56	5.55	5.54	5.53	5.54
03	0.006	5.65	5.61	5.58	5.57	5.55	5.55	5.53	5.53
04	0.006	5.66	5.60	5.58	5.57	5.55	5.54	5.55	5.53

05	0.006	5.62	5.61	5.57	5.57	5.56	5.54	5.53	5.54
06	0.006	5.63	5.57	5.58	5.56	5.56	5.55	5.53	5.52
07	0.006	5.63	5.58	5.54	5.57	5.55	5.55	5.54	5.52
08	0.006	5.62	5.58	5.55	5.53	5.56	5.54	5.54	5.53
09	0.006	5.62	5.57	5.55	5.54	5.52	5.55	5.53	5.53
10	0.006	5.63	5.57	5.54	5.54	5.53	5.51	5.54	5.52
11	0.006	5.64	5.58	5.54	5.53	5.53	5.52	5.50	5.53
12	0.006	5.64	5.59	5.55	5.53	5.52	5.52	5.51	5.49
13	0.006	5.63	5.59	5.57	5.54	5.52	5.51	5.53	5.50
14	0.006	5.64	5.58	5.56	5.55	5.53	5.51	5.50	5.50
15	0.006	5.64	5.59	5.57	5.55	5.54	5.52	5.50	5.49
16	0.006	5.63	5.59	5.56	5.54	5.54	5.53	5.53	5.53
17	0.006	5.63	5.58	5.56	5.55	5.53	5.53	5.52	5.50
18	0.006	5.64	5.58	5.57	5.55	5.54	5.52	5.52	5.51
19	0.006	5.62	5.59	5.57	5.54	5.54	5.53	5.53	5.53
20	0.006	5.62	5.57	5.56	5.54	5.53	5.53	5.52	5.50

Nota. Elaboración propia

Tabla 70: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.0 cm al lado derecho del eje del pilar N° 02

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8699	0.8935	0.8957	0.8945	0.9035	0.9043	0.9018	0.8748
p-value	0.0117	0.0312	0.0343	0.0325	0.0480	0.0496	0.0446	0.0143
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	no	no	no	no	no	no	no	no

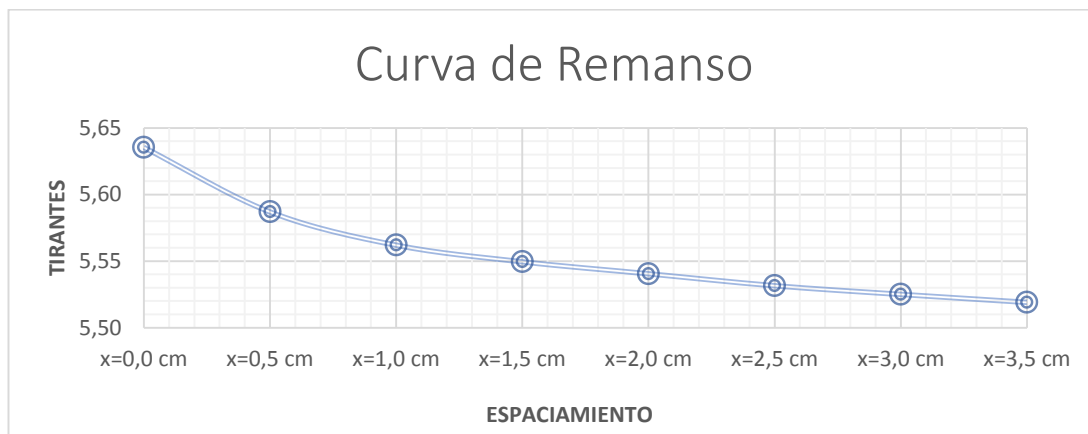
Nota. Elaboración propia

Tabla 71: Tirantes promedio a 2.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.64	5.59	5.56	5.55	5.54	5.53	5.53	5.52

Nota. Elaboración propia

Figura 43: Curva de remanso a 2.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02



Nota. Elaboración propia

Tabla 72: Tirantes a 2.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02

N°	Caudal (m ³ /s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.64	5.58	5.57	5.55	5.56	5.55	5.52	5.53
02	0.006	5.65	5.57	5.57	5.56	5.56	5.55	5.54	5.54
03	0.006	5.65	5.60	5.57	5.56	5.54	5.55	5.54	5.53
04	0.006	5.64	5.60	5.55	5.56	5.55	5.56	5.54	5.55
05	0.006	5.65	5.59	5.55	5.55	5.55	5.54	5.52	5.53
06	0.006	5.61	5.60	5.57	5.54	5.56	5.54	5.53	5.54
07	0.006	5.62	5.56	5.56	5.56	5.56	5.55	5.53	5.54
08	0.006	5.62	5.57	5.54	5.55	5.55	5.55	5.54	5.54
09	0.006	5.61	5.57	5.55	5.53	5.56	5.54	5.54	5.52
10	0.006	5.61	5.56	5.55	5.54	5.52	5.55	5.53	5.53
11	0.006	5.62	5.56	5.54	5.54	5.55	5.51	5.54	5.54
12	0.006	5.63	5.57	5.54	5.53	5.53	5.52	5.54	5.52
13	0.006	5.63	5.58	5.55	5.53	5.52	5.52	5.54	5.54
14	0.006	5.62	5.58	5.56	5.54	5.52	5.51	5.51	5.52
15	0.006	5.63	5.57	5.56	5.55	5.53	5.51	5.52	5.52
16	0.006	5.63	5.58	5.57	5.55	5.54	5.52	5.52	5.53
17	0.006	5.62	5.58	5.56	5.54	5.54	5.54	5.54	5.51
18	0.006	5.62	5.57	5.56	5.55	5.53	5.53	5.52	5.54
19	0.006	5.63	5.57	5.56	5.55	5.54	5.54	5.52	5.52
20	0.006	5.61	5.58	5.55	5.54	5.54	5.53	5.54	5.52

Nota. Elaboración propia

Tabla 73: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.5 cm al lado derecho del eje del pilar N° 02

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8935	0.8786	0.8810	0.8882	0.8961	0.8950	0.7787	0.9006
p-value	0.0312	0.0167	0.0184	0.0249	0.0349	0.0333	0.0004	0.0422
Alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Norma l	No	no	no	no	no	no	no	no

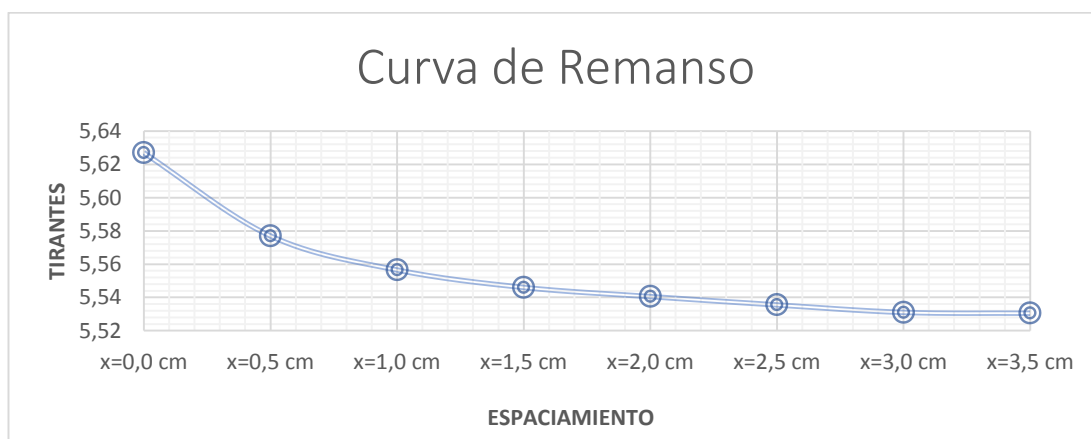
Nota. Elaboración propia

Tabla 74: Tirantes promedio a 2.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02

N o	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.63	5.58	5.56	5.55	5.54	5.54	5.53	5.53

Nota. Elaboración propia

Figura 44: Curva de remanso a 2.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02



Nota. Elaboración propia

Tabla 75: Tirantes a 3.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02

N o	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.64	5.59	5.56	5.55	5.55	5.56	5.54	5.55
02	0.006	5.64	5.59	5.56	5.55	5.56	5.54	5.53	5.54
03	0.006	5.65	5.59	5.57	5.55	5.55	5.55	5.52	5.55
04	0.006	5.64	5.58	5.55	5.56	5.54	5.55	5.54	5.55

05	0.006	5.64	5.58	5.58	5.56	5.55	5.56	5.54	5.54
06	0.006	5.65	5.59	5.58	5.54	5.55	5.54	5.52	5.54
07	0.006	5.63	5.58	5.57	5.55	5.56	5.54	5.53	5.55
08	0.006	5.62	5.56	5.54	5.56	5.56	5.55	5.54	5.53
09	0.006	5.62	5.57	5.54	5.55	5.55	5.55	5.53	5.53
10	0.006	5.63	5.57	5.55	5.53	5.56	5.54	5.52	5.54
11	0.006	5.62	5.56	5.55	5.54	5.52	5.55	5.53	5.54
12	0.006	5.62	5.56	5.54	5.54	5.53	5.51	5.54	5.53
13	0.006	5.63	5.57	5.54	5.53	5.53	5.52	5.54	5.54
14	0.006	5.63	5.58	5.55	5.53	5.52	5.52	5.53	5.50
15	0.006	5.62	5.58	5.56	5.54	5.52	5.51	5.52	5.51
16	0.006	5.64	5.57	5.56	5.55	5.53	5.51	5.54	5.51
17	0.006	5.63	5.58	5.55	5.55	5.53	5.52	5.52	5.50
18	0.006	5.62	5.58	5.56	5.54	5.54	5.55	5.54	5.50
19	0.006	5.64	5.57	5.56	5.55	5.53	5.53	5.53	5.51
20	0.006	5.63	5.57	5.55	5.55	5.54	5.52	5.52	5.52

Nota. Elaboración propia

Tabla 76: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 3.0 cm al lado derecho del eje del pilar N° 02

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8715	0.8882	0.9044	0.8757	0.8962	0.8882	0.7869	0.8681
p-value	0.0125	0.0249	0.0500	0.0148	0.0350	0.0250	0.0006	0.0109
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	No	no	no	no	no	no	no	no

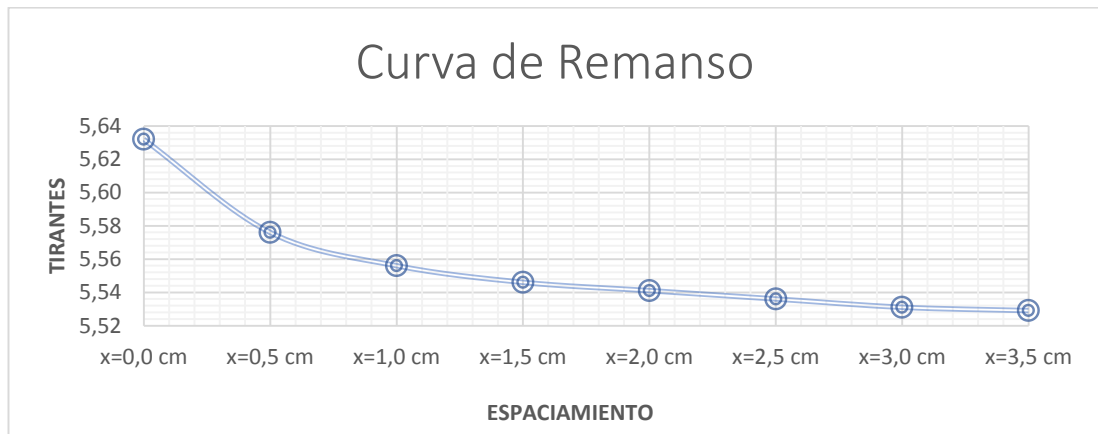
Nota. Elaboración propia

Tabla 77: Tirantes promedio a 3.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.63	5.58	5.56	5.55	5.54	5.54	5.53	5.53

Nota. Elaboración propia

Figura 45: Curva de remanso a 3.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 02



Nota. Elaboración propia

- **PARA EL PILAR N° 03**

Figura 46: Medición de tirantes pilar N° 03



Nota. Elaboración propia

Tabla 78: Tirantes al eje del pilar N° 03

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.95	6.72	6.51	6.34	6.19	6.08	6.00	5.96
02	0.006	6.91	6.68	6.47	6.30	6.15	6.04	6.00	5.96
03	0.006	6.94	6.71	6.50	6.33	6.18	6.07	5.99	5.95
04	0.006	6.92	6.69	6.48	6.31	6.16	6.05	5.98	5.97
05	0.006	6.93	6.70	6.49	6.32	6.17	6.06	5.99	5.96
06	0.006	6.94	6.71	6.50	6.33	6.18	6.07	6.00	5.96
07	0.006	6.93	6.70	6.49	6.32	6.17	6.06	6.00	5.96
08	0.006	6.92	6.69	6.48	6.31	6.16	6.05	5.98	5.97
09	0.006	6.91	6.68	6.47	6.30	6.15	6.04	6.00	5.96
10	0.006	6.95	6.72	6.51	6.34	6.19	6.08	6.00	5.96
11	0.006	6.95	6.72	6.50	6.34	6.19	6.08	6.00	5.96
12	0.006	6.93	6.70	6.49	6.32	6.17	6.07	5.99	5.98
13	0.006	6.94	6.71	6.50	6.33	6.18	6.07	6.01	5.96
14	0.006	6.91	6.68	6.47	6.30	6.15	6.04	6.00	5.96
15	0.006	6.92	6.69	6.48	6.31	6.19	6.05	5.98	5.97
16	0.006	6.94	6.71	6.50	6.33	6.18	6.07	6.01	5.96
17	0.006	6.95	6.72	6.51	6.34	6.19	6.08	5.99	5.96
18	0.006	6.95	6.70	6.49	6.32	6.17	6.06	6.00	5.95
19	0.006	6.91	6.72	6.47	6.30	6.19	6.04	6.00	5.96
20	0.006	6.92	6.69	6.48	6.31	6.16	6.05	5.99	5.97

Nota. Elaboración propia

Tabla 79: Prueba de normalidad Shapiro Wilk al eje del pilar N° 03

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8768	0.8933	0.9035	0.8959	0.8771	0.8875	0.8573	0.7902
p-value	0.0155	0.0310	0.0480	0.0345	0.0157	0.0242	0.0071	0.0006
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
norma l	no	no	no	no	no	no	no	no

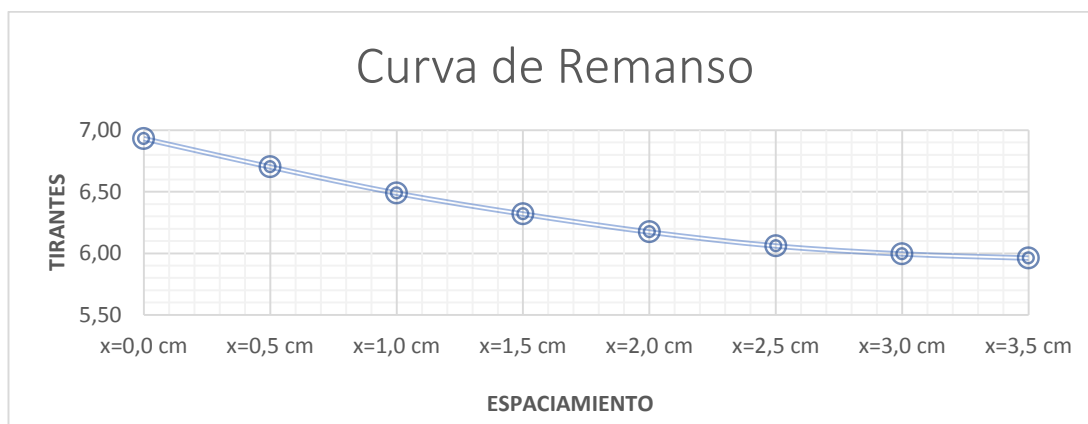
Nota. Elaboración propia

Tabla 80: Tirantes promedio al eje del pilar N° 03

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.93	6.70	6.49	6.32	6.17	6.06	6.00	5.96

Nota. Elaboración propia

Figura 47: Curva de remanso al eje del pilar N° 03



Nota. Elaboración propia

Tabla 81: Tirantes a 0.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03

N°	Caudal (m³/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.92	6.69	6.48	6.31	6.19	6.08	5.99	5.97
02	0.006	6.88	6.65	6.44	6.27	6.15	6.05	5.96	5.95
03	0.006	6.89	6.66	6.45	6.28	6.16	6.06	5.97	5.96
04	0.006	6.89	6.66	6.45	6.28	6.16	6.06	5.97	5.96
05	0.006	6.88	6.65	6.44	6.27	6.15	6.05	5.96	5.95
06	0.006	6.88	6.65	6.44	6.27	6.15	6.05	5.96	5.95
07	0.006	6.89	6.66	6.45	6.28	6.16	6.06	5.97	5.96
08	0.006	6.90	6.67	6.46	6.29	6.17	6.07	5.98	5.97
09	0.006	6.90	6.67	6.46	6.29	6.17	6.07	5.98	5.97
10	0.006	6.89	6.66	6.45	6.28	6.16	6.06	5.97	5.96
11	0.006	6.90	6.67	6.46	6.29	6.17	6.07	5.98	5.97
12	0.006	6.90	6.67	6.46	6.29	6.17	6.07	5.98	5.97
13	0.006	6.89	6.66	6.45	6.28	6.16	6.06	5.97	5.96
14	0.006	6.89	6.66	6.45	6.28	6.16	6.06	5.97	5.96
15	0.006	6.90	6.67	6.46	6.29	6.17	6.07	5.98	5.97
16	0.006	6.88	6.65	6.44	6.31	6.15	6.05	5.96	5.95
17	0.006	6.88	6.69	6.44	6.31	6.15	6.05	5.96	5.95
18	0.006	6.92	6.66	6.45	6.28	6.16	6.06	5.99	5.96
19	0.006	6.89	6.66	6.45	6.28	6.16	6.06	5.97	5.96
20	0.006	6.88	6.65	6.44	6.27	6.16	6.05	5.96	5.95

Nota. Elaboración propia

Tabla 82: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 0.5 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 03

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8352	0.8362	0.8363	0.8373	0.8350	0.8649	0.8708	0.8125
p-value	0.0030	0.0032	0.0032	0.0033	0.0030	0.0096	0.0121	0.0013
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
norma l	no	no	no	no	no	no	no	no

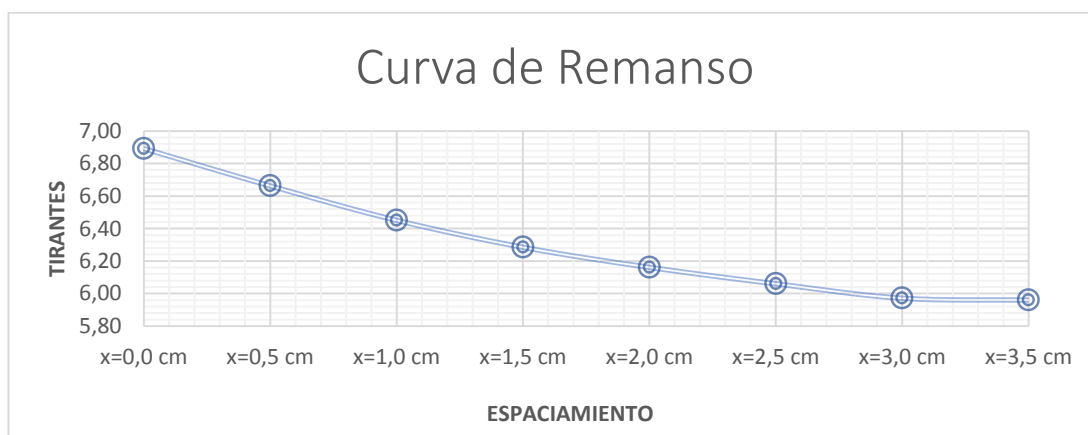
Nota. Elaboración propia

Tabla 83: Tirantes promedio a 0.5cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03

N º	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.89	6.66	6.45	6.29	6.16	6.06	5.97	5.96

Nota. Elaboración propia

Figura 48: Curva de remanso a 0.5cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03



Nota. Elaboración propia

Tabla 84: Tirantes a 1.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03

N º	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.87	6.64	6.43	6.25	6.14	6.05	5.98	5.97
02	0.006	6.87	6.62	6.43	6.25	6.14	6.05	5.98	5.97
03	0.006	6.88	6.63	6.44	6.26	6.15	6.06	5.99	5.95
04	0.006	6.86	6.62	6.42	6.24	6.13	6.04	5.97	5.96

05	0.006	6.89	6.63	6.42	6.24	6.15	6.04	5.97	5.96
06	0.006	6.87	6.64	6.43	6.24	6.14	6.05	5.98	5.97
07	0.006	6.86	6.63	6.42	6.24	6.13	6.04	5.97	5.96
08	0.006	6.88	6.65	6.44	6.26	6.15	6.06	5.99	5.98
09	0.006	6.86	6.63	6.42	6.24	6.13	6.04	5.97	5.96
10	0.006	6.87	6.64	6.43	6.25	6.14	6.05	5.98	5.97
11	0.006	6.88	6.65	6.44	6.26	6.15	6.06	5.99	5.98
12	0.006	6.86	6.63	6.42	6.24	6.13	6.04	5.97	5.96
13	0.006	6.87	6.64	6.43	6.25	6.14	6.05	5.98	5.97
14	0.006	6.87	6.64	6.43	6.24	6.14	6.05	5.98	5.97
15	0.006	6.86	6.63	6.42	6.24	6.15	6.04	5.97	5.96
16	0.006	6.86	6.63	6.42	6.24	6.13	6.04	5.98	5.96
17	0.006	6.87	6.62	6.43	6.25	6.14	6.05	5.98	5.97
18	0.006	6.86	6.62	6.42	6.26	6.13	6.04	5.96	5.96
19	0.006	6.86	6.63	5.42	6.24	6.13	6.03	5.97	5.95
20	0.006	6.86	6.63	6.42	6.24	6.13	6.04	5.97	5.96

Nota. Elaboración propia

Tabla 85: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.0 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 03

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8100	0.8772	0.2612	0.7342	0.7966	0.8583	0.8680	0.8752
p-value	0.0012	0.0158	0.0000	0.0001	0.0008	0.0074	0.0108	0.0145
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
norma l	no	no	no	no	no	no	no	no

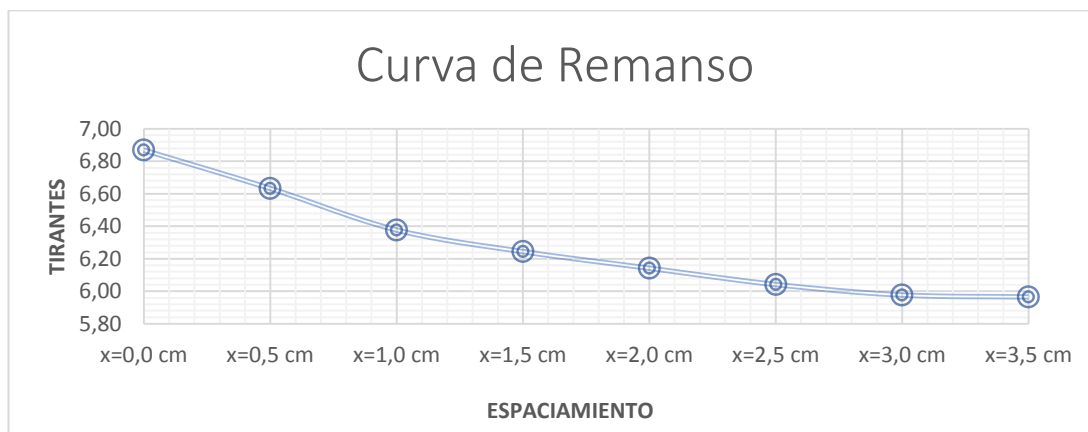
Nota. Elaboración propia

Tabla 86: Tirantes promedio a 1.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03

N °	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.87	6.63	6.38	6.24	6.14	6.04	5.98	5.96

Nota. Elaboración propia

Figura 49: Curva de remanso a 1.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03



Nota. Elaboración propia

Tabla 87: Tirantes a 1.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.86	6.64	6.43	6.26	6.16	6.05	5.99	5.96
02	0.006	6.86	6.64	6.43	6.26	6.16	6.05	5.99	5.96
03	0.006	6.85	6.63	6.42	6.25	6.15	6.05	5.98	5.94
04	0.006	6.85	6.63	6.42	6.25	6.15	6.05	5.98	5.96
05	0.006	6.83	6.64	6.40	6.23	6.13	6.03	5.96	5.94
06	0.006	6.84	6.64	6.40	6.23	6.13	6.03	5.96	5.94
07	0.006	6.84	6.64	6.40	6.24	6.13	6.02	5.96	5.93
08	0.006	6.84	6.62	6.41	6.24	6.14	6.04	5.97	5.95
09	0.006	6.83	6.64	6.40	6.23	6.13	6.03	5.96	5.94
10	0.006	6.83	6.64	6.40	6.23	6.13	6.03	5.96	5.94
11	0.006	6.84	6.62	6.41	6.24	6.14	6.04	5.97	5.95
12	0.006	6.84	6.62	6.41	6.24	6.14	6.04	5.97	5.95
13	0.006	6.84	6.62	6.43	6.24	6.16	6.04	5.97	5.95
14	0.006	6.83	6.64	6.40	6.23	6.13	6.03	5.96	5.94
15	0.006	6.85	6.63	6.42	6.25	6.15	6.05	5.98	5.96
16	0.006	6.85	6.63	6.42	6.25	6.15	6.05	5.98	5.96
17	0.006	6.83	6.64	6.43	6.23	6.13	6.03	5.96	5.94
18	0.006	6.84	6.62	6.41	6.24	6.14	6.04	5.97	5.95
19	0.006	6.85	6.63	6.42	6.25	6.15	6.05	5.98	5.96
20	0.006	6.83	6.64	6.40	6.23	6.13	6.03	5.96	5.94

Nota. Elaboración propia

Tabla 88: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.5 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 03

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8708	0.7532	0.8425	0.8576	0.8318	0.8415	0.8388	0.8444
p-value	0.0121	0.0002	0.0040	0.0072	0.0027	0.0039	0.0035	0.0043
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	no	no	no	no	no	no	no	no

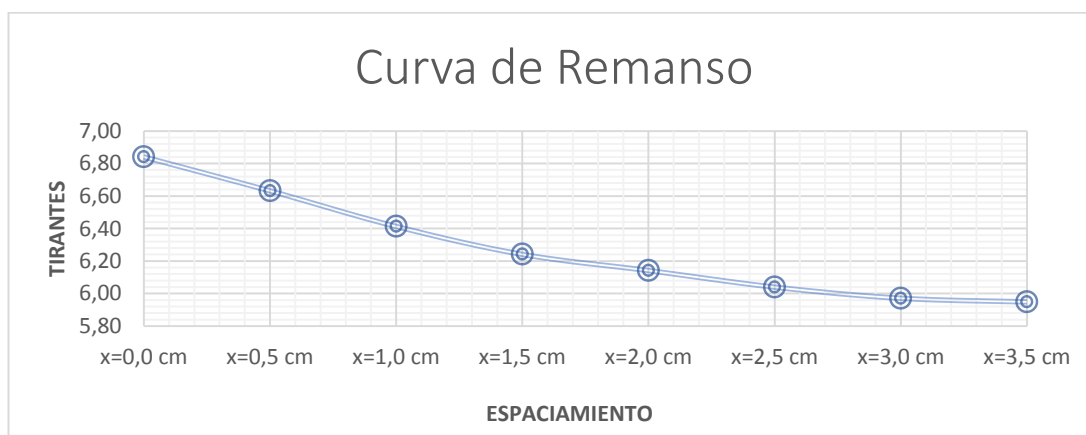
Nota. Elaboración propia

Tabla 89: Tirantes promedio a 1.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03

N °	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.84	6.63	6.41	6.24	6.14	6.04	5.97	5.95

Nota. Elaboración propia

Figura 50: Curva de remanso a 1.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03



Nota. Elaboración propia

Tabla 90: Tirantes a 2.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03

N °	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.83	6.62	6.42	6.25	6.16	6.06	5.98	5.95
02	0.006	6.82	6.61	6.41	6.24	6.14	6.05	5.97	5.94
03	0.006	6.83	6.62	6.42	6.25	6.14	6.06	5.98	5.95
04	0.006	6.83	6.62	6.42	6.25	6.14	6.06	5.98	5.95

05	0.006	6.82	6.61	6.41	6.24	6.14	6.05	5.97	5.94
06	0.006	6.82	6.61	6.41	6.24	6.16	6.05	5.97	5.94
07	0.006	6.81	6.60	6.40	6.23	6.15	6.04	5.96	5.93
08	0.006	6.82	6.61	6.41	6.24	6.16	6.05	5.97	5.94
09	0.006	6.83	6.62	6.42	6.25	6.14	6.06	5.98	5.95
10	0.006	6.81	6.60	6.40	6.23	6.15	6.04	5.96	5.93
11	0.006	6.82	6.61	6.42	6.25	6.14	6.05	5.97	5.93
12	0.006	6.82	6.62	6.41	6.24	6.14	6.05	5.97	5.94
13	0.006	6.82	6.61	6.41	6.24	6.15	6.05	5.97	5.94
14	0.006	6.83	6.62	6.42	6.25	6.15	6.06	5.98	5.95
15	0.006	6.83	6.62	6.42	6.25	6.14	6.06	5.96	5.95
16	0.006	6.83	6.62	6.42	6.25	6.14	6.06	5.98	5.95
17	0.006	6.82	6.61	6.41	6.24	6.16	6.05	5.97	5.94
18	0.006	6.81	6.60	6.43	6.23	6.15	6.04	5.96	5.93
19	0.006	6.83	6.62	6.40	6.23	6.15	6.04	5.96	5.93
20	0.006	6.82	6.61	6.41	6.24	6.14	6.05	5.97	5.94

Nota. Elaboración propia

Tabla 91: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.0 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 03

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.7954	0.7836	0.8680	0.7999	0.7622	0.8092	0.8159	0.8094
p-value	0.0007	0.0005	0.0108	0.0009	0.0002	0.0012	0.0015	0.0012
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	no	no	no	no	no	no	no	no

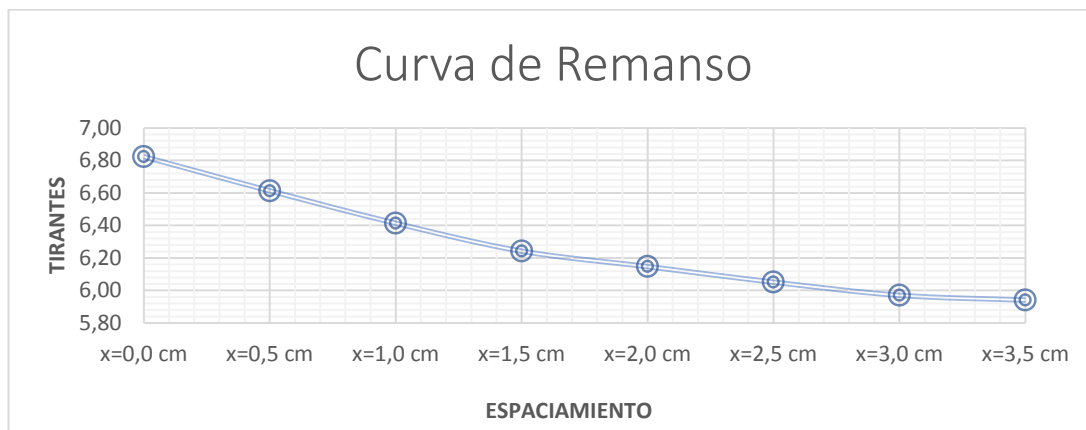
Nota. Elaboración propia

Tabla 92: Tirantes promedio a 2.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.82	6.61	6.41	6.24	6.15	6.05	5.97	5.94

Nota. Elaboración propia

Figura 51: Curva de remanso a 2.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03



Nota. Elaboración propia

Tabla 93: Tirantes a 2.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03

N°	Caudal (m³/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.79	6.60	6.40	6.23	6.13	6.04	5.98	5.97
02	0.006	6.79	6.61	6.41	6.23	6.13	6.04	5.98	5.97
03	0.006	6.79	6.60	6.40	6.23	6.13	6.04	5.98	5.97
04	0.006	6.80	6.61	6.41	6.24	6.14	6.05	5.99	5.98
05	0.006	6.81	6.62	6.42	6.25	6.15	6.06	6.00	5.99
06	0.006	6.80	6.61	6.41	6.24	6.14	6.05	5.99	5.98
07	0.006	6.81	6.62	6.42	6.25	6.15	6.06	6.00	5.99
08	0.006	6.79	6.60	6.40	6.23	6.13	6.04	5.98	5.97
09	0.006	6.79	6.60	6.40	6.23	6.13	6.04	5.98	5.97
10	0.006	6.80	6.61	6.41	6.24	6.14	6.05	5.99	5.99
11	0.006	6.79	6.60	6.40	6.23	6.13	6.04	5.97	5.97
12	0.006	6.79	6.60	6.41	6.23	6.13	6.04	5.98	5.97
13	0.006	6.81	6.62	6.42	6.25	6.15	6.05	6.00	5.99
14	0.006	6.80	6.61	6.41	6.22	6.14	6.05	5.99	5.98
15	0.006	6.79	6.60	6.40	6.23	6.13	6.04	5.98	5.97
16	0.006	6.79	6.60	6.40	6.23	6.13	6.04	5.98	5.97
17	0.006	6.80	6.61	6.41	6.24	6.15	6.05	5.99	5.98
18	0.006	6.79	6.60	6.40	6.23	6.13	6.04	5.98	5.99
19	0.006	6.81	6.61	6.41	6.24	6.14	6.05	5.99	5.98
20	0.006	6.79	6.60	6.40	6.23	6.13	6.04	5.98	5.97

Nota. Elaboración propia

Tabla 94: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.5 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 03

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.7342	0.7652	0.7836	0.8166	0.7342	0.7388	0.8412	0.7532
p-value	0.0001	0.0003	0.0005	0.0015	0.0001	0.0001	0.0038	0.0002
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	no	no	no	no	no	no	no	no

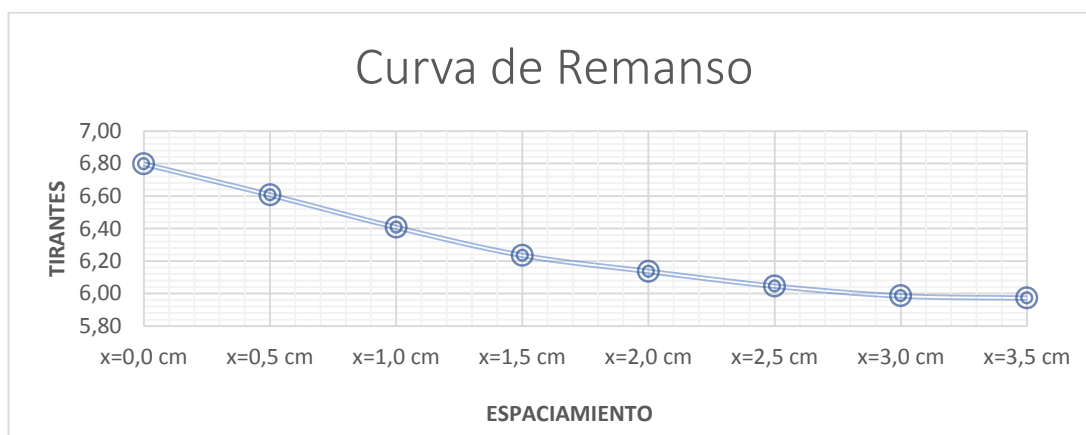
Nota. Elaboración propia

Tabla 95: Tirantes promedio a 2.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03

N°	Cauda l (m ³ /s)	Tirantes promedio (cm)						
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm
01	0.006	6.80	6.61	6.41	6.24	6.14	6.05	5.97

Nota. Elaboración propia

Figura 52: Curva de remanso a 2.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03



Nota. Elaboración propia

Tabla 96: Tirantes a 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03

N°	Cauda l (m ³ /s)	Tirantes (cm)						
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm
01	0.006	6.75	6.57	6.38	6.22	6.12	6.05	5.98
02	0.006	6.73	6.55	6.36	6.20	6.10	6.03	5.96
03	0.006	6.75	6.57	6.38	6.22	6.12	6.05	5.98
04	0.006	6.75	6.57	6.38	6.22	6.12	6.05	5.98

05	0.006	6.74	6.55	6.36	6.20	6.10	6.03	5.98	5.96
06	0.006	6.73	6.55	6.36	6.20	6.10	6.02	5.97	5.96
07	0.006	6.73	6.55	6.36	6.20	6.10	6.03	5.98	5.96
08	0.006	6.75	6.57	6.38	6.22	6.12	6.05	6.00	5.98
09	0.006	6.75	6.54	6.38	6.22	6.12	6.05	5.99	5.98
10	0.006	6.73	6.55	6.35	6.20	6.09	6.03	5.98	5.96
11	0.006	6.74	6.57	6.38	6.22	6.12	6.05	6.00	5.98
12	0.006	6.73	6.54	6.36	6.19	6.10	6.03	5.98	5.96
13	0.006	6.73	6.55	6.36	6.19	6.10	6.03	5.98	5.96
14	0.006	6.73	6.55	6.35	6.20	6.09	6.03	5.98	5.96
15	0.006	6.74	6.55	6.36	6.20	6.10	6.02	5.97	5.94
16	0.006	6.73	6.55	6.36	6.20	6.09	6.03	5.98	5.96
17	0.006	6.73	6.54	6.36	6.20	6.10	6.02	5.97	5.96
18	0.006	6.75	6.57	6.38	6.22	6.12	6.04	5.99	5.98
19	0.006	6.74	6.55	6.36	6.20	6.10	6.03	5.98	5.94
20	0.006	6.73	6.55	6.36	6.20	6.10	6.03	5.98	5.96

Nota. Elaboración propia

Tabla 97: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 3.0 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 03

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.7391	0.7589	0.7447	0.7447	0.7676	0.7945	0.8186	0.7795
p-value	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0003	0.0007	0.0017	0.0004
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	no	no	no	no	no	no	no	no

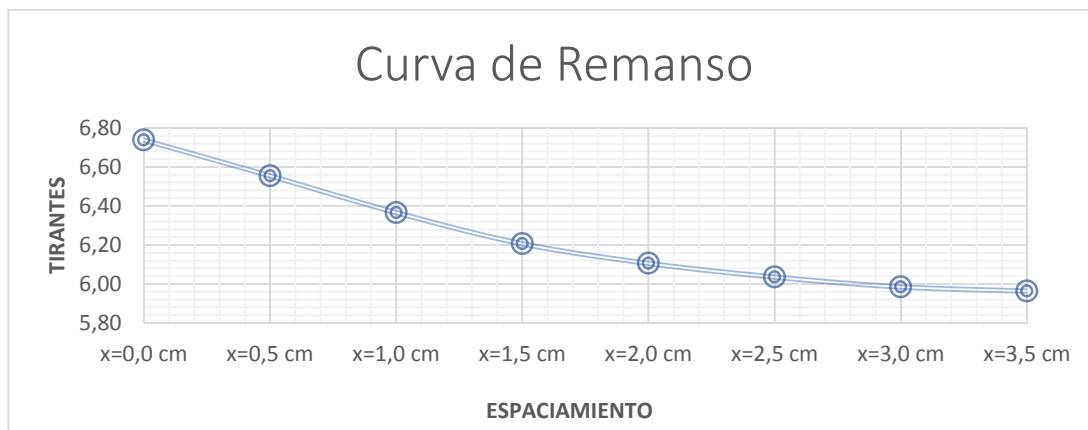
Nota. Elaboración propia

Tabla 98: Tirantes promedio a 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	6.74	6.55	6.37	6.21	6.11	6.04	5.98	5.96

Nota. Elaboración propia

Figura 53: Curva de remanso a 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03



Nota. Elaboración propia

Tabla 99: Tirantes a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.90	5.85	5.80	5.75	5.72	5.71	5.68	5.68
02	0.006	5.91	5.84	5.80	5.76	5.72	5.69	5.69	5.68
03	0.006	5.87	5.85	5.79	5.76	5.71	5.69	5.67	5.66
04	0.006	5.88	5.81	5.80	5.75	5.70	5.71	5.68	5.65
05	0.006	5.88	5.82	5.76	5.76	5.72	5.70	5.68	5.67
06	0.006	5.87	5.82	5.77	5.72	5.70	5.69	5.68	5.68
07	0.006	5.87	5.81	5.77	5.73	5.69	5.70	5.67	5.68
08	0.006	5.88	5.81	5.76	5.73	5.70	5.66	5.68	5.67
09	0.006	5.89	5.82	5.76	5.72	5.72	5.67	5.68	5.68
10	0.006	5.89	5.83	5.77	5.72	5.69	5.71	5.65	5.64
11	0.006	5.88	5.83	5.78	5.73	5.69	5.66	5.65	5.65
12	0.006	5.89	5.82	5.78	5.74	5.72	5.66	5.64	5.65
13	0.006	5.89	5.83	5.77	5.74	5.71	5.67	5.64	5.64
14	0.006	5.88	5.83	5.78	5.73	5.71	5.68	5.65	5.65
15	0.006	5.88	5.82	5.78	5.74	5.70	5.68	5.66	5.65
16	0.006	5.89	5.82	5.77	5.74	5.71	5.67	5.66	5.66
17	0.006	5.87	5.83	5.77	5.73	5.72	5.68	5.65	5.66
18	0.006	5.87	5.81	5.78	5.73	5.70	5.71	5.68	5.65
19	0.006	5.88	5.81	5.76	5.74	5.71	5.67	5.66	5.66
20	0.006	5.88	5.82	5.76	5.72	5.71	5.67	5.65	5.66

Nota. Elaboración propia

Tabla 100: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 0.5 cm al lado derecho del eje del pilar N° 03

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8736	0.8707	0.8699	0.8935	0.8685	0.8962	0.8867	0.8821
p-value	0.0136	0.0121	0.0117	0.0312	0.0110	0.0350	0.0234	0.0193
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
norma l	No	no	no	no	no	no	no	no

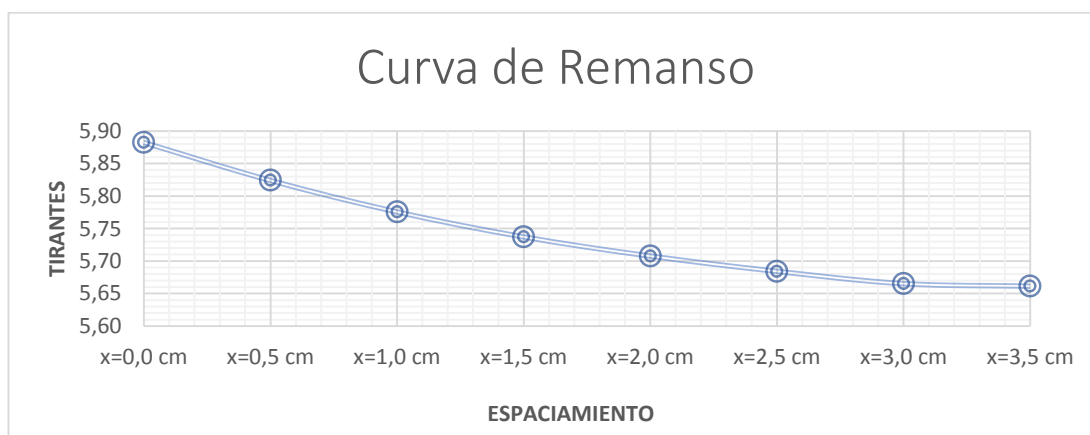
Nota. Elaboración propia

Tabla 101: Tirantes promedio a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03

N °	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.88	5.82	5.78	5.74	5.71	5.68	5.67	5.66

Nota. Elaboración propia

Figura 54: Curva de remanso a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03



Nota. Elaboración propia

Tabla 102: Tirantes a 1.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03

N °	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.90	5.83	5.77	5.73	5.72	5.71	5.69	5.69
02	0.006	5.89	5.83	5.78	5.73	5.71	5.72	5.69	5.68
03	0.006	5.90	5.82	5.78	5.74	5.71	5.70	5.70	5.68
04	0.006	5.86	5.83	5.77	5.74	5.72	5.67	5.68	5.69

05	0.006	5.87	5.79	5.78	5.73	5.68	5.67	5.68	5.67
06	0.006	5.87	5.80	5.74	5.74	5.71	5.71	5.69	5.67
07	0.006	5.86	5.80	5.75	5.70	5.72	5.70	5.69	5.68
08	0.006	5.86	5.79	5.75	5.71	5.68	5.71	5.68	5.68
09	0.006	5.87	5.79	5.74	5.71	5.69	5.67	5.69	5.67
10	0.006	5.88	5.80	5.74	5.70	5.69	5.68	5.65	5.68
11	0.006	5.88	5.81	5.75	5.70	5.68	5.68	5.66	5.64
12	0.006	5.87	5.81	5.76	5.71	5.68	5.67	5.66	5.65
13	0.006	5.88	5.80	5.76	5.72	5.69	5.67	5.65	5.65
14	0.006	5.88	5.81	5.75	5.72	5.70	5.68	5.65	5.64
15	0.006	5.87	5.81	5.76	5.71	5.70	5.70	5.69	5.64
16	0.006	5.87	5.80	5.76	5.73	5.71	5.69	5.69	5.65
17	0.006	5.88	5.80	5.75	5.72	5.72	5.68	5.67	5.68
18	0.006	5.86	5.81	5.75	5.74	5.70	5.70	5.66	5.66
19	0.006	5.86	5.79	5.76	5.71	5.71	5.69	5.67	5.65
20	0.006	5.87	5.79	5.74	5.72	5.69	5.68	5.67	5.66

Nota. Elaboración propia

Tabla 103: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.0 cm al lado derecho del eje del pilar N° 03

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8707	0.8699	0.8935	0.9035	0.8875	0.8973	0.8888	0.8966
p-value	0.0121	0.0117	0.0312	0.0480	0.0242	0.0367	0.0255	0.0356
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
norma l	no	no	no	no	no	no	no	no

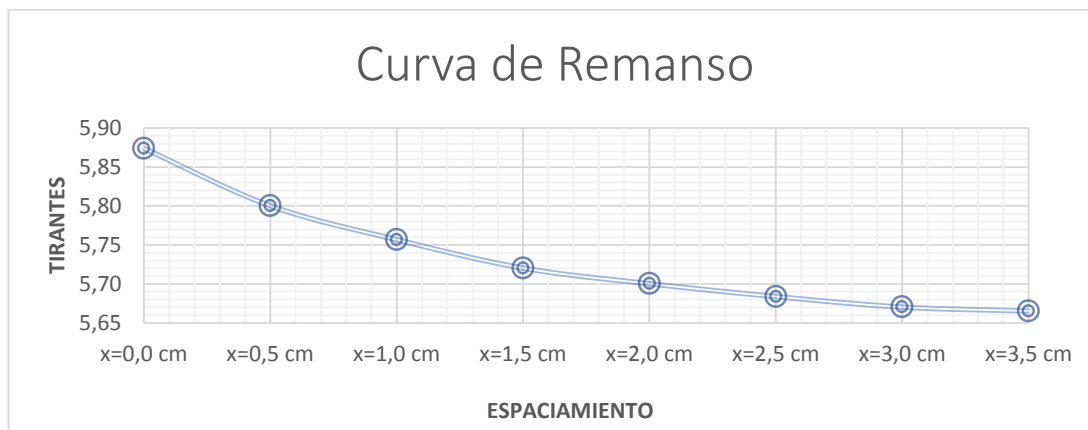
Nota. Elaboración propia

Tabla 104: Tirantes promedio a 1.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03

N o	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.87	5.80	5.76	5.72	5.70	5.68	5.67	5.67

Nota. Elaboración propia

Figura 55: Curva de remanso a 1.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03



Nota. Elaboración propia

Tabla 105: Tirantes a 1.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.89	5.80	5.75	5.72	5.71	5.68	5.68	5.68
02	0.006	5.89	5.81	5.75	5.72	5.72	5.68	5.67	5.68
03	0.006	5.88	5.81	5.76	5.72	5.70	5.70	5.67	5.67
04	0.006	5.89	5.80	5.76	5.73	5.70	5.68	5.68	5.67
05	0.006	5.85	5.81	5.75	5.73	5.71	5.68	5.66	5.68
06	0.006	5.86	5.77	5.76	5.72	5.71	5.69	5.66	5.66
07	0.006	5.86	5.78	5.72	5.73	5.70	5.69	5.67	5.66
08	0.006	5.85	5.78	5.73	5.69	5.71	5.68	5.67	5.67
09	0.006	5.85	5.77	5.73	5.70	5.67	5.69	5.66	5.67
10	0.006	5.86	5.77	5.72	5.70	5.68	5.65	5.67	5.66
11	0.006	5.87	5.78	5.72	5.69	5.68	5.66	5.63	5.67
12	0.006	5.87	5.79	5.73	5.69	5.67	5.66	5.64	5.63
13	0.006	5.86	5.79	5.75	5.70	5.67	5.65	5.68	5.64
14	0.006	5.87	5.78	5.74	5.71	5.68	5.65	5.63	5.64
15	0.006	5.87	5.79	5.73	5.71	5.72	5.68	5.63	5.63
16	0.006	5.86	5.79	5.75	5.70	5.69	5.69	5.64	5.63
17	0.006	5.86	5.78	5.74	5.73	5.68	5.69	5.65	5.64
18	0.006	5.87	5.78	5.75	5.71	5.72	5.68	5.68	5.65
19	0.006	5.85	5.79	5.73	5.70	5.69	5.67	5.64	5.65
20	0.006	5.85	5.77	5.74	5.70	5.68	5.67	5.65	5.64

Nota. Elaboración propia

Tabla 106: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 1.5 cm al lado derecho del eje del pilar N° 03

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8699	0.8935	0.9011	0.8915	0.9012	0.8912	0.8903	0.9000
p-value	0.0117	0.0312	0.0433	0.0286	0.0435	0.0283	0.0273	0.0413
Alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
norma l	no	no	no	no	no	no	no	no

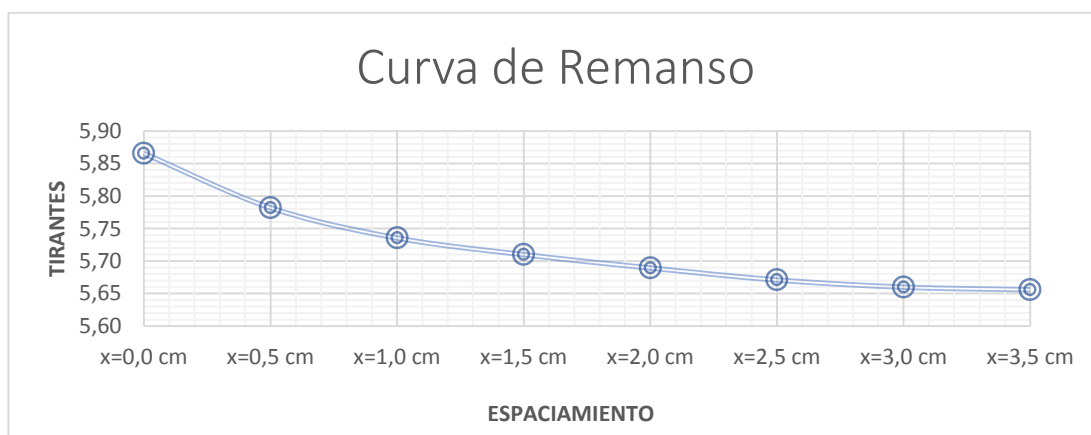
Nota. Elaboración propia

Tabla 107: Tirantes promedio a 1.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03

N °	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.87	5.78	5.74	5.71	5.69	5.67	5.66	5.66

Nota. Elaboración propia

Figura 56: Curva de remanso a 1.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03



Nota. Elaboración propia

Tabla 108: Tirantes a 2.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03

N °	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.87	5.78	5.75	5.70	5.69	5.67	5.67	5.66
02	0.006	5.88	5.78	5.73	5.71	5.69	5.67	5.67	5.67
03	0.006	5.88	5.79	5.73	5.69	5.67	5.67	5.66	5.67
04	0.006	5.87	5.79	5.74	5.69	5.68	5.68	5.66	5.66

05	0.006	5.88	5.78	5.74	5.70	5.68	5.66	5.67	5.66
06	0.006	5.84	5.79	5.73	5.70	5.69	5.66	5.65	5.67
07	0.006	5.85	5.75	5.74	5.69	5.69	5.67	5.65	5.65
08	0.006	5.85	5.76	5.70	5.70	5.68	5.67	5.66	5.65
09	0.006	5.84	5.76	5.71	5.66	5.69	5.66	5.66	5.66
10	0.006	5.84	5.75	5.71	5.67	5.65	5.67	5.65	5.66
11	0.006	5.85	5.75	5.70	5.67	5.66	5.63	5.66	5.65
12	0.006	5.86	5.76	5.70	5.66	5.66	5.64	5.62	5.66
13	0.006	5.86	5.77	5.71	5.70	5.65	5.64	5.63	5.62
14	0.006	5.85	5.77	5.75	5.70	5.69	5.63	5.63	5.63
15	0.006	5.86	5.79	5.72	5.68	5.66	5.63	5.62	5.63
16	0.006	5.86	5.77	5.71	5.70	5.67	5.64	5.62	5.62
17	0.006	5.85	5.77	5.72	5.69	5.67	5.65	5.63	5.62
18	0.006	5.85	5.79	5.75	5.68	5.69	5.65	5.64	5.63
19	0.006	5.86	5.76	5.71	5.71	5.67	5.64	5.64	5.64
20	0.006	5.84	5.77	5.71	5.67	5.67	5.65	5.63	5.64

Nota. Elaboración propia

Tabla 109: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.0 cm al lado derecho del eje del pilar N° 03

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8935	0.8954	0.8946	0.8957	0.8707	0.9035	0.9000	0.8910
p-value	0.0312	0.0339	0.0327	0.0343	0.0121	0.0480	0.0413	0.0281
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	no	no	no	no	no	no	no	no

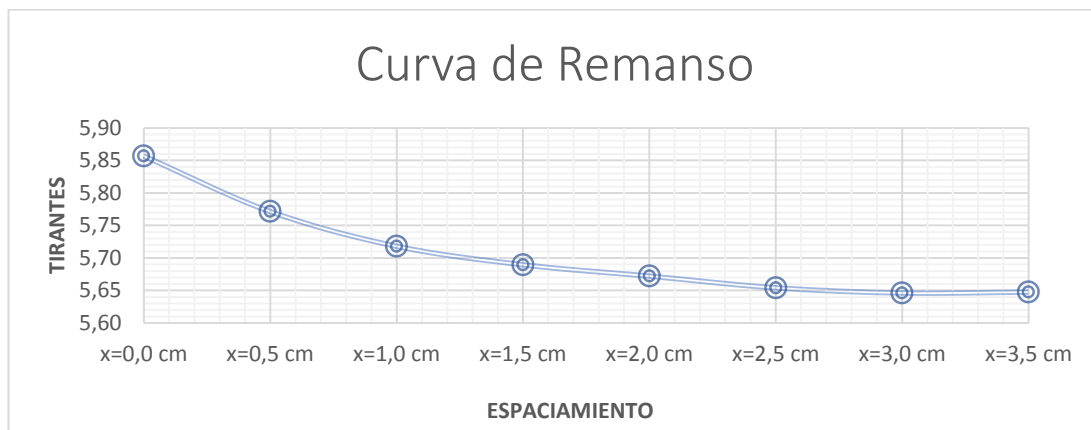
Nota. Elaboración propia

Tabla 110: Tirantes promedio a 2.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03

N°	Cauda l (m ³ /s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.86	5.77	5.72	5.69	5.67	5.65	5.65	5.65

Nota. Elaboración propia

Figura 57: Curva de remanso a 2.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03



Nota. Elaboración propia

Tabla 111: Tirantes a 2.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.86	5.80	5.75	5.71	5.68	5.68	5.66	5.67
02	0.006	5.86	5.78	5.74	5.71	5.69	5.68	5.67	5.66
03	0.006	5.87	5.78	5.73	5.72	5.69	5.67	5.67	5.67
04	0.006	5.87	5.79	5.74	5.70	5.70	5.67	5.66	5.67
05	0.006	5.86	5.79	5.75	5.70	5.68	5.68	5.66	5.66
06	0.006	5.87	5.78	5.75	5.71	5.68	5.66	5.67	5.66
07	0.006	5.83	5.79	5.74	5.71	5.69	5.66	5.65	5.67
08	0.006	5.84	5.77	5.75	5.70	5.69	5.67	5.65	5.65
09	0.006	5.84	5.76	5.71	5.71	5.68	5.67	5.66	5.65
10	0.006	5.83	5.76	5.72	5.67	5.69	5.66	5.66	5.66
11	0.006	5.83	5.77	5.72	5.68	5.65	5.67	5.65	5.66
12	0.006	5.84	5.76	5.71	5.68	5.66	5.63	5.66	5.65
13	0.006	5.85	5.80	5.71	5.71	5.66	5.64	5.62	5.66
14	0.006	5.85	5.77	5.72	5.67	5.68	5.64	5.63	5.62
15	0.006	5.84	5.77	5.73	5.68	5.65	5.63	5.63	5.63
16	0.006	5.86	5.76	5.73	5.71	5.68	5.63	5.62	5.63
17	0.006	5.85	5.77	5.72	5.69	5.67	5.64	5.62	5.62
18	0.006	5.87	5.77	5.73	5.71	5.68	5.65	5.63	5.62
19	0.006	5.84	5.78	5.75	5.69	5.69	5.65	5.64	5.63
20	0.006	5.85	5.76	5.72	5.69	5.67	5.64	5.64	5.64

Nota. Elaboración propia

Tabla 112: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 2.5 cm al lado derecho del eje del pilar N° 03

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.9035	0.8938	0.8885	0.8805	0.8893	0.9000	0.8910	0.8681
p-value	0.0480	0.0316	0.0252	0.0181	0.0261	0.0413	0.0281	0.0109
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
norma l	no	no	no	no	no	no	no	no

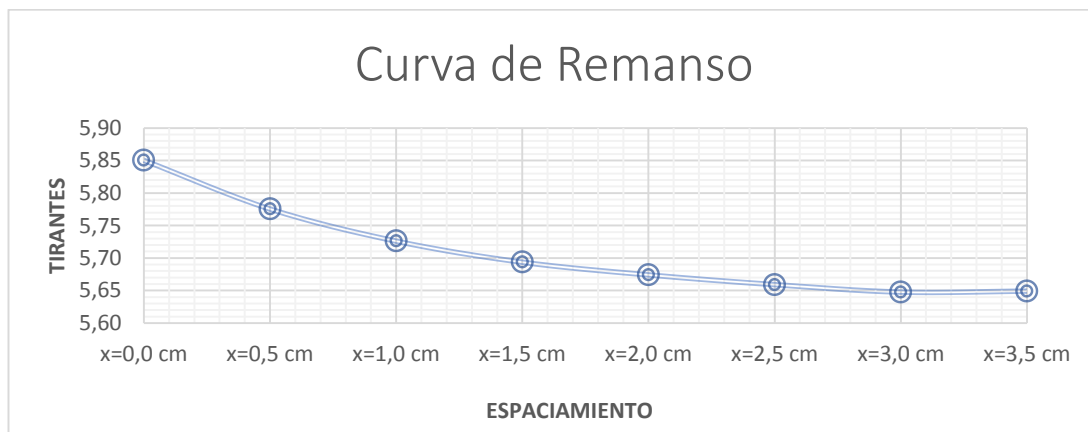
Nota. Elaboración propia

Tabla 113: Tirantes promedio a 2.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03

N °	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.85	5.78	5.73	5.69	5.67	5.66	5.65	5.65

Nota. Elaboración propia

Figura 58: Curva de remanso a 2.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03



Nota. Elaboración propia

Tabla 114: Tirantes a 3.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03

N °	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.86	5.79	5.74	5.72	5.70	5.67	5.67	5.67
02	0.006	5.85	5.80	5.74	5.71	5.70	5.68	5.66	5.67
03	0.006	5.85	5.78	5.71	5.71	5.69	5.68	5.67	5.66
04	0.006	5.86	5.78	5.73	5.72	5.69	5.67	5.67	5.67

05	0.006	5.86	5.79	5.73	5.70	5.70	5.67	5.66	5.67
06	0.006	5.85	5.79	5.74	5.70	5.68	5.68	5.66	5.66
07	0.006	5.86	5.78	5.74	5.71	5.68	5.66	5.67	5.66
08	0.006	5.82	5.79	5.73	5.71	5.69	5.66	5.65	5.67
09	0.006	5.83	5.75	5.74	5.70	5.69	5.67	5.65	5.65
10	0.006	5.83	5.76	5.70	5.71	5.68	5.67	5.66	5.65
11	0.006	5.82	5.76	5.71	5.67	5.69	5.66	5.66	5.66
12	0.006	5.82	5.75	5.71	5.68	5.65	5.67	5.65	5.66
13	0.006	5.83	5.75	5.74	5.68	5.66	5.63	5.66	5.65
14	0.006	5.84	5.79	5.70	5.67	5.66	5.64	5.62	5.66
15	0.006	5.84	5.77	5.71	5.67	5.65	5.64	5.63	5.62
16	0.006	5.83	5.77	5.72	5.68	5.65	5.63	5.63	5.63
17	0.006	5.84	5.76	5.72	5.71	5.66	5.63	5.62	5.63
18	0.006	5.84	5.79	5.71	5.71	5.67	5.64	5.62	5.62
19	0.006	5.83	5.77	5.72	5.68	5.67	5.65	5.63	5.62
20	0.006	5.83	5.76	5.72	5.69	5.66	5.65	5.64	5.63

Nota. Elaboración propia

Tabla 115: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 3.0 cm al lado derecho del eje del pilar N° 03

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.8945	0.9035	0.8793	0.8712	0.9000	0.8910	0.8681	0.8380
p-value	0.0325	0.0480	0.0172	0.0123	0.0413	0.0281	0.0109	0.0034
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	no	no	no	no	no	no	no	no

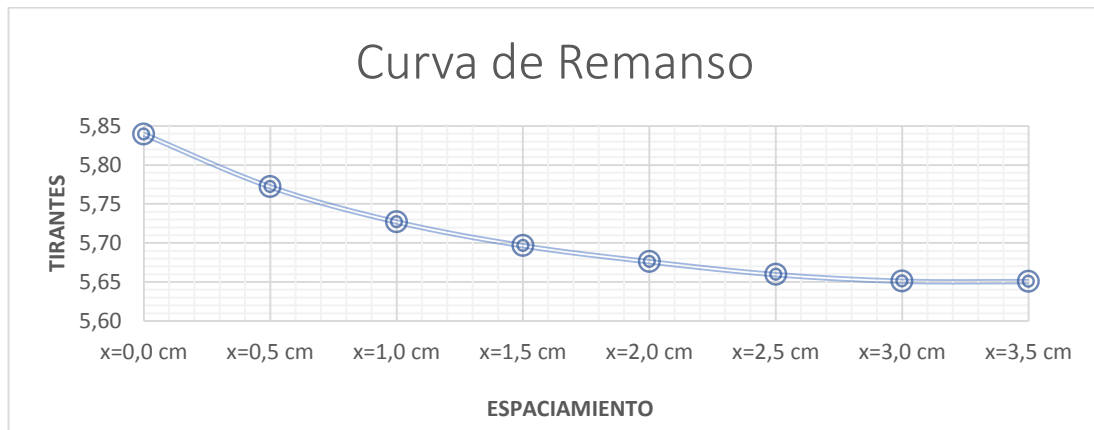
Nota. Elaboración propia

Tabla 116: Tirantes promedio a 3.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.84	5.77	5.73	5.70	5.68	5.66	5.65	5.65

Nota. Elaboración propia

Figura 59: Curva de remanso a 3.0 cm del lado derecho del eje del pilar N° 03



Nota. Elaboración propia

- **PARA EL PILAR N° 04**

Figura 60: Medición de tirantes pilar N° 04



Nota. Elaboración propia

Tabla 117: Tirantes al eje del pilar N° 04

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.69	5.68	5.69	5.69	5.69	5.68	5.69	5.68
02	0.006	5.67	5.69	5.69	5.69	5.69	5.68	5.69	5.68
03	0.006	5.69	5.68	5.69	5.69	5.69	5.68	5.69	5.68
04	0.006	5.68	5.68	5.69	5.69	5.69	5.69	5.68	5.68
05	0.006	5.69	5.69	5.69	5.69	5.68	5.68	5.68	5.68
06	0.006	5.68	5.68	5.69	5.69	5.68	5.69	5.69	5.69
07	0.006	5.68	5.68	5.68	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69
08	0.006	5.69	5.69	5.68	5.69	5.69	5.69	5.69	5.68
09	0.006	5.68	5.68	5.69	5.68	5.69	5.69	5.69	5.68
10	0.006	5.69	5.69	5.69	5.69	5.68	5.69	5.69	5.68
11	0.006	5.69	5.68	5.68	5.70	5.69	5.70	5.69	5.68
12	0.006	5.67	5.69	5.69	5.68	5.69	5.68	5.68	5.68
13	0.006	5.69	5.68	5.68	5.69	5.68	5.68	5.68	5.69
14	0.006	5.68	5.69	5.68	5.68	5.69	5.69	5.68	5.68
15	0.006	5.69	5.68	5.68	5.69	5.68	5.69	5.68	5.68
16	0.006	5.68	5.69	5.69	5.68	5.68	5.69	5.69	5.67
17	0.006	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69	5.68	5.69	5.68
18	0.006	5.67	5.68	5.69	5.68	5.68	5.68	5.69	5.68
19	0.006	5.68	5.68	5.69	5.69	5.68	5.69	5.69	5.69
20	0.006	5.69	5.68	5.69	5.69	5.68	5.69	5.69	5.68

Nota. Elaboración propia

Tabla 118: Prueba de normalidad Shapiro Wilk al eje del pilar N° 04

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.7652	0.6265	0.5804	0.6950	0.6375	0.7439	0.5804	0.6596
p-value	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000
Alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Norma l	no	no	no	no	no	no	no	no

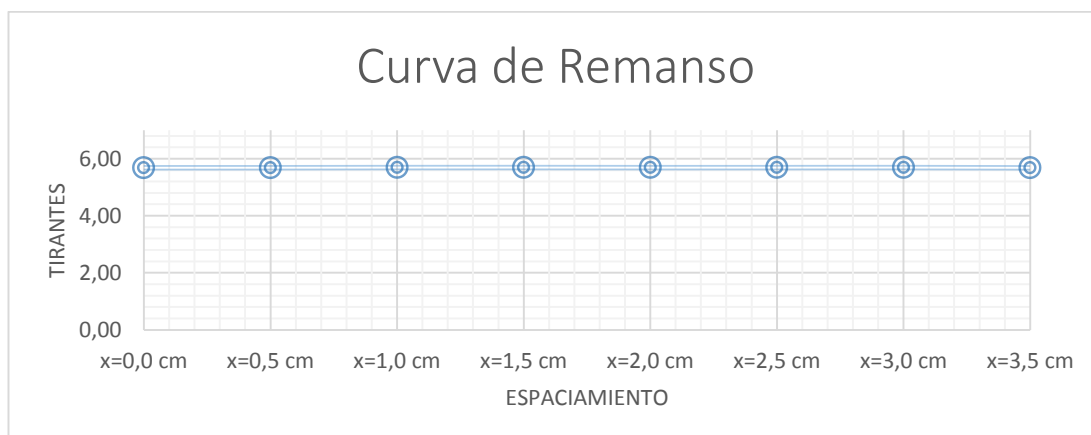
Nota. Elaboración propia

Tabla 119: Tirantes promedio al eje del pilar N° 04

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.68	5.68	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69	5.68

Nota. Elaboración propia

Figura 61: Curva de remanso al eje del pilar N° 04



Nota. Elaboración propia

Tabla 120: Tirantes a 0.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 04

N. º	Cauda l (m ³ /s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.69	5.66	5.64	5.61	5.59	5.55	5.53	5.49
02	0.006	5.68	5.66	5.64	5.61	5.57	5.55	5.51	5.49
03	0.006	5.67	5.66	5.65	5.62	5.59	5.55	5.53	5.49
04	0.006	5.69	5.66	5.64	5.61	5.59	5.57	5.52	5.50
05	0.006	5.69	5.65	5.62	5.62	5.58	5.55	5.52	5.49
06	0.006	5.68	5.66	5.64	5.61	5.58	5.56	5.51	5.50
07	0.006	5.68	5.66	5.63	5.62	5.59	5.56	5.53	5.48
08	0.006	5.67	5.67	5.62	5.61	5.57	5.57	5.53	5.49
09	0.006	5.69	5.65	5.64	5.61	5.59	5.56	5.53	5.49
10	0.006	5.69	5.66	5.64	5.60	5.58	5.56	5.53	5.49
11	0.006	5.67	5.66	5.63	5.61	5.59	5.56	5.53	5.49
12	0.006	5.69	5.67	5.64	5.60	5.59	5.55	5.51	5.49
13	0.006	5.67	5.66	5.63	5.61	5.58	5.55	5.52	5.50
14	0.006	5.68	5.67	5.62	5.62	5.59	5.56	5.52	5.48
15	0.006	5.69	5.65	5.63	5.61	5.57	5.57	5.52	5.49
16	0.006	5.67	5.67	5.64	5.62	5.58	5.56	5.53	5.49
17	0.006	5.69	5.67	5.64	5.61	5.59	5.55	5.51	5.48
18	0.006	5.67	5.66	5.62	5.62	5.57	5.57	5.53	5.49
19	0.006	5.68	5.65	5.64	5.61	5.58	5.56	5.52	5.49
20	0.006	5.69	5.66	5.64	5.61	5.58	5.56	5.53	5.49

Nota. Elaboración propia

Tabla 121: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 0.5 cm al lado izquierdo del eje del pilar N° 04

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.7656	0.8066	0.8038	0.7712	0.7842	0.8092	0.7622	0.7361
p-value	0.0003	0.0011	0.0010	0.0003	0.0005	0.0012	0.0002	0.0001
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
norma l	no	no	no	no	no	no	no	no

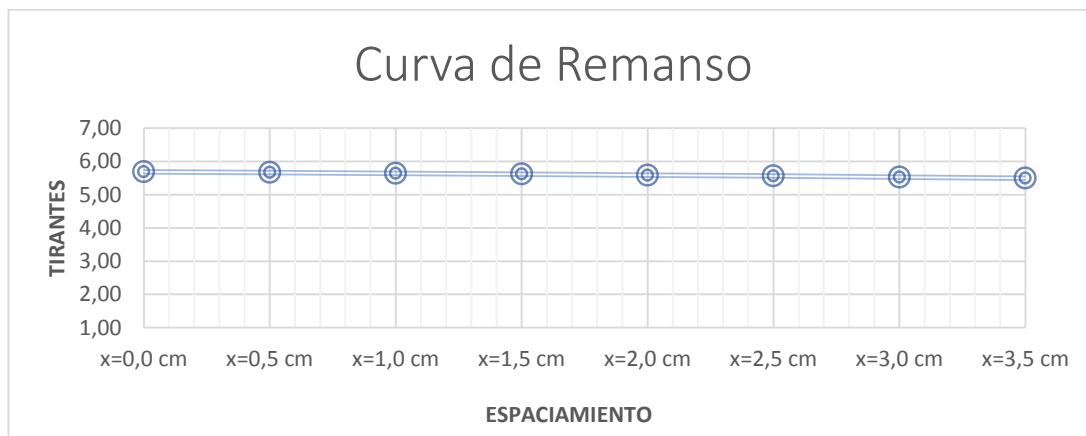
Nota. Elaboración propia

Tabla 122: Tirantes promedio a 0.5cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 04

N º	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.68	5.66	5.63	5.61	5.58	5.56	5.52	5.49

Nota. Elaboración propia

Figura 62: Curva de remanso a 0.5cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 04



Nota. Elaboración propia

Tabla 123: Tirantes a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 04

N °	Cauda l (m3/s)	Tirantes (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.66	5.63	5.60	5.58	5.55	5.51	5.49	5.46
02	0.006	5.65	5.62	5.59	5.57	5.55	5.51	5.49	5.45
03	0.006	5.66	5.63	5.60	5.56	5.55	5.51	5.49	5.46
04	0.006	5.64	5.63	5.61	5.58	5.55	5.53	5.48	5.46

05	0.006	5.66	5.63	5.59	5.57	5.54	5.51	5.50	5.45
06	0.006	5.65	5.62	5.61	5.56	5.54	5.53	5.49	5.47
07	0.006	5.64	5.63	5.60	5.58	5.55	5.52	5.49	5.47
08	0.006	5.65	5.64	5.59	5.56	5.55	5.52	5.49	5.46
09	0.006	5.66	5.62	5.61	5.58	5.53	5.52	5.49	5.46
10	0.006	5.64	5.63	5.59	5.58	5.54	5.52	5.47	5.45
11	0.006	5.66	5.63	5.60	5.58	5.55	5.52	5.49	5.46
12	0.006	5.66	5.62	5.61	5.57	5.55	5.51	5.48	5.46
13	0.006	5.64	5.63	5.59	5.56	5.54	5.51	5.48	5.47
14	0.006	5.65	5.64	5.60	5.57	5.55	5.52	5.48	5.46
15	0.006	5.66	5.63	5.59	5.58	5.54	5.53	5.48	5.46
16	0.006	5.66	5.64	5.61	5.58	5.53	5.52	5.49	5.45
17	0.006	5.64	5.64	5.60	5.58	5.55	5.51	5.49	5.46
18	0.006	5.66	5.62	5.59	5.57	5.54	5.53	5.50	5.46
19	0.006	5.64	5.62	5.60	5.56	5.54	5.52	5.47	5.45
20	0.006	5.66	5.63	5.61	5.58	5.54	5.52	5.49	5.46

Nota. Elaboración propia

Tabla 124: Prueba de normalidad Shapiro Wilk a 0.5 cm al lado derecho del eje del pilar N° 04

	x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
W-stat	0.7391	0.8117	0.8027	0.7532	0.7597	0.8092	0.8432	0.7876
p-value	0.0001	0.0013	0.0009	0.0002	0.0002	0.0012	0.0041	0.0006
Alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Norma l	no	no	no	no	no	no	no	no

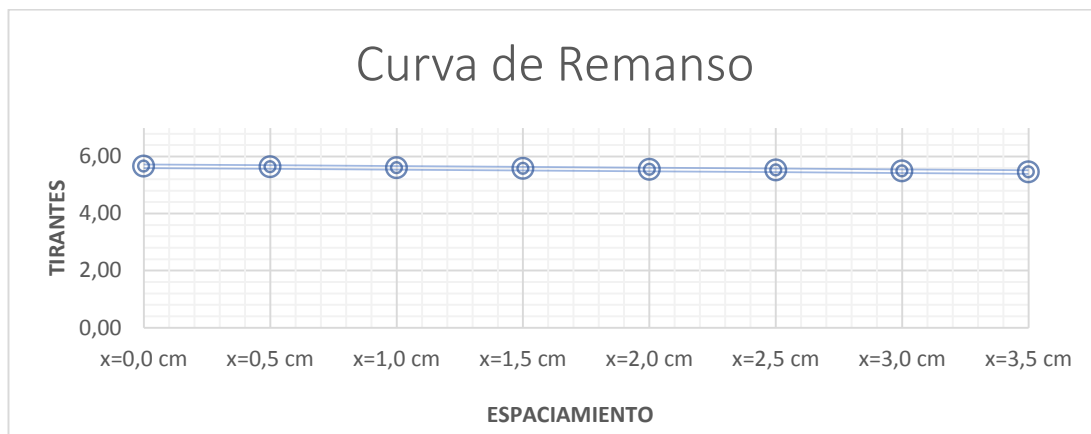
Nota. Elaboración propia

Tabla 125: Tirantes promedio a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 04

N°	Cauda l (m3/s)	Tirantes promedio (cm)							
		x=0.0 cm	x=0.5 cm	x=1.0 cm	x=1.5 cm	x=2.0 cm	x=2.5 cm	x=3.0 cm	x=3.5 cm
01	0.006	5.65	5.63	5.60	5.57	5.54	5.52	5.49	5.46

Nota. Elaboración propia

Figura 63: Curva de remanso a 0.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 04



Nota. Elaboración propia

4.5.2. Resumen de Tirantes

Tenemos el resumen de los tirantes hidráulicos calculados por pilares.

Tabla 126: Tirantes hidráulicos del pilar N° 01

Distancia	Tirantes promedio (cm) pilar N° 01							
	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje								
3.00 cm	6.77	6.58	6.40	6.23	6.11	6.04	5.98	5.95
2.50 cm	6.83	6.64	6.44	6.26	6.12	6.05	5.98	5.96
2.00 cm	6.85	6.64	6.44	6.27	6.13	6.03	5.97	5.96
1.50 cm	6.87	6.65	6.44	6.27	6.12	6.03	5.97	5.95
1.00 cm	6.90	6.67	6.46	6.29	6.14	6.06	5.99	5.95
0.50 cm	6.92	6.69	6.48	6.31	6.16	6.09	6.03	5.99
Eje								
0.00 cm	6.94	6.53	6.27	6.08	5.90	5.76	5.61	5.55
Lado derecho del eje								
0.50 cm	5.71	5.67	5.63	5.60	5.58	5.57	5.56	5.56
1.00 cm	5.70	5.65	5.62	5.60	5.59	5.58	5.58	5.58
1.50 cm	5.69	5.64	5.61	5.59	5.58	5.57	5.56	5.56
2.00 cm	5.68	5.63	5.60	5.58	5.56	5.55	5.54	5.53
2.50 cm	5.67	5.61	5.58	5.56	5.54	5.53	5.52	5.52
3.00 cm	5.66	5.61	5.58	5.56	5.54	5.53	5.52	5.52

Nota. Elaboración propia

Tabla 127: Tirantes hidráulicos del pilar N° 02

Distancia	Tirantes promedio (cm) pilar N° 02							
	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje								
3.00 cm	6.75	6.58	6.39	6.23	6.10	6.04	6.01	5.99
2.50 cm	6.82	6.63	6.43	6.26	6.16	6.06	6.00	5.96
2.00 cm	6.84	6.63	6.43	6.26	6.15	6.06	5.99	5.96
1.50 cm	6.86	6.64	6.43	6.26	6.15	6.05	5.98	5.95
1.00 cm	6.89	6.66	6.45	6.28	6.16	6.07	6.00	5.95
0.50 cm	6.91	6.68	6.47	6.30	6.15	6.07	5.99	5.96
Eje								
0.00 cm	6.95	6.72	6.51	6.34	6.19	6.11	6.05	6.02
Lado derecho del eje								
0.50 cm	5.66	5.62	5.60	5.58	5.57	5.56	5.55	5.54
1.00 cm	5.65	5.61	5.59	5.57	5.56	5.55	5.54	5.54
1.50 cm	5.64	5.60	5.57	5.55	5.53	5.52	5.52	5.52
2.00 cm	5.64	5.59	5.56	5.55	5.54	5.53	5.53	5.52
2.50 cm	5.63	5.58	5.56	5.55	5.54	5.54	5.53	5.53
3.00 cm	5.63	5.58	5.56	5.55	5.54	5.54	5.53	5.53

Nota. Elaboración propia

Tabla 128: Tirantes hidráulicos del pilar N° 03

Distancia	Tirantes promedio (cm) pilar N° 03							
	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje								
3.00 cm	6.74	6.55	6.37	6.21	6.11	6.04	5.98	5.96
2.50 cm	6.80	6.61	6.41	6.24	6.14	6.05	5.99	5.97
2.00 cm	6.82	6.61	6.41	6.24	6.15	6.05	5.97	5.94
1.50 cm	6.84	6.63	6.41	6.24	6.14	6.04	5.97	5.95
1.00 cm	6.87	6.63	6.38	6.24	6.14	6.04	5.98	5.96
0.50 cm	6.89	6.66	6.45	6.29	6.16	6.06	5.97	5.96
Eje								
0.00 cm	6.93	6.70	6.49	6.32	6.17	6.06	6.00	5.96
Lado derecho del eje								
0.50 cm	5.88	5.82	5.78	5.74	5.71	5.68	5.67	5.66
1.00 cm	5.87	5.80	5.76	5.72	5.70	5.68	5.67	5.67
1.50 cm	5.87	5.78	5.74	5.71	5.69	5.67	5.66	5.66
2.00 cm	5.86	5.77	5.72	5.69	5.67	5.65	5.65	5.65
2.50 cm	5.85	5.78	5.73	5.69	5.67	5.66	5.65	5.65
3.00 cm	5.84	5.77	5.73	5.70	5.68	5.66	5.65	5.65

Nota. Elaboración propia

Tabla 129: Tirantes hidráulicos del pilar N° 04

Distancia	Tirantes promedio (cm) pilar N° 04							
	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje								
0.50 cm	5.68	5.66	5.63	5.61	5.58	5.56	5.52	5.49
Eje								
0.00 cm	5.68	5.68	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69	5.68
Lado derecho del eje								
0.50 cm	5.65	5.63	5.60	5.57	5.54	5.52	5.49	5.46

Nota. Elaboración propia

4.6. Calibración del Modelo Numérico en OpenFoam

Actualmente existen demasiados programas que permiten ejecutar y aplicar la dinámica computacional de fluidos (CFD), uno de ellos es el OpenFoam, que permite crear solucionadores numéricos personalizados que facilita la simulación de problema de CFD. Fuera de ello el programa brinda una herramienta para el posterior procesamiento llamado Paraview.

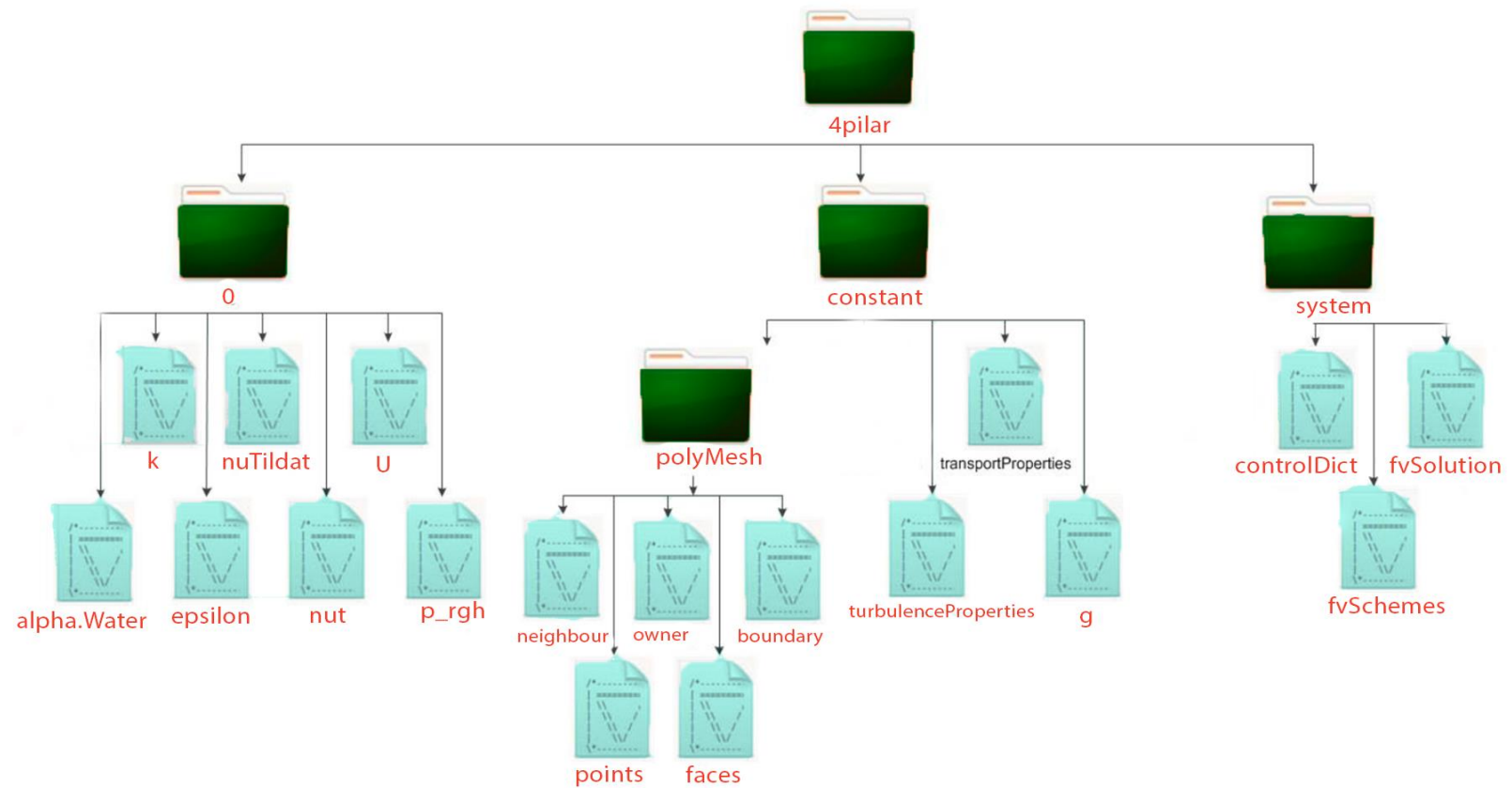
En este trabajo de investigación se va utilizar el modelo de turbulencia tipo RAS (Reynolds Averaged Simulation), método que se basa en las ecuaciones de Navier – Stokes promediadas en el tiempo o en conjunto.

4.6.1. Pre – Procesamiento

Los archivos y directorios fueron adaptados en base a el conjunto de bibliotecas del software de dinámica computacional de fluidos, OpenFoam (software que utiliza un lenguaje de programación orientada a objetos de c++), en este paso vamos a poder generar la geometría , la malla, fijar las condiciones iniciales y de frontera, las propiedades del modelo físico del puente Tablachaca y del río Ichu; y así formalizar el control del sistema para la correcta ejecución y simulación de cada uno de los testeos ejecutados en el modelo físico.

Para obtener un buen Pre – procesamiento se ha tenido que trabajar de manera sistematizada y ordenada todos los directorios, subdirectorios y archivos utilizados en cada testeo, esta estructura no es de carácter particular para los testeos.

Figura 64: Estructura sistematizada de los testeos en OpenFoam (Flujo de Superficie Libre)



Nota. Elaboración propia

4.6.1.1. Creación de la Geometría y Malla

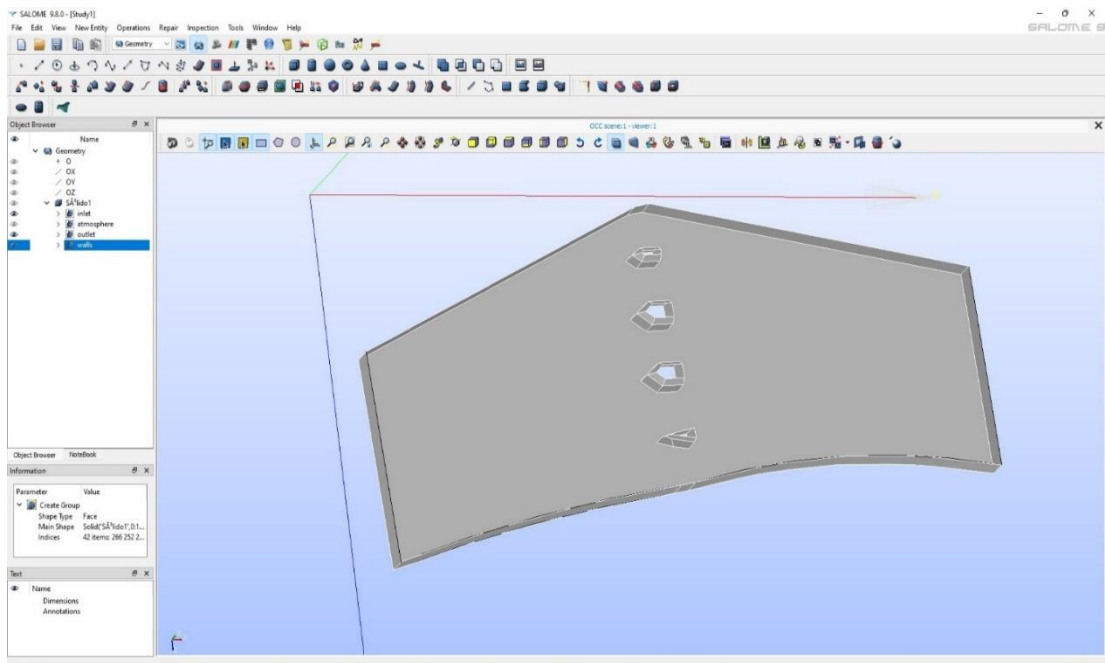
La dinámica computacional de fluidos se caracteriza porque el software OpenFoam, software de código abierto, le brinda mucha importancia a la generación de una geometría bien estructura y una malla de buena calidad; ya que todo el procedimiento sistematizado y la obtención de resultados depende directamente de la calidad de la malla. Para este trabajo de investigación se realizó el mallado con diferentes números de malla (0.03, 0.02 y 0.01); estas diversidades de mallas fueron realizadas y refinadas con el paquete computacional Salome -Meca, también este paquete computacional, fue de ayuda para realizar la configuración del modelo con sus respectivas condiciones iniciales, ya que es de gran ayuda para la simulación numérica.

El paquete computacional permite delimitar las condiciones de frontera, las cuales son conformadas por todas las caras o superficies que forman el mallado computacional. Una adecuada descripción coherente de las condiciones de frontera permite acotar los valores numéricos y caracteriza resultados válidos.

- Inlet: Es la cara que se determina como la entrada del campo de velocidades, donde la condición de frontera de la presión es definida como cero.
- Outlet: Es la cara determinada como la condición de salida, donde se debe de comprobar la estabilidad de modelo para un flujo permanente (caudal de entrada igual al caudal de salida).
- Walls: En esta cara se establece la condición de pared sólida, antideslizante e impermeable (los pilares, los muros de contención y el nivel del terreno).
- Atmosphere: Esta capa está establecida como la atmosfera que interactúa con los fluidos Newtonianos, con una presión atmosférica de cero.

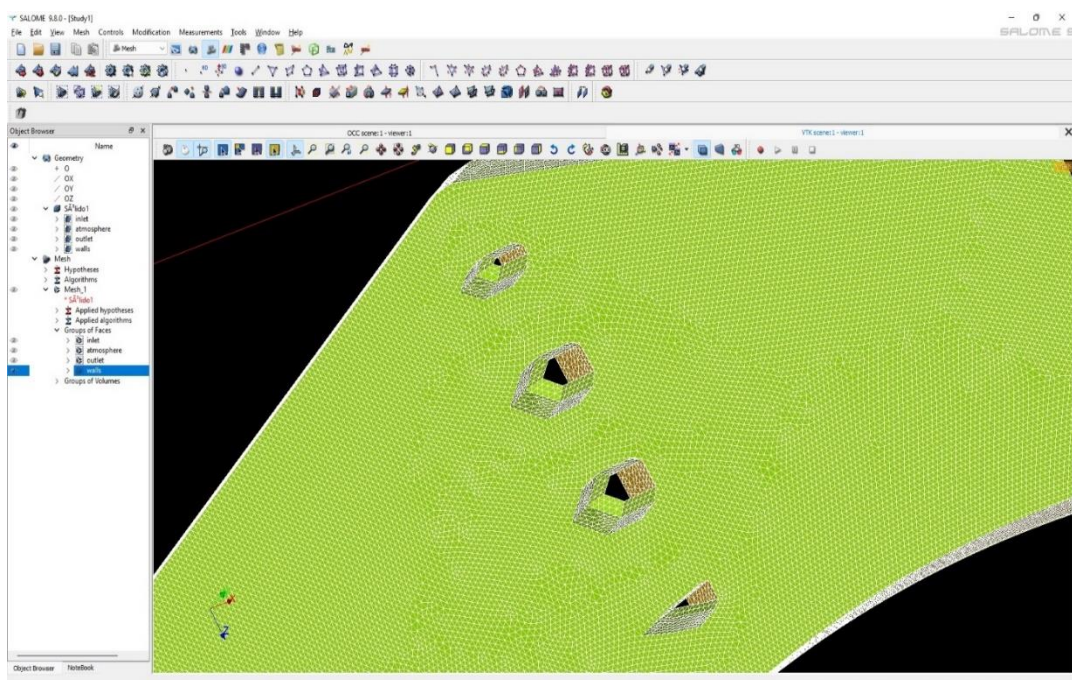
Las condiciones de frontera establecidas en este trabajo de investigación se deben de aplicar a el paquete computacional del OpenFoam (Software libre para el cálculo de la dinámica computacional de fluidos).

Figura 65: Creación de la Geometría con el paquete computacional Salome – Meca



Nota. Elaboración propia

Figura 66: Mallas Refinadas (Salome - Meca)

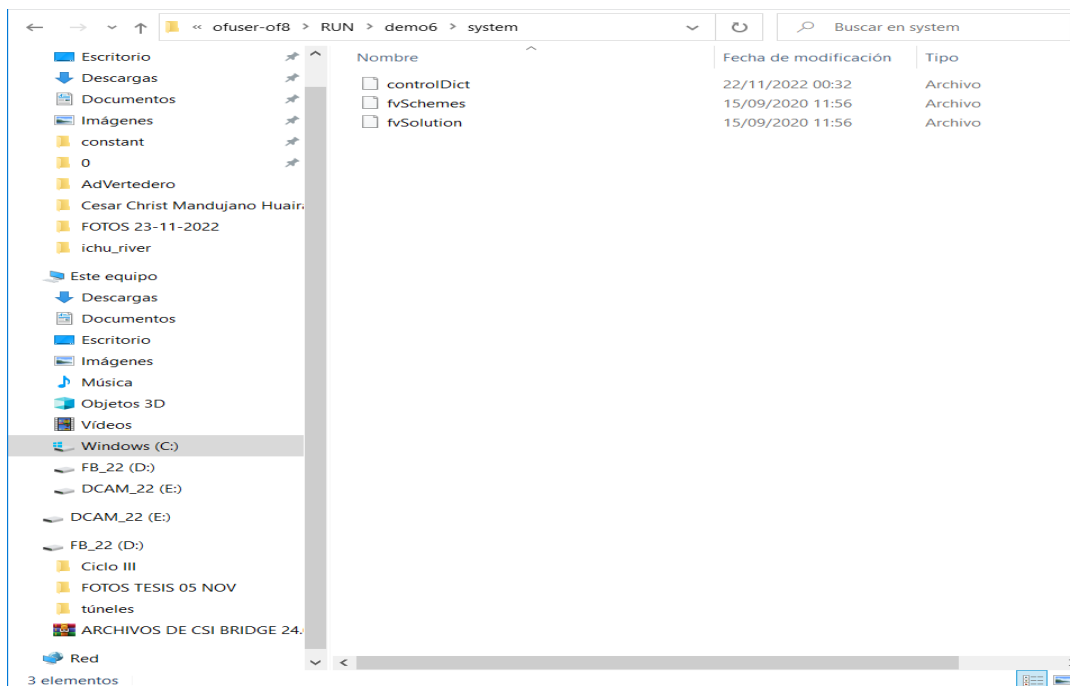


Nota. Elaboración propia

4.6.2. Solucionador:

En este trabajo de investigación, la carpeta system tiene los archivos para fijar los métodos de solución de la discretización, el control de iteraciones, y el solucionador; que resuelven, muestran y describen las partes importantes de los archivos controlDict, fvSchemes y fvSolution, todo esto mediante el solucionador interFoam, este solucionador resuelve las ecuaciones de Navier Stokes para fluidos inmiscibles, isotérmicos, incompresibles, y flujos turbulentos. A su vez cuenta con un modelo de turbulencia denominado k-Épsilon; siendo la variable k el índice de consistencia del flujo; y el Épsilon la constante de disipación de turbulencia.

Figura 67: Mallas Refinadas (Salome - Meca)



Nota. Elaboración propia

Figura 68: controlDict (Parte I)

```

1  //----- C++ -----
2
3  // OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
4  // Operation: Website: https://openfoam.org
5  // And Version: 8
6  // Manipulation
7
8  FoamFile
9  {
10     version      2.0;
11     format        ascii;
12     class         dictionary;
13     location      "system";
14     object        controlDict;
15 }
16
17 // *****
18 application      interFoam;
19
20 startFrom        startTime;
21
22 startTime        0;
23
24 stopAt           endTime;
25
26 endTime          10;
27
28 deltaT           0.035;
29
30 writeControl      adjustableRunTime;
31
32 writeInterval     0.1;
33
34 purgeWrite        0;
35
36 writeFormat       binary;
37
38 writePrecision    6;
39
40 writeCompression  off;
41
42 timeFormat        general;
43
44 timePrecision     6;
45
46 runtimeModifiable yes;

```

Recurso: Resultado de la compilación Depurar Ver Resultados

21 Sel: 0 Lines: 87 Length: 1725 Insertar Done parsing in 0.016 seconds

Nota. Elaboración propia

Figura 69: controlDict (Parte II)

```

43
44 timePrecision 6;
45
46 runtimeModifiable yes;
47
48 adjustTimeStep yes;
49
50 maxCo 20;
51 maxAlphaCo 20;
52 maxDeltaT 1;
53
54 functions
55 {
56     inletFlux
57     {
58         type            surfaceFieldValue;
59         libs             ("libfieldFunctionObjects.so");
60         writeControl      timeStep;
61         log               true;
62         // Output field values as well
63         writeFields       false;
64         regionType        patch;
65         name              inlet;
66         operation          sum;
67
68         fields
69         {
70             rhoPhi
71         }
72     }
73
74     outletFlux
75     {
76         $inletFlux;
77         name              outlet;
78     }
79
80     atmosphereFlux
81     {
82         $inletFlux;
83         name              atmosphere;
84     }
85 }
86
87 // *****

```

Recurso: Resultado de la compilación Depurar Ver Resultados

Col: 21 Sel: 0 Lines: 87 Length: 1725 Insertar Done parsing in 0.016 seconds

Nota. Elaboración propia

Figura 70: fvSchemes (Parte I)

```

1  /*-----* C++ */
2  //
3  // / f i e l d / OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
4  // / O p e r a t i o n / Website: https://openfoam.org
5  // / A n d / Version: 8
6  // / M a n i p u l a t i o n /
7  //-----*/
8  FoamFile
9  {
10     version      2.0;
11     format        ascii;
12     class         dictionary;
13     location      "system";
14     object        fvSchemes;
15 }
16 // *****
17
18 dtSchemes
19 {
20     default       Euler;
21 }
22
23 gradSchemes
24 {
25     default       Gauss linear;
26 }
27
28 divSchemes
29 {
30     default        none;
31     div(rhoPhi,U)  Gauss linearUpwind grad(U);
32     div(phi,alpha) Gauss interfaceCompression vanLeer 1;
33     "div(phi,k|omega)" Gauss upwind;
34     div(((rho*nuEff)*dev2(T(grad(U))))) Gauss linear;
35 }
36
37 laplacianSchemes
38 {
39     default        Gauss linear corrected;
40 }
41
42 interpolationSchemes
43 {
44     default         linear;
45 }
46
47 snGradSchemes
48 {
49     default         corrected;
50 }
51
52 wallDist
53 {
54     method meshInve;
55 }
56
57 // *****
58
59
60

```

Col: 1 Sel: 0 Lines: 60 Length: 1248 Insertar Done parsing in 0.016 seconds

Nota. Elaboración propia

Figura 71: fvSchemes (Parte II)

```

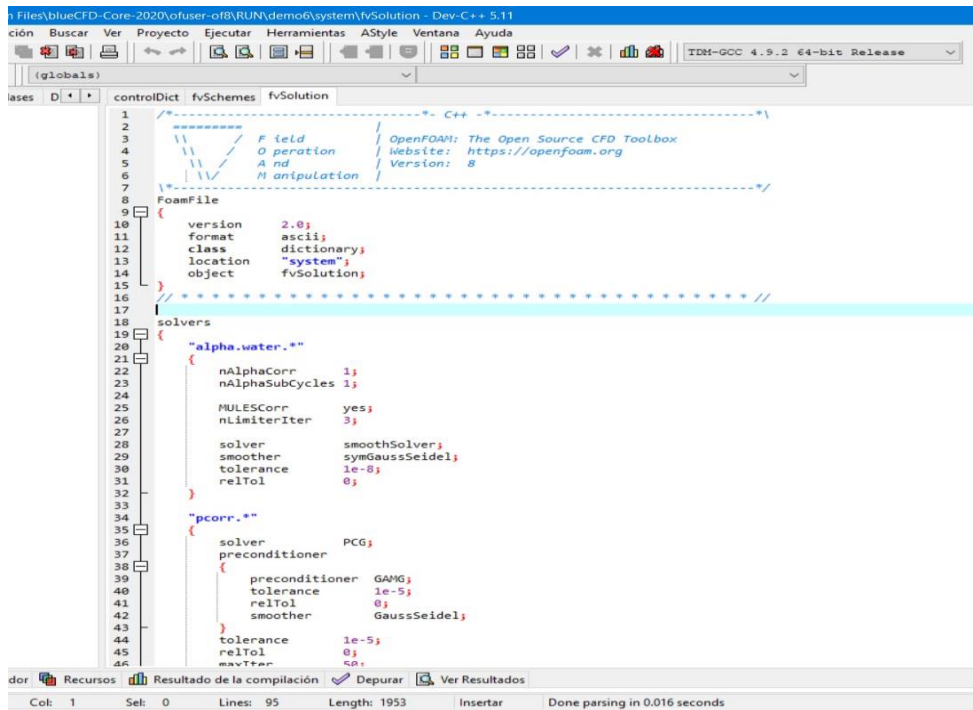
16 // *****
17
18 dtSchemes
19 {
20     default       Euler;
21 }
22
23 gradSchemes
24 {
25     default       Gauss linear;
26 }
27
28 divSchemes
29 {
30     default        none;
31     div(rhoPhi,U)  Gauss linearUpwind grad(U);
32     div(phi,alpha) Gauss interfaceCompression vanLeer 1;
33     "div(phi,k|omega)" Gauss upwind;
34     div(((rho*nuEff)*dev2(T(grad(U))))) Gauss linear;
35 }
36
37 laplacianSchemes
38 {
39     default        Gauss linear corrected;
40 }
41
42 interpolationSchemes
43 {
44     default         linear;
45 }
46
47 snGradSchemes
48 {
49     default         corrected;
50 }
51
52 wallDist
53 {
54     method meshInve;
55 }
56
57 // *****
58
59
60

```

Col: 1 Sel: 0 Lines: 60 Length: 1248 Insertar Done parsing in 0.016 seconds

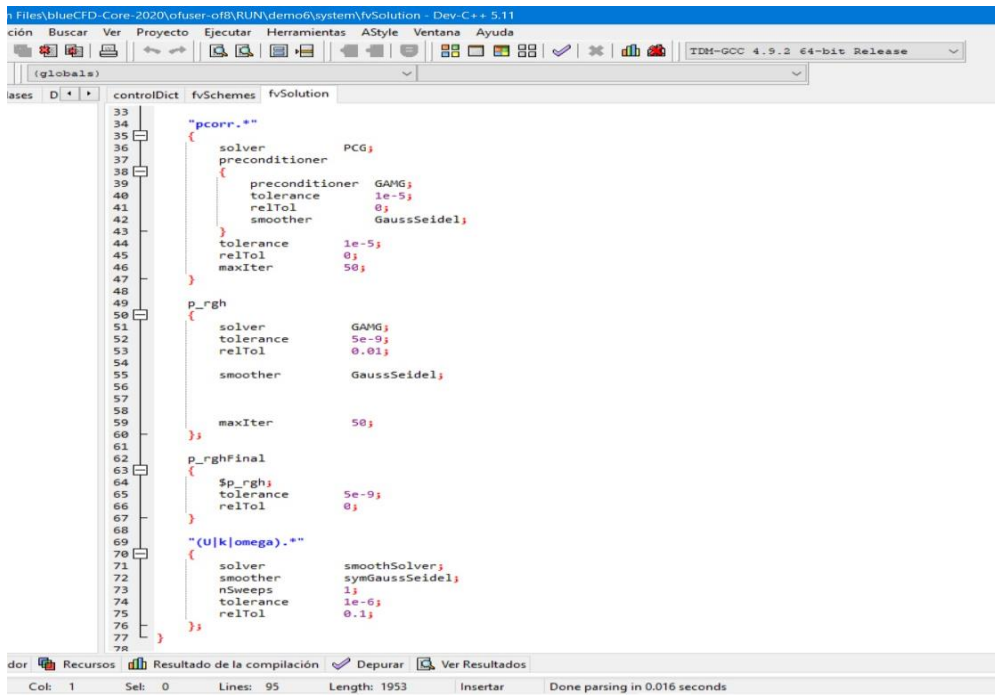
Nota. Elaboración propia

Figura 72: fvSolution (Parte I)



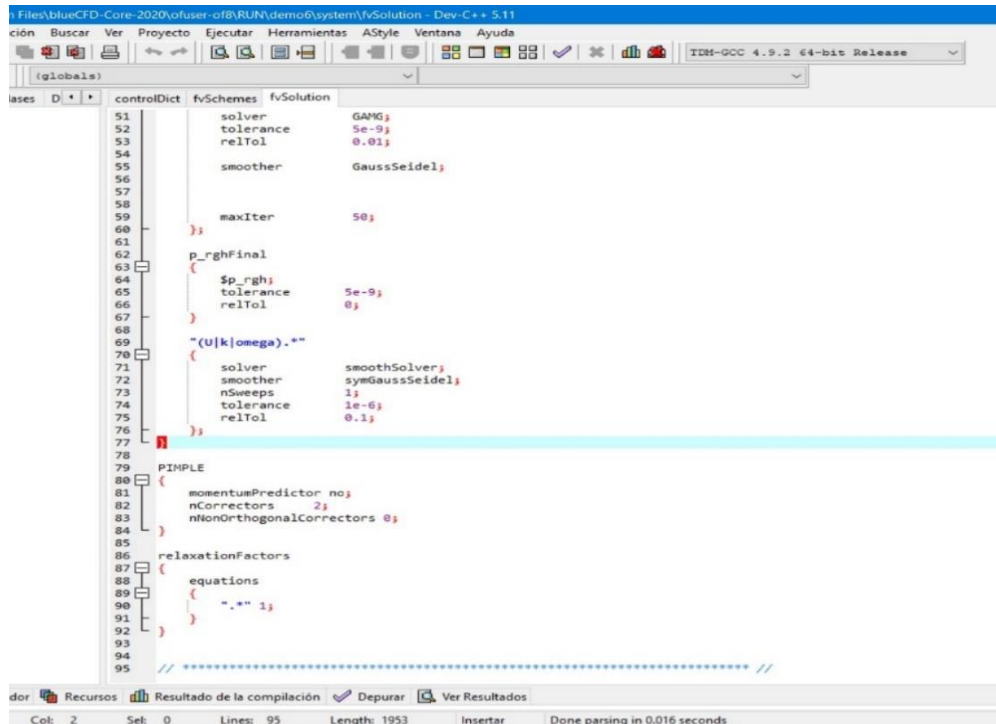
Nota. Elaboración propia

Figura 73: fvSolution (Parte II)



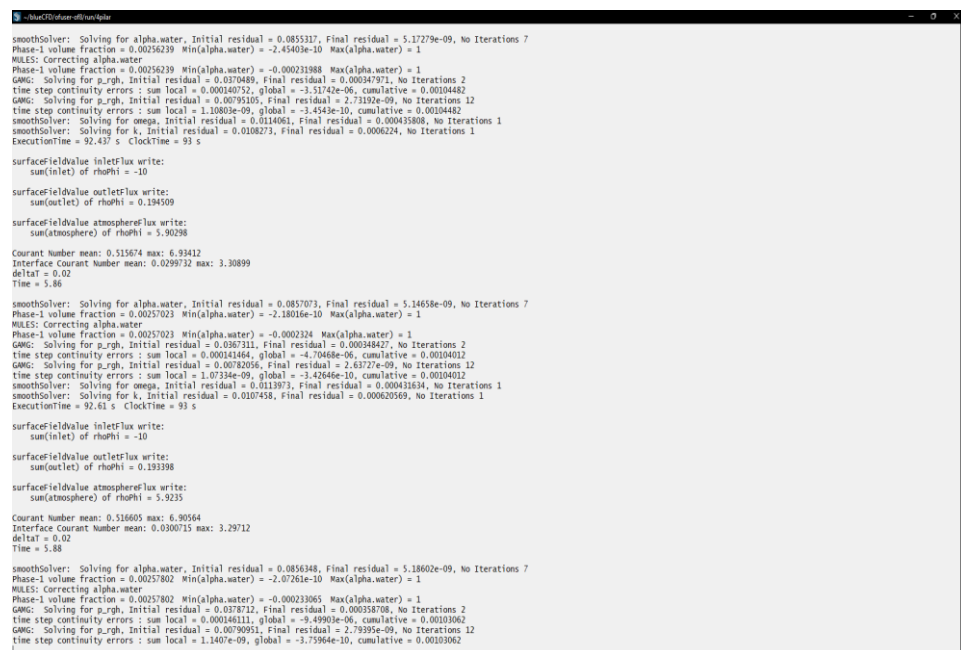
Nota. Elaboración propia

Figura 74: fvSolution (Parte III)



Nota. Elaboración propia

Figura 75: Procesamiento (Inicio)



Nota. Elaboración propia

Figura 76: Procesamiento (Final)

```
~/blueCFD/ofuser-of8/run/4pilar
time step continuity errors : sum local = 4.22937e-06, global = -5.31351e-07, cumulative = 0.000512425
GAMG: Solving for p_rgh, Initial residual = 0.00564362, Final residual = 4.8812e-09, No Iterations 12
time step continuity errors : sum local = 3.22706e-10, global = -1.36191e-10, cumulative = 0.000512424
smoothSolver: Solving for omega, Initial residual = 0.0126251, Final residual = 0.000479645, No Iterations 1
smoothSolver: Solving for k, Initial residual = 0.0325984, Final residual = 0.00316364, No Iterations 1
bounding k, min: -9.03841e-06 max: 543.745 average: 0.160537
ExecutionTime = 137.526 s  ClockTime = 138 s

surfaceFieldValue inletFlux write:
    sum(inlet) of rhoPhi = -10

surfaceFieldValue outletFlux write:
    sum(outlet) of rhoPhi = 2.69739

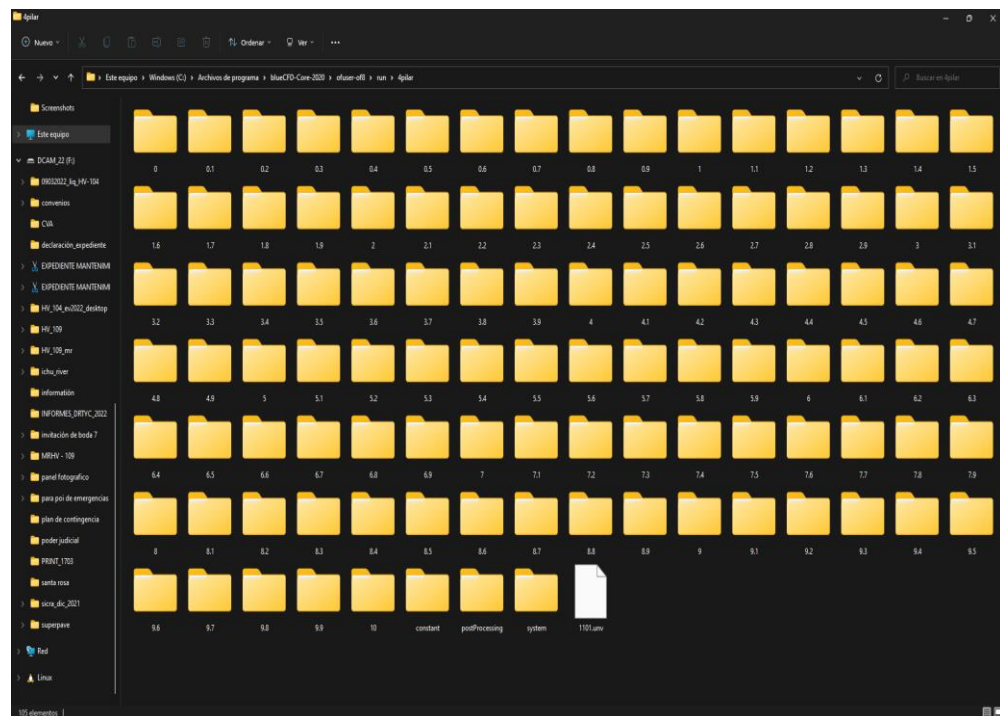
surfaceFieldValue atmosphereFlux write:
    sum(atmosphere) of rhoPhi = 4.51787

End

drtc_caminos@DESKTOP-T142B2N MINGW64 OpenFOAM-8 ~/blueCFD/ofuser-of8/run/4pilar
$ paraFoam
Created temporary '4pilar.foam'
```

Nota. Elaboración propia

Figura 77: Carpetas Generadas después del Procesamiento



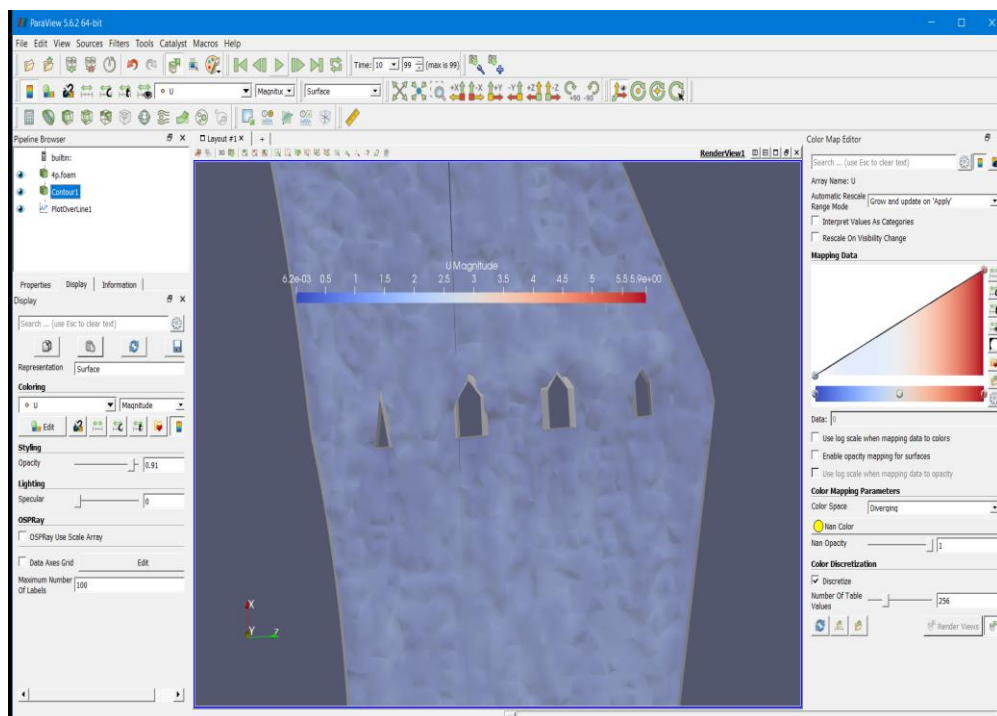
Nota. Elaboración propia

4.6.3. Post – Procesamiento

En esta etapa del Post – Procesamiento es realizada en el software ParaView, que es incorporado al momento de instalar el programa de dinámica computacional de fluidos (OpenFoam), y permite apreciar y visualizar el caudal del flujo, la presión ejercida del flujo en sus parades de contacto, los vectores de velocidad distribuidas en diferentes partes de las paredes de contacto.

El software ParaView nos permite extraer los datos e imágenes que sean necesarias para el post – proceso de todas las simulaciones realizadas, es un programa de código abierto que se emplea para el análisis y la visualización de las bases de datos realizadas en el OpenFoam; una vez realizada la simulación en la estación de cálculo (OpenFoam) se genera y se descarga la carpeta que contiene todos los resultados a un espacio local.

Post – Procesamiento (ParaView)



Nota. Elaboración propia

4.6.4. Resultados de Estudio

Para adaptar un modelo numérico que se adapte a las condiciones iniciales y de frontera del modelo físico, realizamos 04 pruebas, cada prueba que se hacía

simular en el software para la dinámica computacional de fluidos no convergían con nuestros resultados, la evidencia de ello es la Prueba N° 01, que el número de Couramb superaba la unidad, después de 04 intentos, es donde se pudo apreciar los resultados que arroja este programa, pero pese a ello se tuvo que realizar la verificación del número de Couramb y la verificación de residuos por simulación numérica.

Tabla 130: Datos de Ingreso al OpenFoam

Ecuaciones	Prueba N° 01	Prueba N° 02	Prueba N° 03	Prueba N° 04
Q (m³/s)	0.06	0.06	0.06	0.06
A (m²)	0.05	0.05	0.05	0.05
U (m/s)	1.2	1.2	1.2	1.2
L	2.2	2.2	2.2	2.2
v (m²/s)	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06	1.00E-06
Re	2.64E+06	2.64E+06	2.64E+06	2.64E+06
T _i	2.52E-02	2.52E-02	2.52E-02	2.52E-02
L	1.54E-01	1.54E-01	1.54E-01	1.54E-01
K	1.37E-03	1.37E-03	1.37E-03	1.37E-03
D _t	0.02	0.02	0.03	0.035
D _x	0.001	0.01	0.1	0.1
C _u	1.2	0.12	0.018	0.021
E	3.78E-04	6.73E-05	1.62E-05	1.82E-05
Result	does not converge	does not converge	does not converge	successful

Nota. Elaboración propia

Tabla 131: Leyenda y fórmulas

Abrev.	Descripción	Fórmula
Q (m³/s)	Caudal	Dato obtenido del modelo físico
A (m²)	Área	Dato obtenido del modelo físico
U (m/s)	Velocidad	$U = \frac{Q}{A}$
L	Longitud	Dato obtenido del modelo físico
v (m²/s)	Viscosidad cinemática	Dato obtenido del modelo físico
Re	Número de Reynolds	$Re = \frac{UxL}{v}$
T _i	Intensidad de Turbulencia	$T_i = 0.16xRe^{-1/8}$
l	Longitud Turbulenta	$l = 0.07xL$

k	Índice de Consistencia	$k = \frac{3}{2} (UxT_l)^2$
D _t	Delta de Tiempo	Dato de Ingreso
D _x	Apertura de Malla	Dato de Ingreso
C _u	Número de Couramb	$C_u = \frac{QxD_t}{D_x}$
e	Constante de Disipación de Turbulencia	$e = C_u^{3/4} x \frac{k^{3/2}}{L}$

Nota. Elaboración propia

A continuación, se va mostrar en tablas e imágenes los datos arrojados (tirantes por cada pilar) por el Software para la dinámica computacional de fluidos, OpenFoam.

Tabla 132: Datos Obtenidos del Software OpenFoam, Calibración de Modelo, Pilar N° 01

Distancia	Tirantes (cm) OpenFoam pilar N°01							
	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje								
3.00 cm	6.77	6.58	6.40	6.22	6.10	6.03	5.98	5.95
2.50 cm	6.83	6.64	6.44	6.25	6.12	6.05	5.98	5.95
2.00 cm	6.85	6.64	6.43	6.26	6.12	6.03	5.96	5.95
1.50 cm	6.87	6.65	6.43	6.26	6.12	6.03	5.96	5.95
1.00 cm	6.90	6.67	6.45	6.30	6.12	6.05	6.00	5.95
0.50 cm	6.92	6.70	6.49	6.30	6.15	6.10	6.04	6.00
Eje								
0.00 cm	6.94	6.52	6.28	6.07	5.90	5.75	5.60	5.55
Lado derecho del eje								
0.50 cm	5.71	5.66	5.63	5.60	5.58	5.56	5.55	5.54
1.00 cm	5.70	5.65	5.62	5.60	5.58	5.57	5.57	5.57
1.50 cm	5.69	5.65	5.60	5.58	5.57	5.56	5.55	5.55
2.00 cm	5.67	5.63	5.60	5.57	5.55	5.54	5.53	5.52
2.50 cm	5.67	5.60	5.58	5.55	5.54	5.53	5.51	5.51
3.00 cm	5.65	5.60	5.57	5.54	5.53	5.52	5.51	5.51

Nota. Elaboración propia

Tabla 133: Datos Obtenidos del Software OpenFoam, Calibración de Modelo, Pilar N° 02

Distancia	Tirantes (cm) OpenFoam pilar N°02							
	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje								
3.00 cm	6.75	6.60	6.40	6.20	6.10	6.04	5.00	6.00
2.50 cm	6.80	6.52	6.41	6.21	6.15	6.03	6.00	5.95
2.00 cm	6.85	6.63	6.42	6.22	6.13	6.04	6.00	5.95
1.50 cm	6.87	6.65	6.43	6.25	6.14	6.05	5.98	5.95
1.00 cm	6.88	6.66	6.45	6.28	6.16	6.06	6.00	5.94
0.50 cm	6.90	6.68	6.46	6.30	6.15	6.05	6.00	5.95
Eje								
0.00 cm	6.95	6.70	6.50	6.35	6.20	6.10	6.05	6.02
Lado derecho del eje								
0.50 cm	5.65	5.62	5.60	5.57	5.56	5.55	5.54	5.54
1.00 cm	5.65	5.60	5.58	5.56	5.55	5.54	5.53	5.53
1.50 cm	5.64	5.59	5.57	5.55	5.53	5.52	5.51	5.51
2.00 cm	5.64	5.58	5.55	5.54	5.53	5.52	5.52	5.51
2.50 cm	5.63	5.57	5.56	5.55	5.53	5.53	5.52	5.50
3.00 cm	6.63	5.56	5.55	5.54	5.53	5.52	5.50	5.49

Nota. Elaboración propia

Tabla 134: Datos Obtenidos del Software OpenFoam, Calibración de Modelo, Pilar N° 03

Distancia	Tirantes (cm) OpenFoam pilar N°03							
	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje								
3.00 cm	6.75	6.55	6.35	6.20	6.10	6.05	5.97	5.95
2.50 cm	6.78	6.58	6.39	6.23	6.12	6.05	5.98	5.95
2.00 cm	6.80	6.60	6.40	6.22	6.15	6.05	5.95	5.93
1.50 cm	6.85	6.60	6.40	6.25	6.13	6.02	5.96	5.94
1.00 cm	6.87	6.62	6.39	6.25	6.14	6.03	5.97	5.95
0.50 cm	6.88	6.65	6.45	6.30	6.15	6.05	5.98	5.95
Eje								
0.00 cm	6.93	6.70	6.50	6.35	6.18	6.05	6.00	5.96
Lado derecho del eje								
0.50 cm	5.90	5.83	5.79	5.75	5.70	5.68	5.67	5.65
1.00 cm	5.88	5.80	5.75	5.71	5.70	5.66	5.65	5.64
1.50 cm	5.86	5.77	5.74	5.70	5.68	5.66	5.65	5.65
2.00 cm	5.85	5.76	5.71	5.68	5.67	5.65	5.65	5.65
2.50 cm	5.85	5.77	5.72	5.67	5.66	5.65	5.64	5.64

3.00 cm	5.84	5.76	5.74	5.70	5.67	5.65	5.64	5.64
---------	------	------	------	------	------	------	------	------

Nota. Elaboración propia

Tabla 135: Datos Obtenidos del Software OpenFoam, Calibración de Modelo, Pilar N° 04

Distancia	Tirantes (cm) OpenFoam pilar N°04							
	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje								
0.50 cm	5.67	5.65	5.63	5.60	5.58	5.55	5.50	5.50
Eje								
0.00 cm	5.68	5.67	5.68	5.66	5.66	5.66	5.66	5.65
Lado derecho del eje								
0.50 cm	5.65	5.62	5.60	5.56	5.55	5.52	5.48	5.45

Nota. Elaboración propia

4.6.5. Comparación de Datos (Modelo Físico Vs Modelo Numérico)

Ahora vamos apreciar la similitud que presenta cada modelo, es necesario mencionar que los modelos deben de ser cuasi idénticos, porque tienen las mismas condiciones de contorno; en caso llegara a existir diferencias abismales en los tirantes obtenidos, van a ser por una mala medición en el modelo físico, por utilizar equipos no calibrados y más aún si se utiliza equipos que no presten garantías para la precisión y calibración de ambos modelos (físicos y numéricos).

El modelo físico y el modelo numérico deben de ir de la mano, las características hidrodinámicas que implementen en el modelo físico deben de implementarse en el modelo numérico y viceversa.

Tabla 136: Datos consolidados (tirantes), calibración de los modelos, Pilar N° 01

Tirantes consolidados (cm) MF y MN pilar N° 01									
Distanci	Model	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50
a	o	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
Lado izquierdo del eje									
3.00 cm	MF	6.77	6.58	6.40	6.23	6.11	6.04	5.98	5.95
	MN	6.77	6.58	6.40	6.22	6.10	6.03	5.98	5.95
2.50 cm	MF	6.83	6.64	6.44	6.26	6.12	6.05	5.98	5.96
	MN	6.83	6.64	6.44	6.25	6.12	6.05	5.98	5.95
2.00 cm	MF	6.85	6.64	6.44	6.27	6.13	6.03	5.97	5.96
	MN	6.85	6.64	6.43	6.26	6.12	6.03	5.96	5.95
1.50 cm	MF	6.87	6.65	6.44	6.27	6.12	6.03	5.97	5.95

1.00 cm	MN	6.87	6.65	6.43	6.26	6.12	6.03	5.96	5.95
	MF	6.90	6.67	6.46	6.29	6.14	6.06	5.99	5.95
0.50 cm	MN	6.90	6.67	6.45	6.30	6.12	6.05	6.00	5.95
	MF	6.92	6.69	6.48	6.31	6.16	6.09	6.03	5.99
	MN	6.92	6.70	6.49	6.30	6.15	6.10	6.04	6.00
Eje									
0.00 cm	MF	6.94	6.53	6.27	6.08	5.90	5.76	5.61	5.55
	MN	6.94	6.52	6.28	6.07	5.90	5.75	5.60	5.55
Lado derecho del eje									
0.50 cm	MF	5.71	5.67	5.63	5.60	5.58	5.57	5.56	5.56
	MN	5.71	5.66	5.63	5.60	5.58	5.56	5.55	5.54
1.00 cm	MF	5.70	5.65	5.62	5.60	5.59	5.58	5.58	5.58
	MN	5.70	5.65	5.62	5.60	5.58	5.57	5.57	5.57
1.50 cm	MF	5.69	5.64	5.61	5.59	5.58	5.57	5.56	5.56
	MN	5.69	5.65	5.60	5.58	5.57	5.56	5.55	5.55
2.00 cm	MF	5.68	5.63	5.60	5.58	5.56	5.55	5.54	5.53
	MN	5.67	5.63	5.60	5.57	5.55	5.54	5.53	5.52
2.50 cm	MF	5.67	5.61	5.58	5.56	5.54	5.53	5.52	5.52
	MN	5.67	5.60	5.58	5.55	5.54	5.53	5.51	5.51
3.00 cm	MF	5.66	5.61	5.58	5.56	5.54	5.53	5.52	5.52
	MN	5.65	5.60	5.57	5.54	5.53	5.52	5.51	5.51

Nota. Elaboración propia

Esta tabla representa la comparación de los tirantes promedio que se obtuvieron en el modelo físico y en el modelo numérico, de la verificación de datos, se observó que el tirante máximo obtenido en el pilar N° 01 del puente Tablachaca, tiene un valor de 6.94 cm en ambos modelos (modelo físico y modelo numérico), que ocurrió con un caudal de ingreso de 6 lt/seg, caudal que representa a escala al del prototipo (120 m3/seg).

Tabla 137: Datos consolidados (tirantes), calibración de los modelos, Pilar N° 02

Tirantes consolidados (cm) MF y MN pilar N° 02									
Distancia	Modelo	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje									
3.00 cm	MF	6.75	6.58	6.39	6.23	6.10	6.04	6.01	5.99
	MN	6.75	6.60	6.40	6.20	6.10	6.04	5.00	6.00
2.50 cm	MF	6.82	6.63	6.43	6.26	6.16	6.06	6.00	5.96
	MN	6.80	6.52	6.41	6.21	6.15	6.03	6.00	5.95
2.00 cm	MF	6.84	6.63	6.43	6.26	6.15	6.06	5.99	5.96
	MN	6.85	6.63	6.42	6.22	6.13	6.04	6.00	5.95

1.50 cm	MF	6.86	6.64	6.43	6.26	6.15	6.05	5.98	5.95
	MN	6.87	6.65	6.43	6.25	6.14	6.05	5.98	5.95
1.00 cm	MF	6.89	6.66	6.45	6.28	6.16	6.07	6.00	5.95
	MN	6.88	6.66	6.45	6.28	6.16	6.06	6.00	5.94
0.50 cm	MF	6.91	6.68	6.47	6.30	6.15	6.07	5.99	5.96
	MN	6.90	6.68	6.46	6.30	6.15	6.05	6.00	5.95
Eje									
0.00 cm	MF	6.95	6.72	6.51	6.34	6.19	6.11	6.05	6.02
	MN	6.95	6.70	6.50	6.35	6.20	6.10	6.05	6.02
Lado derecho del eje									
0.50 cm	MF	5.66	5.62	5.60	5.58	5.57	5.56	5.55	5.54
	MN	5.65	5.62	5.60	5.57	5.56	5.55	5.54	5.54
1.00 cm	MF	5.65	5.61	5.59	5.57	5.56	5.55	5.54	5.54
	MN	5.65	5.60	5.58	5.56	5.55	5.54	5.53	5.53
1.50 cm	MF	5.64	5.60	5.57	5.55	5.53	5.52	5.52	5.52
	MN	5.64	5.59	5.57	5.55	5.53	5.52	5.51	5.51
2.00 cm	MF	5.64	5.59	5.56	5.55	5.54	5.53	5.53	5.52
	MN	5.64	5.58	5.55	5.54	5.53	5.52	5.52	5.51
2.50 cm	MF	5.63	5.58	5.56	5.55	5.54	5.54	5.53	5.53
	MN	5.63	5.57	5.56	5.55	5.53	5.53	5.52	5.50
3.00 cm	MF	5.63	5.58	5.56	5.55	5.54	5.54	5.53	5.53
	MN	6.63	5.56	5.55	5.54	5.53	5.52	5.50	5.49

Nota. Elaboración propia

Esta tabla representa la comparación de los tirantes promedio que se obtuvieron en el modelo físico y en el modelo numérico, de la verificación de datos, se observó que el tirante máximo obtenido en el pilar N° 02 del puente Tablachaca, tiene un valor de 6.95 cm en ambos modelos (modelo físico y modelo numérico), que ocurrió con un caudal de ingreso de 6 lt/seg, caudal que representa a escala al del prototipo (120 m3/seg).

Tabla 138: Datos consolidados (tirantes), calibración de los modelos, Pilar N° 03

Tirantes consolidados (cm) MF y MN pilar N° 03									
Distancia	Modelo	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50
a	o	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
Lado izquierdo del eje									
3.00 cm	MF	6.74	6.55	6.37	6.21	6.11	6.04	5.98	5.96
	MN	6.75	6.55	6.35	6.20	6.10	6.05	5.97	5.95
2.50 cm	MF	6.80	6.61	6.41	6.24	6.14	6.05	5.99	5.97
	MN	6.78	6.58	6.39	6.23	6.12	6.05	5.98	5.95
2.00 cm	MF	6.82	6.61	6.41	6.24	6.15	6.05	5.97	5.94
	MN	6.80	6.60	6.40	6.22	6.15	6.05	5.95	5.93

1.50 cm	MF	6.84	6.63	6.41	6.24	6.14	6.04	5.97	5.95
	MN	6.85	6.60	6.40	6.25	6.13	6.02	5.96	5.94
1.00 cm	MF	6.87	6.63	6.38	6.24	6.14	6.04	5.98	5.96
	MN	6.87	6.62	6.39	6.25	6.14	6.03	5.97	5.95
0.50 cm	MF	6.89	6.66	6.45	6.29	6.16	6.06	5.97	5.96
	MN	6.88	6.65	6.45	6.30	6.15	6.05	5.98	5.95
Eje									
0.00 cm	MF	6.93	6.70	6.49	6.32	6.17	6.06	6.00	5.96
	MN	6.93	6.70	6.50	6.35	6.18	6.05	6.00	5.96
Lado derecho del eje									
0.50 cm	MF	5.88	5.82	5.78	5.74	5.71	5.68	5.67	5.66
	MN	5.90	5.83	5.79	5.75	5.70	5.68	5.67	5.65
1.00 cm	MF	5.87	5.80	5.76	5.72	5.70	5.68	5.67	5.67
	MN	5.88	5.80	5.75	5.71	5.70	5.66	5.65	5.64
1.50 cm	MF	5.87	5.78	5.74	5.71	5.69	5.67	5.66	5.66
	MN	5.86	5.77	5.74	5.70	5.68	5.66	5.65	5.65
2.00 cm	MF	5.86	5.77	5.72	5.69	5.67	5.65	5.65	5.65
	MN	5.85	5.76	5.71	5.68	5.67	5.65	5.65	5.65
2.50 cm	MF	5.85	5.78	5.73	5.69	5.67	5.66	5.65	5.65
	MN	5.85	5.77	5.72	5.67	5.66	5.65	5.64	5.64
3.00 cm	MF	5.84	5.77	5.73	5.70	5.68	5.66	5.65	5.65
	MN	5.84	5.76	5.74	5.70	5.67	5.65	5.64	5.64

Nota. Elaboración propia

Esta tabla representa la comparación de los tirantes promedio que se obtuvieron en el modelo físico y en el modelo numérico, de la verificación de datos, se observó que el tirante máximo obtenido en el pilar N° 03 del puente Tablachaca, tiene un valor de 6.93 cm en ambos modelos (modelo físico y modelo numérico), que ocurrió con un caudal de ingreso de 6 lt/seg, caudal que representa a escala al del prototipo (120 m3/seg).

Tabla 139: Datos consolidados (tirantes), calibración de los modelos, Pilar N° 04

Tirantes consolidados (cm) MF y MN pilar N° 04									
Distancia	Modelo	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje									
0.50 cm	MF	5.68	5.66	5.63	5.61	5.58	5.56	5.52	5.49
	MN	5.67	5.65	5.63	5.60	5.58	5.55	5.50	5.50
Eje									
0.00 cm	MF	5.68	5.68	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69	5.68
	MN	5.68	5.67	5.68	5.66	5.66	5.66	5.66	5.65
Lado derecho del eje									

0.50 cm	MF	5.65	5.63	5.60	5.57	5.54	5.52	5.49	5.46
	MN	5.65	5.62	5.60	5.56	5.55	5.52	5.48	5.45

Nota. Elaboración propia

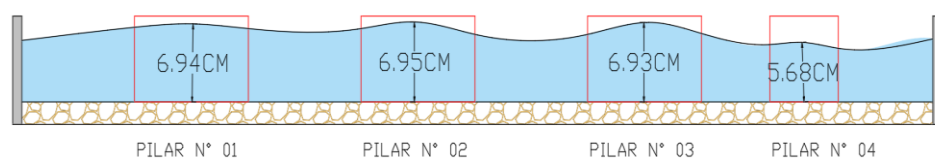
Esta tabla representa la comparación de los tirantes promedio que se obtuvieron en el modelo físico y en el modelo numérico, de la verificación de datos, se observó que el tirante máximo obtenido en el pilar N° 04 del puente Tablachaca tiene un valor de 5.69 cm en ambos modelos (modelo físico y modelo numérico), que ocurrió con un caudal de ingreso de 6 lt/seg, caudal que representa a escala al del prototipo (120 m3/seg).

Tabla 140: Diferencia de tirantes, 04 pilares

Datos	Pilar N° 01	Pilar N° 02	Pilar N° 03	Pilar N° 04
Volumen (cm3)	333.82	674.84	674.84	260.73
Tirante Inicial (Yi)	5.5	5.5	5.5	5.5
Tirante Final (Yf)	6.94	6.95	6.93	5.69
Incremento en escala (cm)	1.44	1.45	1.43	0.18
Incremento (%)	20.75%	20.86%	20.63%	3.17%
Incremento de tirante en Prototipo (cm)	57.60 cm	58.00 cm	57.20 cm	7.20 cm

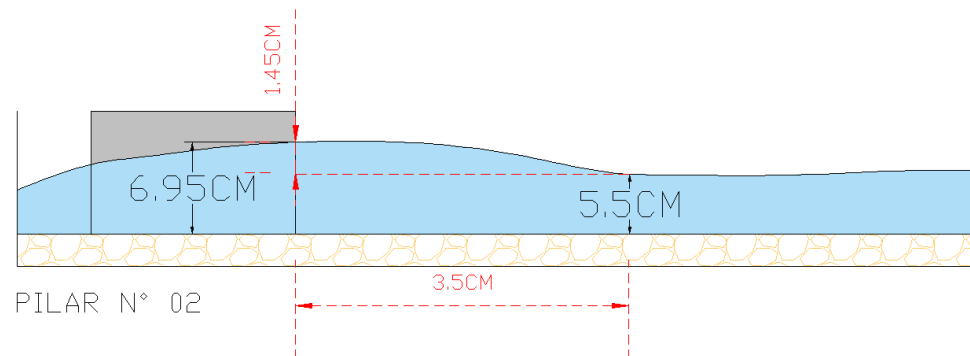
Nota. Elaboración propia

Figura 78: Tirantes máximos (sección transversal, 04 pilares)



Nota. Elaboración propia

Figura 79: Tirante máximo (perfil longitudinal, 04 pilares)



Nota. Elaboración propia

Esta imagen representa el tirante máximo de 6.95 cm, que se viene incrementando gradualmente 3.65 cm delante del eje del pilar, desde una altura de tirante de 5.5 cm, a escala real esta diferencia de tirantes (tirante inicial y tirante final) representa el 20.86% de incremento en el tirante hidráulico.

4.7. Prueba del Modelo Físico con Diferentes Casos (Prueba de Hipótesis)

Para realizar todas las simulaciones en el modelo físico se ha tenido que implementar con instrumentos adecuados para lograr medir los tirantes generados por un caudal de agua constante, el caudal generado de agua constante fue proveído por un camión contra incendios tipo IV (capacidad de agua de 1200 galones); el agua fue almacenada en el modelo físico y sus descargas fueron contraladas por una compuerta deslizante de sección cuadrada, la compuerta abastecía de agua al modelo físico a una razón de 6 lt./seg.

Figura 80: Tablero de Control para Caudales y Presiones del Camión con Incendios



Nota. Elaboración propia

Abastecimiento de Agua (45 galones por minuto)



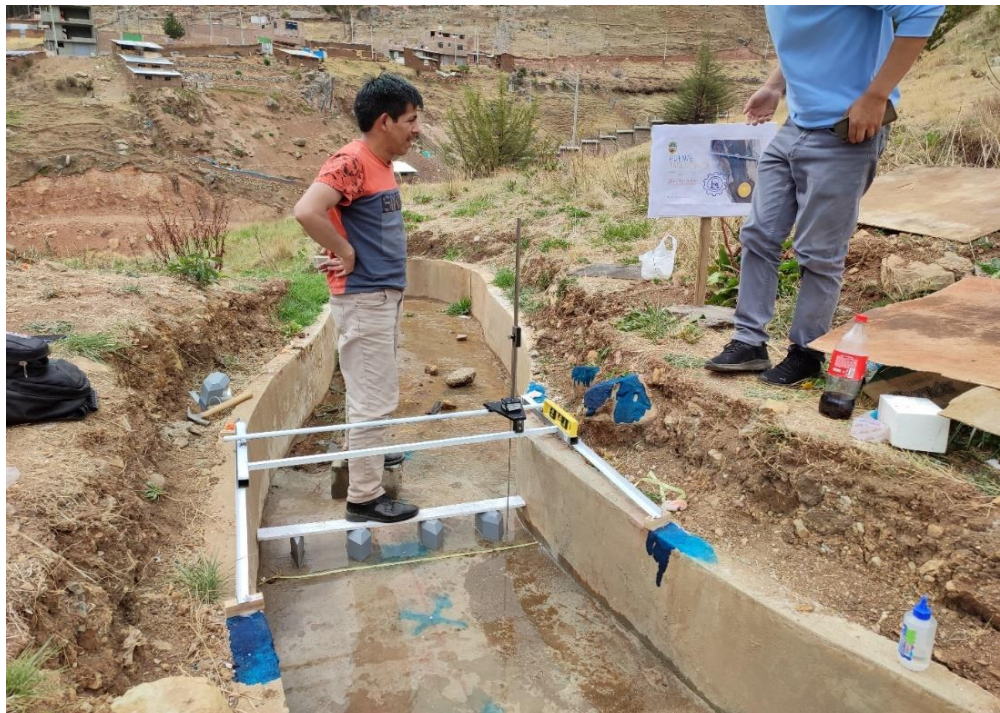
Nota. Elaboración propia

Figura 81: Camión Contra Incendios Tipo IV (1200 galones)



Nota. Elaboración propia

Figura 82: Instrumentación del Modelo Físico



Nota. Elaboración propia

4.7.1. Con 03 Pilares (Modelo Físico)

Se va realizar la prueba de hipótesis en el modelo físico para verificar la influencia de los pilares en el remanso hidráulico del río ichu, con los caudales ya calibrados de acuerdo a el perímetro mojado del modelo prototipo (puente tablachaca).

El modelo físico representa a escala el puente tablachaca, se va utilizar 03 pilares con volúmenes idénticos, instalados en el modelo físico de manera equidistante, los pilares que se van a utilizar, son bloques de madera tallada e impermeabilizada.

PILAR N° 01:

Figura 83: Medición de tirantes pilar N° 01



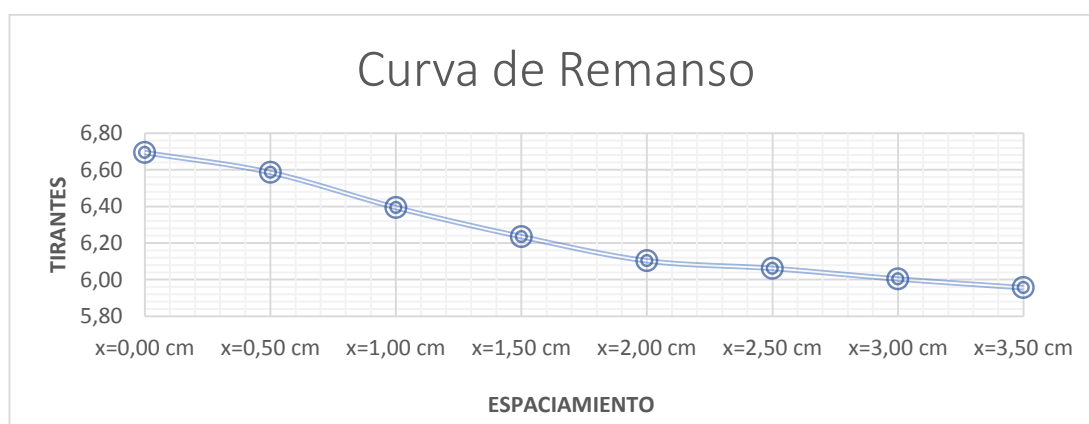
Nota. Elaboración propia

Tabla 141: Resumen de tirantes pilar N° 01

Tirantes promedio (cm) pilar N° 01								
Distancia	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje								
3.00 cm	6.69	6.59	6.39	6.24	6.10	6.06	6.00	5.96
2.50 cm	6.70	6.64	6.44	6.26	6.13	6.05	6.00	5.96
2.00 cm	6.71	6.64	6.44	6.27	6.13	6.07	5.99	5.96
1.50 cm	6.72	6.65	6.44	6.27	6.12	6.05	5.99	5.95
1.00 cm	6.73	6.50	6.29	6.12	5.97	5.86	5.80	5.77
0.50 cm	6.74	6.51	6.30	6.13	5.98	5.87	5.80	5.78
Eje								
0.00 cm	6.72	6.49	6.28	6.11	5.96	5.85	5.77	5.76
Lado derecho del eje								
0.50 cm	5.69	5.65	5.63	5.61	5.57	5.55	5.54	5.52
1.00 cm	5.68	5.66	5.64	5.62	5.61	5.59	5.57	5.54
1.50 cm	5.67	5.65	5.64	5.62	5.61	5.60	5.57	5.53
2.00 cm	5.64	5.62	5.60	5.59	5.56	5.54	5.53	5.50
2.50 cm	5.62	5.60	5.58	5.57	5.54	5.52	5.51	5.49
3.00 cm	5.61	5.59	5.57	5.56	5.53	5.51	5.50	5.47

Nota. Elaboración propia

Figura 84: Curva de remanso a 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01



Nota. Elaboración propia

PILAR N° 02

Figura 85: Medición de tirantes pilar N° 02



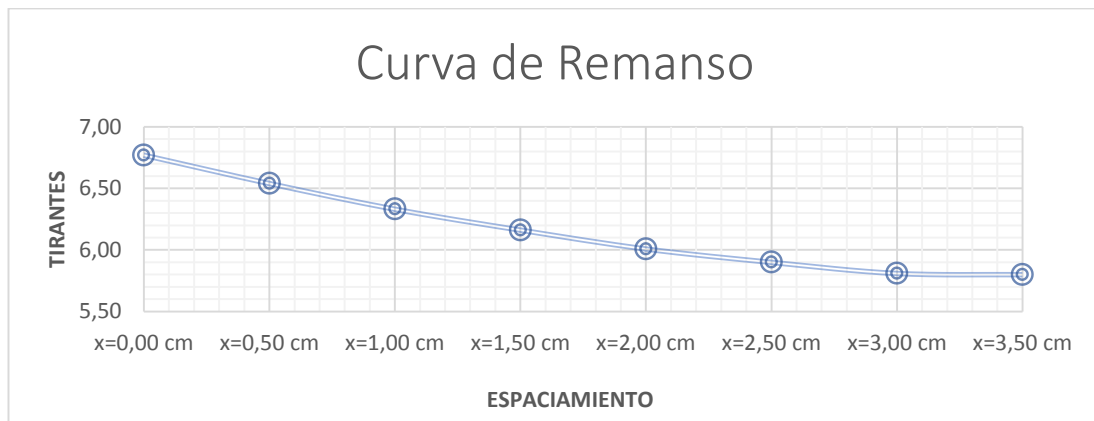
Nota. Elaboración propia

Tabla 142: Resumen de tirantes pilar N° 02

Tirantes promedio (cm) pilar N° 02								
Distancia	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje								
3.00 cm	6.75	6.52	6.31	6.14	5.99	5.88	5.79	5.78
2.50 cm	6.77	6.54	6.33	5.81	6.01	5.90	5.81	5.80
2.00 cm	6.79	6.56	6.35	6.18	6.03	5.92	5.83	5.82
1.50 cm	6.81	6.58	6.37	6.20	6.05	5.94	5.85	5.84
1.00 cm	6.83	6.60	6.39	6.22	6.07	5.96	5.87	5.86
0.50 cm	6.85	6.62	6.41	6.24	6.09	5.98	5.89	5.88
Eje								
0.00 cm	6.84	6.61	6.40	6.23	6.08	5.97	5.88	5.87
Lado derecho del eje								
0.50 cm	5.66	5.64	5.62	5.61	5.60	5.59	5.56	5.54
1.00 cm	5.64	5.62	5.60	5.59	5.57	5.57	5.55	5.52
1.50 cm	5.62	5.60	5.58	5.57	5.56	5.55	5.53	5.50
2.00 cm	5.61	5.59	5.57	5.55	5.55	5.54	5.52	5.49
2.50 cm	5.60	5.58	5.57	5.55	5.54	5.53	5.51	5.48
3.00 cm	5.59	5.57	5.56	5.54	5.53	5.52	5.50	5.48

Nota. Elaboración propia

Figura 86: Curva de remanso a 2.5 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 02



Nota. Elaboración propia

PILAR N° 03

Figura 87: Medición de tirantes pilar N° 03

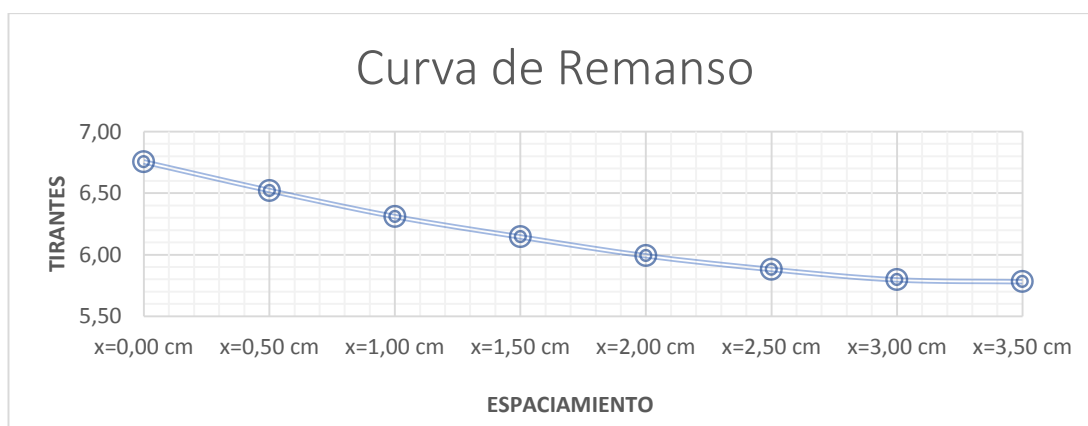


Nota. Elaboración propia

Tabla 143: Resumen de tirantes pilar N° 03

Tirantes promedio (cm) pilar N° 03								
Distancia	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje								
3.00 cm	6.71	6.48	6.27	6.10	5.95	5.84	5.76	5.74
2.50 cm	6.73	6.50	6.29	6.12	5.97	5.86	5.78	5.76
2.00 cm	6.75	6.52	6.31	6.14	5.99	5.88	5.80	5.78
1.50 cm	6.77	6.54	6.33	6.16	6.01	5.90	5.82	5.80
1.00 cm	6.79	6.56	6.35	6.18	6.03	5.92	5.84	5.82
0.50 cm	6.80	6.58	6.37	6.20	6.05	5.94	5.86	5.84
Eje								
0.00 cm	6.83	6.60	6.39	6.22	6.07	5.96	5.88	5.87
Lado derecho del eje								
0.50 cm	6.80	6.57	6.36	6.19	6.04	5.93	5.85	5.83
1.00 cm	6.78	6.55	6.34	6.17	6.02	5.91	5.83	5.81
1.50 cm	6.76	6.53	6.32	6.15	6.00	5.89	5.81	5.79
2.00 cm	6.74	6.51	6.30	6.13	5.98	5.87	5.79	5.77
2.50 cm	6.73	6.49	6.29	6.11	5.96	5.85	5.77	5.75
3.00 cm	6.70	6.47	6.26	6.09	5.94	5.83	5.75	5.73

Nota. Elaboración propia

Figura 88: Curva de remanso a 2.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 03

Nota. Elaboración propia

4.7.2. Con 02 Pilares (Modelo Físico)

Se va realizar la prueba de hipótesis en el modelo físico para verificar la influencia de los pilares en el remanso hidráulico del río ichu, con los caudales ya calibrados de acuerdo a el perímetro mojado del modelo prototipo (puente tablachaca).

El modelo físico representa a escala el puente tablachaca, se va utilizar 02 pilares con volúmenes idénticos, instalados en el modelo físico de manera equidistante, los pilares que se van a utilizar, son bloques de madera tallada e impermeabilizada.

PILAR N° 01

Figura 89: Medición de tirantes pilar N° 01



Nota. Elaboración propia

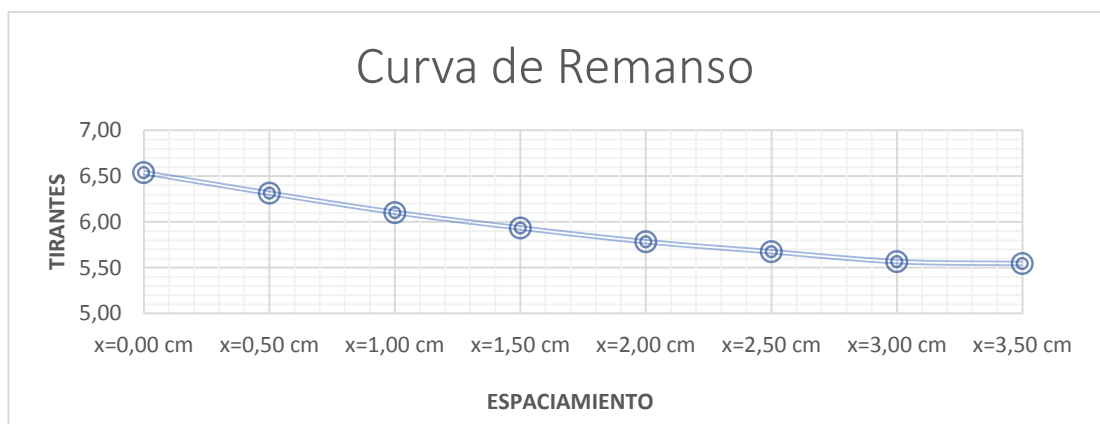
Tabla 144: Resumen de tirantes pilar N° 01

Tirantes promedio (cm) pilar N° 01								
Distancia	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje								
3.00 cm	6.54	6.31	6.10	5.93	5.78	5.67	5.57	5.54
2.50 cm	6.55	6.32	6.11	5.94	5.79	5.68	5.57	5.55
2.00 cm	6.56	6.33	6.12	5.95	5.80	5.69	5.59	5.56
1.50 cm	6.58	6.35	6.14	5.97	5.82	5.71	5.60	5.57
1.00 cm	6.60	6.37	6.16	5.99	5.84	5.73	5.63	5.61
0.50 cm	6.62	6.39	6.18	6.01	5.86	5.75	5.64	5.62
Eje								
0.00 cm	6.61	6.38	6.17	6.00	5.85	5.74	5.64	5.63
Lado derecho del eje								

0.50 cm	6.59	6.36	6.15	5.98	5.83	5.72	5.61	5.53
1.00 cm	6.57	6.34	6.13	5.95	5.81	5.70	5.59	5.54
1.50 cm	6.55	6.32	6.11	5.94	5.79	5.68	5.58	5.53
2.00 cm	6.54	6.31	6.10	5.93	5.78	5.67	5.56	5.53
2.50 cm	6.53	6.30	6.09	5.92	5.77	5.66	5.56	5.53
3.00 cm	6.52	6.29	6.08	5.91	5.76	5.65	5.54	5.52

Nota. Elaboración propia

Figura 90: Curva de remanso a 3.0 cm del lado izquierdo del eje del pilar N° 01



Nota. Elaboración propia

PILAR N° 02

Figura 91: Medición de tirantes pilar N° 02



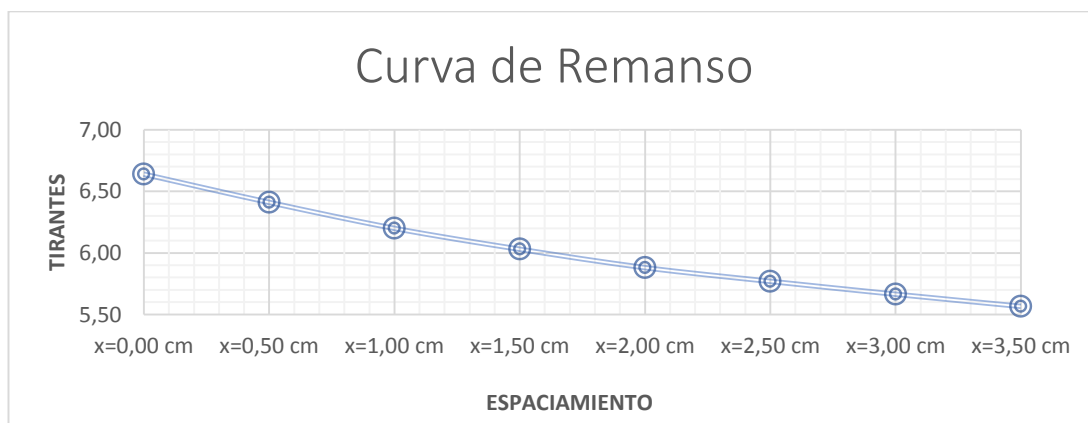
Nota. Elaboración propia

Tabla 145: Resumen de tirantes pilar N° 02

Tirantes promedio (cm) pilar N° 02								
Distancia	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje								
3.00 cm	6.56	6.33	6.12	5.95	5.79	5.69	5.59	5.52
2.50 cm	6.57	6.34	6.13	5.60	5.81	5.70	5.60	5.53
2.00 cm	6.59	6.36	6.15	5.98	5.83	5.72	5.61	5.55
1.50 cm	6.60	6.37	6.16	5.99	5.84	5.73	5.63	5.56
1.00 cm	6.62	6.39	6.18	6.01	5.86	5.75	5.64	5.57
0.50 cm	6.63	6.40	6.19	6.02	5.87	5.76	5.66	5.59
Eje								
0.00 cm	6.64	6.41	6.20	6.03	5.88	5.77	5.67	5.57
Lado derecho del eje								
0.50 cm	6.61	6.38	6.17	6.00	5.85	5.74	5.63	5.57
1.00 cm	6.60	6.37	6.16	5.99	5.83	5.73	5.62	5.55
1.50 cm	6.58	6.35	6.14	5.97	5.82	5.71	5.61	5.54
2.00 cm	6.57	6.34	6.13	5.96	5.81	5.70	5.60	5.52
2.50 cm	6.56	6.33	6.12	5.95	5.80	5.69	5.59	5.52
3.00 cm	6.54	6.31	6.10	5.93	5.78	5.67	5.57	5.50

Nota. Elaboración propia

Figura 92: Curva de remanso al eje del pilar N° 02



Nota. Elaboración propia

4.7.3. Con 01 Pilar (Modelo Físico)

Se va realizar la prueba de hipótesis en el modelo físico para verificar la influencia de los pilares en el remanso hidráulico del río ichu, con los caudales ya calibrados de acuerdo a el perímetro mojado del modelo prototipo (puente tablachaca).

El modelo físico representa a escala el puente tablachaca, se va utilizar 01 pilar con un volumen de 674.84 cm^3 , instalados en el modelo físico de manera equidistante, los pilares que se van a utilizar, son bloques de madera tallada e impermeabilizada.

PILAR N° 01

Figura 93: Medición de tirantes pilar N° 01



Nota. Elaboración propia

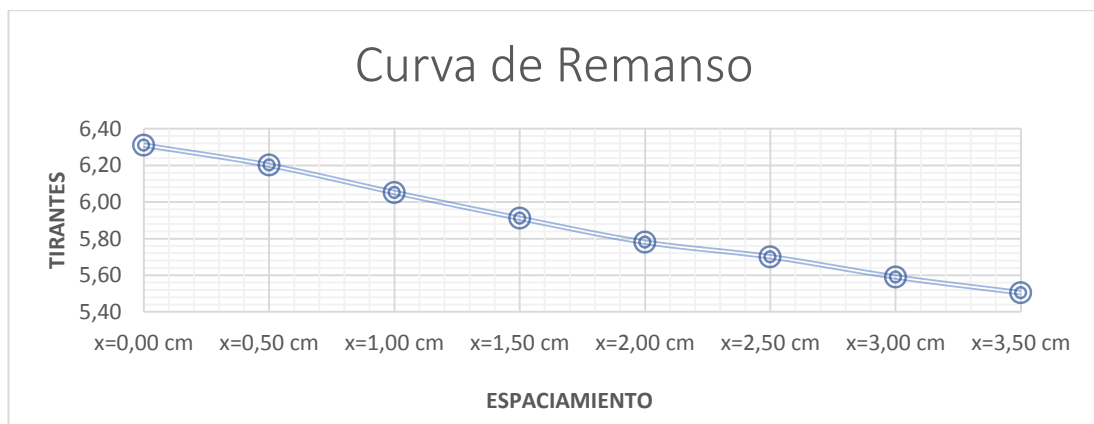
Tabla 146: Resumen de tirantes pilar N° 01

Tirantes promedio (cm) pilar N° 01								
Distancia	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje								
3.00 cm	6.29	6.20	6.05	5.91	5.78	5.70	5.59	5.50
2.50 cm	6.32	6.21	6.06	5.92	5.79	5.71	5.60	5.51
2.00 cm	6.33	6.22	6.07	5.93	5.80	5.72	5.61	5.52
1.50 cm	6.34	6.23	6.08	5.94	5.81	5.73	5.62	5.53
1.00 cm	6.35	6.24	6.09	5.95	5.82	5.74	5.63	5.54
0.50 cm	6.36	6.25	6.10	5.96	5.83	5.75	5.64	5.55
Eje								
0.00 cm	6.37	6.26	6.11	5.97	5.84	5.76	5.65	5.56
Lado derecho del eje								

0.50 cm	6.33	6.22	6.07	5.93	5.80	5.72	5.61	5.52
1.00 cm	6.32	6.21	6.06	5.92	5.79	5.71	5.60	5.51
1.50 cm	6.31	6.20	6.05	5.91	5.78	5.70	5.59	5.50
2.00 cm	6.30	6.19	6.04	5.90	5.77	5.69	5.58	5.49
2.50 cm	6.29	6.18	6.03	5.89	5.76	5.68	5.57	5.48
3.00 cm	6.28	6.17	6.02	5.88	5.75	5.67	5.56	5.47

Nota. Elaboración propia

Figura 94: Curva de remanso a 1.5 cm del lado derecho del eje del pilar N° 01



Nota. Elaboración propia

4.7.4. Sin Pilares (Modelo Físico)

Se va realizar la prueba de hipótesis en el modelo físico para verificar la influencia de los pilares en el remanso hidráulico del río ichu, con los caudales ya calibrados de acuerdo a el perímetro mojado del modelo prototipo (puente tablachaca).

El modelo físico representa a escala el puente tablachaca, no se va llegar a instalar ningún pilar en el modelo físico para observar, medir y cuantificar los tirantes hidráulicos.

Figura 95: Medición de tirantes sin pilares



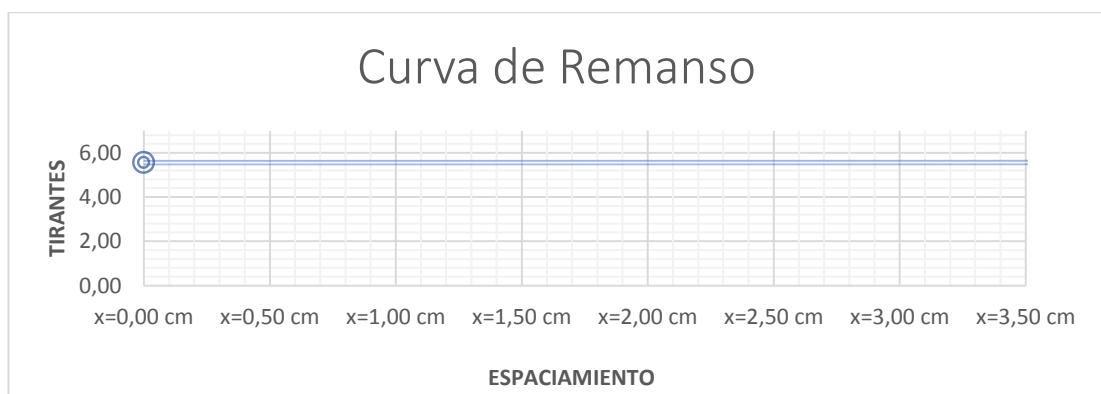
Nota. Elaboración propia

Tabla 147: Resumen de tirantes sin pilares

N°	Caudal (m ³ /s)	Tirantes promedio (cm)										
		x=0.0 0 cm	x=10. 00 cm	x=20. 00 cm	x=30. 00 cm	x=40. 00 cm	x=50. 00 cm	x=60. 00 cm	x=70. 00 cm	x=80. 00 cm	x=90. 00 cm	x=100. 00 cm
01	0.006	5.56	5.57	5.57	5.56	5.56	5.57	5.57	5.56	5.56	5.55	5.56

Nota. Elaboración propia

Figura 96: Sección del río, sin pilares



Nota. Elaboración propia

4.8. Pruebas del Modelo Numérico con Diferentes Casos (Prueba de Hipótesis)

El modelo numérico en el Software para la Dinámica Computacional de Fluidos (OpenFoam), ya se encuentra calibrado al modelo físico, ahora se va realizar la contrastación de los datos obtenidos en el modelo físico con el software OpenFoam, utilizando las ecuaciones de Navier Stokes y el solver tipo RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes); para así obtener los tirantes formados por el caudal de agua (6ts./seg) a distancias ya propuestas en las hojas cálculo, que sirvieron para recolectar los datos del modelo físico.

En el Software OpenFoam se utiliza y se configura la opción de Plot Over Line, que a una escala logarítmica me arroja en gráficos los niveles que alcanza el agua (tirantes), de acuerdo a el caudal de agua ingresado, luego esos datos son anotados en una hoja de cálculo para compararlos con los datos capturados del modelo físico.

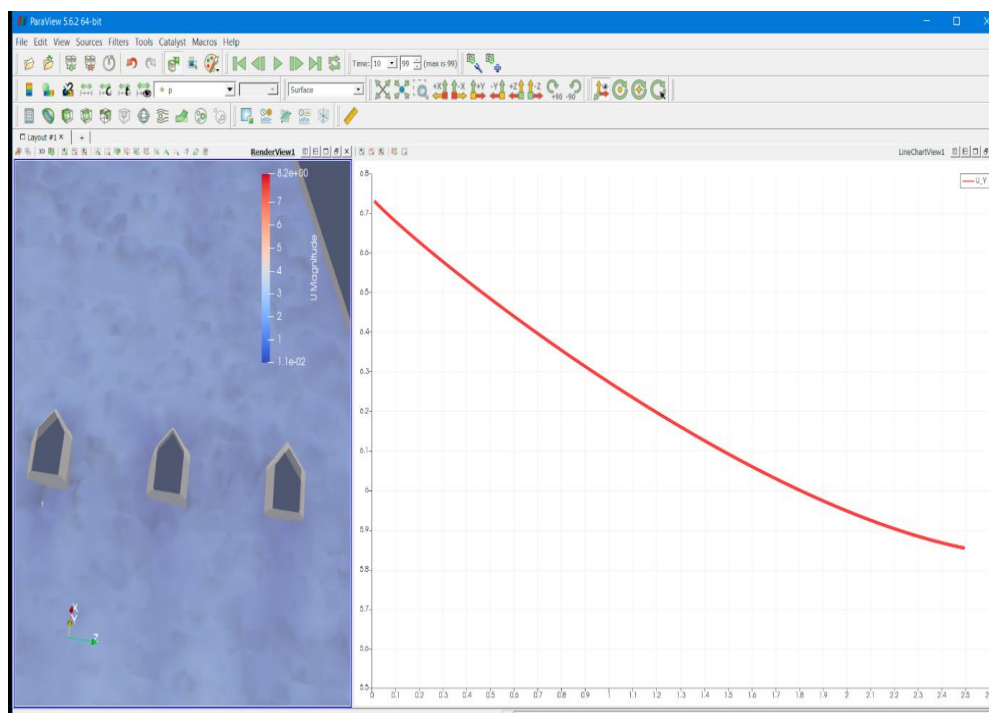
4.8.1. Con 03 Pilares (Modelo Numérico)

Tabla 148: Datos Obtenidos del Software OpenFoam, Simulado con 03 Pilares, Pilar N° 01

Distancia	Tirantes (cm) pilar N° 01							
	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje								
3.00 cm	6.69	6.56	6.38	6.24	6.10	6.04	6.00	5.96
2.50 cm	6.70	6.63	6.44	6.25	6.23	6.04	6.00	5.96
2.00 cm	6.71	6.64	6.43	6.26	6.13	6.07	6.00	5.96
1.50 cm	6.72	6.65	6.44	6.26	6.11	6.04	6.00	5.95
1.00 cm	6.73	6.50	6.28	6.11	5.96	5.85	5.80	5.77
Eje								
0.50 cm	6.74	6.50	6.30	6.12	5.98	5.86	5.80	5.78
Lado derecho del eje								
0.00 cm	6.72	6.50	6.28	6.10	5.95	5.85	5.77	5.76
0.50 cm	5.69	5.65	5.62	5.60	5.57	5.55	5.54	5.52
1.00 cm	5.68	5.66	5.64	5.62	5.61	5.60	5.58	5.54
1.50 cm	5.67	5.65	5.64	5.62	5.61	5.60	5.56	5.53
2.00 cm	5.64	5.62	5.60	5.58	5.56	5.54	5.53	5.50
2.50 cm	5.62	5.60	5.58	5.56	5.55	5.53	5.52	5.49
3.00 cm	5.61	5.59	5.57	5.55	5.53	5.51	5.50	5.47

Nota. Elaboración propia

Figura 97: Simulado con 03 Pilares, Generado al Eje del Pilar N° 01



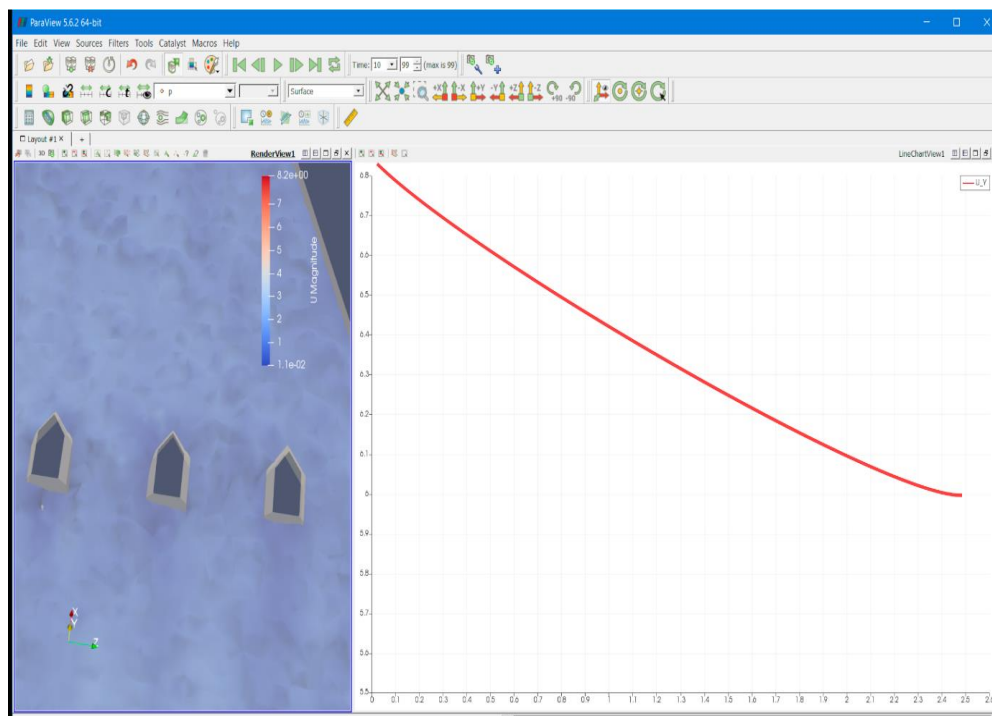
Nota. Elaboración propia

Tabla 149: Datos Obtenidos del Software OpenFoam, Simulado con 03 Pilares, Pilar N° 02

Distancia	Tirantes (cm) pilar N° 02							
	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje								
3.00 cm	6.75	6.52	6.30	6.15	6.00	5.90	5.80	5.78
2.50 cm	6.77	6.55	6.35	5.80	6.00	5.90	5.81	5.80
2.00 cm	6.79	6.55	6.35	6.00	6.00	5.90	5.83	5.82
1.50 cm	6.81	6.58	6.35	6.20	6.05	5.95	5.85	5.84
1.00 cm	6.83	6.60	6.40	6.22	6.05	5.95	5.87	5.86
0.50 cm	6.85	6.60	6.40	6.25	6.10	6.00	5.90	5.88
Eje								
0.00 cm	6.84	6.60	6.40	6.25	6.08	5.95	5.88	5.87
Lado derecho del eje								
0.50 cm	5.66	5.64	5.62	5.61	5.60	5.59	5.56	5.54
1.00 cm	5.64	5.62	5.60	5.59	5.57	5.57	5.55	5.52
1.50 cm	5.62	5.60	5.58	5.57	5.56	5.55	5.52	5.50
2.00 cm	5.61	5.59	5.57	5.56	5.55	5.54	5.52	5.49
2.50 cm	5.60	5.58	5.57	5.55	5.54	5.53	5.51	5.48
3.00 cm	5.59	5.57	5.55	5.54	5.53	5.52	5.50	5.48

Nota. Elaboración propia

Figura 98: Simulado con 03 Pilares, Generado a 0.5 cm del Lado Izquierdo del Eje del Pilar N° 02



Nota. Elaboración propia

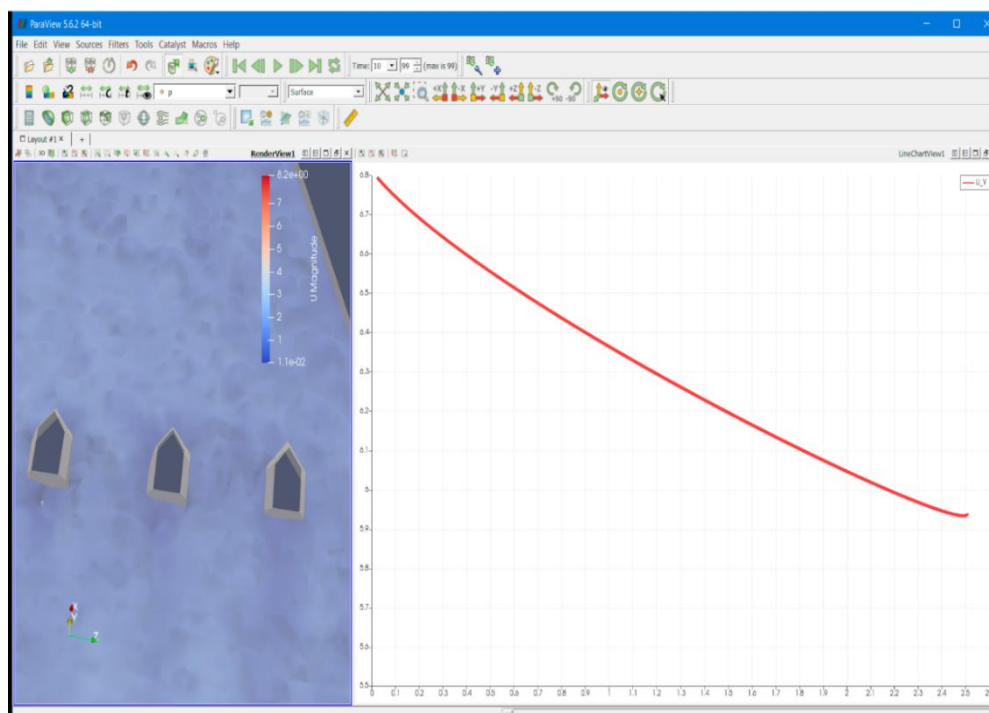
Tabla 150: Datos Obtenidos del Software OpenFoam, Simulado con 03 Pilares, Pilar N° 03

Distancia	Tirantes (cm) pilar N° 03							
	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje								
3.00 cm	6.70	6.50	6.30	6.10	5.95	5.85	5.75	5.74
2.50 cm	6.73	6.50	6.30	6.12	5.97	5.85	5.78	5.76
2.00 cm	6.75	6.52	6.30	6.15	6.00	5.88	5.80	5.78
1.50 cm	6.77	6.55	6.33	6.15	6.00	5.90	5.82	5.80
1.00 cm	6.79	6.55	6.35	6.18	6.00	5.92	5.85	5.82
0.50 cm	6.80	6.58	6.35	6.20	6.05	5.95	5.85	5.84
Eje								
0.00 cm	6.83	6.60	6.40	6.20	6.05	5.95	5.88	5.87
Lado derecho del eje								
0.50 cm	6.80	6.55	6.35	6.20	6.05	5.95	5.85	5.83
1.00 cm	6.78	6.55	6.35	6.15	6.00	5.90	5.83	5.81
1.50 cm	6.76	6.53	6.32	6.15	6.00	5.88	5.80	5.79
2.00 cm	6.74	6.50	6.30	6.12	6.00	5.87	5.80	5.77
2.50 cm	6.73	6.50	6.30	6.10	5.95	5.85	5.77	5.75

3.00 cm 6.70 6.50 6.25 6.10 5.95 5.83 5.75 5.73

Nota. Elaboración propia

Figura 99: Simulado con 03 Pilares, Generado a 0.5 cm del Lado Derecho del Eje del Pilar N° 03



Nota. Elaboración propia

4.8.2. Con 02 Pilares (Modelo Numérico)

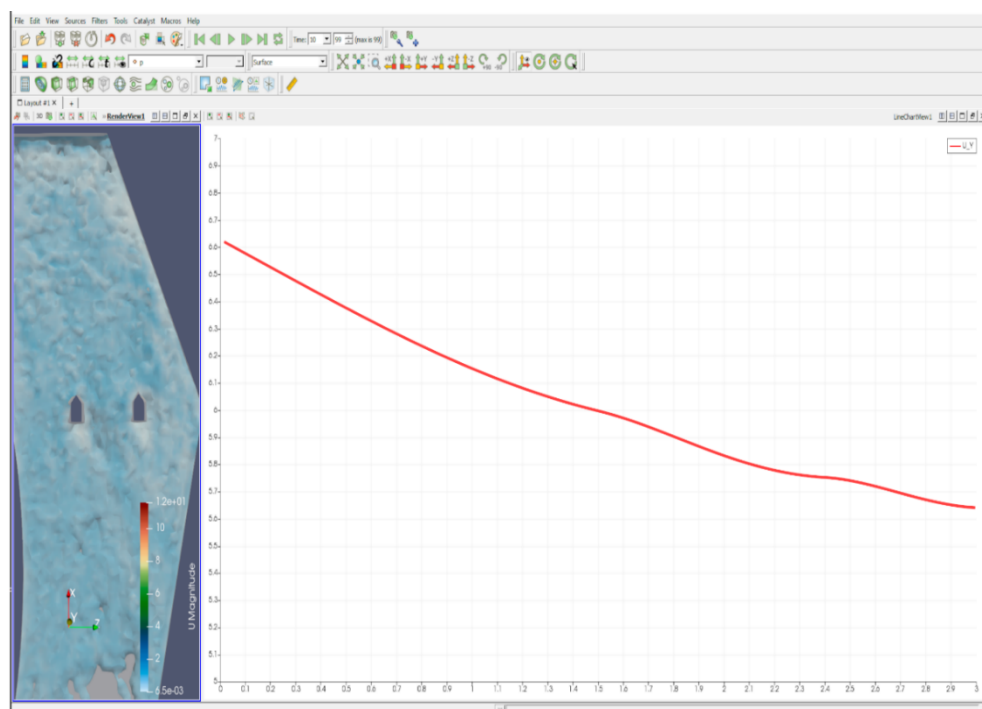
Tabla 151: Datos Obtenidos del Software OpenFoam, Simulado con 02 Pilares, Pilar N° 01

Distancia	Tirantes (cm) pilar N° 01							
	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje								
3.00 cm	6.54	6.30	6.10	5.95	5.80	5.65	5.55	5.54
2.50 cm	6.55	6.30	6.10	5.95	5.80	5.68	5.57	5.55
2.00 cm	6.56	6.35	6.12	5.95	5.80	5.70	5.60	5.56
1.50 cm	6.58	6.35	6.15	5.95	5.80	5.70	5.60	5.57
1.00 cm	6.60	6.35	6.15	6.00	5.85	5.70	5.65	5.61
0.50 cm	6.62	6.40	6.20	6.00	5.85	5.75	5.65	5.62
Eje								
0.00 cm	6.61	6.40	6.15	6.00	5.85	5.75	5.65	6.63
Lado derecho del eje								
0.50 cm	6.59	6.35	6.15	6.00	5.85	5.70	5.60	5.53

1.00 cm	6.57	6.53	6.15	5.95	5.80	5.70	6.00	5.54
1.50 cm	6.55	6.30	6.10	5.95	5.80	5.70	5.60	5.53
2.00 cm	6.54	6.30	6.10	5.95	5.80	5.65	5.55	5.53
2.50 cm	6.53	6.30	6.10	5.95	5.75	5.65	5.55	5.53
3.00 cm	6.52	6.30	6.10	5.90	5.75	5.65	5.55	5.52

Nota. Elaboración propia

Figura 100: Simulado con 02 Pilares, Generado al Eje del Pilar N° 01



Nota. Elaboración propia

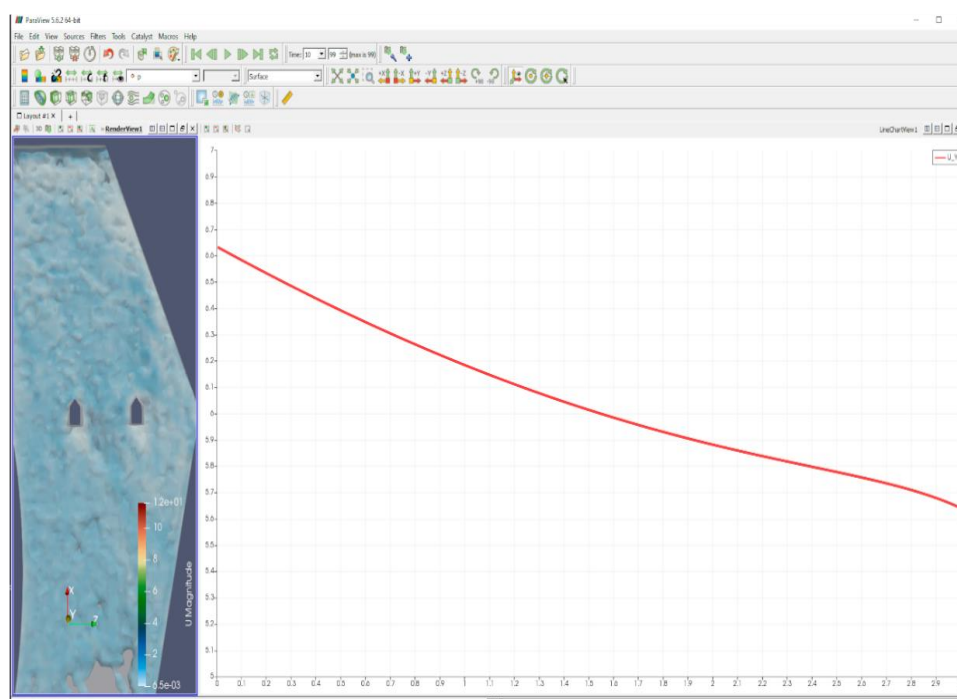
Tabla 152: Datos Obtenidos del Software OpenFoam, Simulado con 02 Pilares, Pilar N° 02

Distancia	Tirantes (cm) pilar N° 02							
	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje								
3.00 cm	6.56	6.30	6.10	5.95	5.78	5.70	5.58	5.52
2.50 cm	6.57	6.34	6.14	5.60	5.80	5.70	5.60	5.53
2.00 cm	6.59	6.35	6.15	5.98	5.82	5.72	5.60	5.55
1.50 cm	6.60	6.36	6.15	6.00	5.83	5.73	5.63	5.56
1.00 cm	6.52	6.38	6.18	6.00	5.85	5.75	5.65	5.57
0.50 cm	6.63	6.40	6.20	6.02	5.88	5.77	5.68	5.59
Eje								
0.00 cm	6.64	6.42	6.21	6.04	5.89	5.78	5.67	5.57

Lado derecho del eje								
0.50 cm	6.61	6.40	6.15	6.00	5.85	5.75	5.65	5.57
1.00 cm	6.60	6.36	6.16	6.00	5.82	5.74	5.60	5.55
1.50 cm	6.58	6.35	6.15	5.96	5.80	5.70	5.60	5.54
2.00 cm	6.57	6.32	6.10	5.95	5.79	5.68	5.56	5.52
2.50 cm	6.56	6.31	6.08	5.93	5.78	5.66	5.55	5.52
3.00 cm	6.54	6.30	6.06	5.90	5.76	5.65	5.55	5.50

Nota. Elaboración propia

Figura 101: Simulado con 02 Pilares, Generado a 0.5 cm del Lado Izquierdo del Eje del Pilar N° 02



Nota. Elaboración propia

4.8.3. Con 01 Pilar (Modelo Numérico)

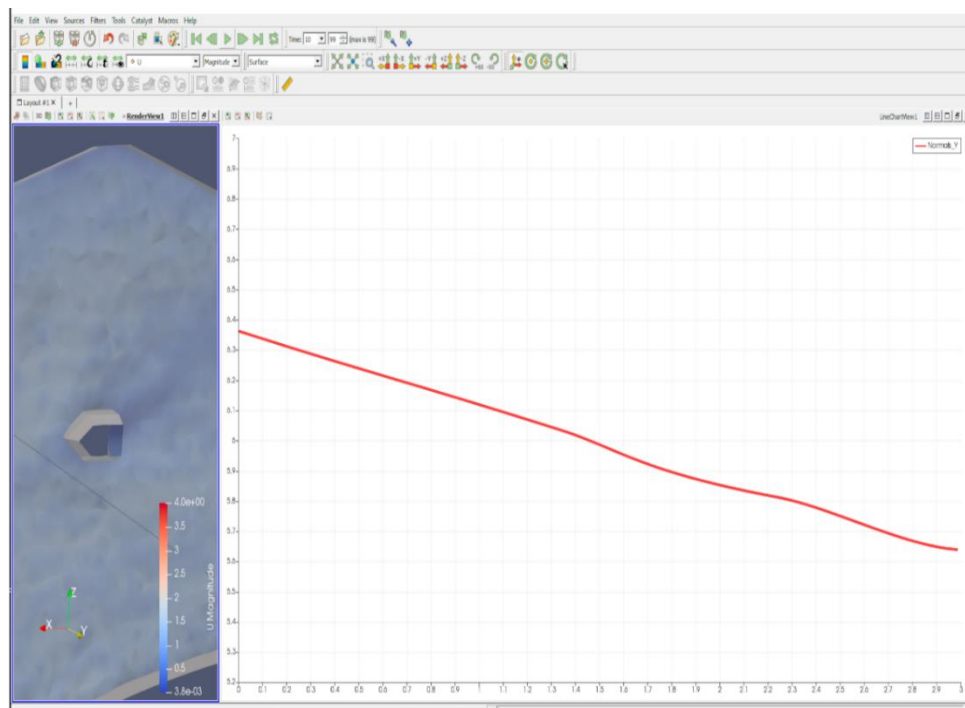
Tabla 153: Datos Obtenidos del Software OpenFoam, Simulado con 01 Pilar, Pilar N° 01

Distancia	Tirantes (cm) pilar N° 01							
	0.00 cm	0.50 cm	1.00 cm	1.50 cm	2.00 cm	2.50 cm	3.00 cm	3.50 cm
Lado izquierdo del eje								
3.00 cm	6.29	6.20	6.05	5.90	5.78	5.70	5.58	5.50
2.50 cm	6.31	6.21	6.06	5.91	5.79	5.71	5.60	5.51
2.00 cm	6.33	5.22	6.07	5.93	5.80	5.72	5.61	5.52

1.50 cm	6.34	6.23	6.08	5.94	5.81	5.73	5.62	5.53
1.00 cm	6.35	6.24	6.09	5.95	5.82	5.74	5.63	5.54
0.50 cm	6.36	6.25	6.10	5.95	5.83	5.75	5.64	5.55
Eje								
0.00 cm	6.37	6.25	6.10	5.96	5.85	5.75	6.65	5.56
Lado derecho del eje								
0.50 cm	6.33	6.21	6.06	5.95	5.80	5.72	5.61	5.52
1.00 cm	6.32	6.20	6.05	5.90	5.79	5.71	5.60	5.51
1.50 cm	6.31	6.19	6.04	5.98	5.76	5.70	5.58	5.50
2.00 cm	6.30	6.18	6.03	5.88	5.75	5.68	5.59	5.49
2.50 cm	6.29	6.17	6.02	5.86	5.74	5.67	5.57	5.48
3.00 cm	6.28	6.16	6.00	5.88	5.75	5.65	5.55	5.47

Nota. Elaboración propia

Figura 102: Simulado con 01 Pilar, Generado al Eje del Pilar N° 01



Nota. Elaboración propia

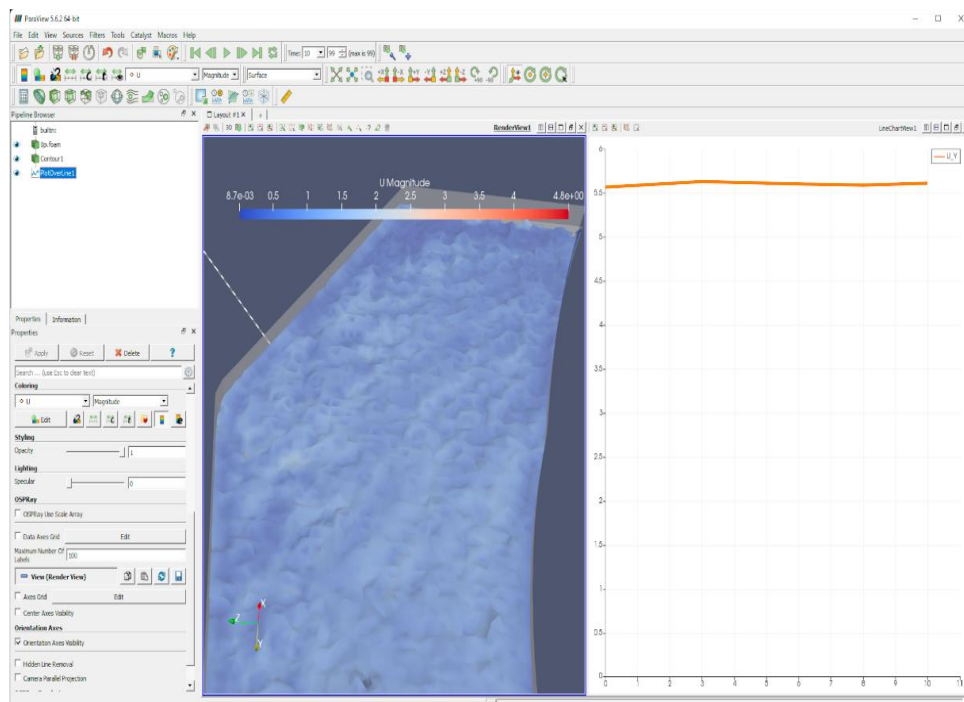
4.8.4. Sin Pilares (Modelo Numérico)

Tabla 154: Datos obtenidos del software OpenFoam, simulado sin pilares

Tirantes OpenFoam, sin pilares											
N°	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Distan cia	0.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00
Tirant e	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
	5.56	5.57	5.57	5.56	5.56	5.57	5.57	5.56	5.56	5.55	5.56

Nota. Elaboración propia

Figura 103: Simulado sin Pilares



Nota. Elaboración propia

4.9. Análisis Comparativo de los Datos del Modelo Físico y del Modelo Computacional

4.9.1. Con 03 Pilares (Modelo Físico y Modelo Numérico)

Tabla 155: Comparación de Datos, Prueba de Hipótesis con 03 Pilares, Pilar N° 01

Dist.	Mod.	0.0 cm	0.5 cm	1.0 cm	1.5 cm	2.0 cm	2.5 cm	3.0 cm	3.5 cm	C.C. Spearman
Lado izquierdo del eje										
3.0 cm	MF	6.69	6.59	6.39	6.24	6.10	6.06	6.00	5.96	0.99922
	MN	6.69	6.56	6.38	6.24	6.10	6.04	6.00	5.96	
2.5 cm	MF	6.70	6.64	6.44	6.26	6.13	6.05	6.00	5.96	0.99093
	MN	6.70	6.63	6.44	6.25	6.23	6.04	6.00	5.96	
2.0 cm	MF	6.71	6.64	6.44	6.27	6.13	6.07	5.99	5.96	0.99973
	MN	6.71	6.64	6.43	6.26	6.13	6.07	6.00	5.96	
1.5 cm	MF	6.72	6.65	6.44	6.27	6.12	6.05	5.99	5.95	0.99972
	MN	6.72	6.65	6.44	6.26	6.11	6.04	6.00	5.95	
1.0 cm	MF	6.73	6.50	6.29	6.12	5.97	5.86	5.80	5.77	0.99980
	MN	6.73	6.50	6.28	6.11	5.96	5.85	5.80	5.77	
0.5 cm	MF	6.74	6.51	6.30	6.13	5.98	5.87	5.80	5.78	0.99985
	MN	6.74	6.50	6.30	6.12	5.98	5.86	5.80	5.78	
Eje										
0.0 cm	MF	6.72	6.49	6.28	6.11	5.96	5.85	5.77	5.76	0.99980
	MN	6.72	6.50	6.28	6.10	5.95	5.85	5.77	5.76	
Lado izquierdo del eje										
0.5 cm	MF	5.69	5.65	5.63	5.61	5.57	5.55	5.54	5.52	0.99922
	MN	5.69	5.65	5.62	5.60	5.57	5.55	5.54	5.52	
1.0 cm	MF	5.68	5.66	5.64	5.62	5.61	5.59	5.57	5.54	0.99946
	MN	5.68	5.66	5.64	5.62	5.61	5.60	5.58	5.54	
1.5 cm	MF	5.67	5.65	5.64	5.62	5.61	5.60	5.57	5.53	0.99965
	MN	5.67	5.65	5.64	5.62	5.61	5.60	5.56	5.53	
2.0 cm	MF	5.64	5.62	5.60	5.59	5.56	5.54	5.53	5.50	0.99928
	MN	5.64	5.62	5.60	5.58	5.56	5.54	5.53	5.50	
2.5 cm	MF	5.62	5.60	5.58	5.57	5.54	5.52	5.51	5.49	0.99920
	MN	5.62	5.60	5.58	5.56	5.55	5.53	5.52	5.49	
3.0 cm	MF	5.61	5.59	5.57	5.56	5.53	5.51	5.50	5.47	0.99976
	MN	5.61	5.59	5.57	5.55	5.53	5.51	5.50	5.47	

Nota. Elaboración propia

Para determinar si existe concordancia entre los datos obtenidos del modelo físico y numérico, se ha visto por conveniente utilizar el coeficiente de correlación de Spearman, ya que contamos con datos que no tienen una distribución normal y

correspondería una prueba estadística no paramétrica. Como se puede observar en la tabla 153, los coeficientes de correlación obtenidos están por encima de 0.99, lo cual indica una correlación positiva, es decir, los datos son concordantes.

Tabla 156: Comparación de Datos, Prueba de Hipótesis con 03 Pilares, Pilar N° 02

Dist.	Mod.	0.0 cm	0.5 cm	1.0 cm	1.5 cm	2.0 cm	2.5 cm	3.0 cm	3.5 cm	C.C. Spearman
Lado izquierdo del eje										
3.0 cm	MF	6.75	6.52	6.31	6.14	5.99	5.88	5.79	5.78	0.99912
	MN	6.75	6.52	6.30	6.15	6.00	5.90	5.80	5.78	
2.5 cm	MF	6.77	6.54	6.33	5.81	6.01	5.90	5.81	5.80	0.99917
	MN	6.77	6.55	6.35	5.80	6.00	5.90	5.81	5.80	
2.0 cm	MF	6.79	6.56	6.35	6.18	6.03	5.92	5.83	5.82	0.99936
	MN	6.79	6.55	6.35	6.00	6.00	5.90	5.83	5.82	
1.5 cm	MF	6.81	6.58	6.37	6.20	6.05	5.94	5.85	5.84	0.99981
	MN	6.81	6.58	6.35	6.20	6.05	5.95	5.85	5.84	
1.0 cm	MF	6.83	6.60	6.39	6.22	6.07	5.96	5.87	5.86	0.99980
	MN	6.83	6.60	6.40	6.22	6.05	5.95	5.87	5.86	
0.5 cm	MF	6.85	6.62	6.41	6.24	6.09	5.98	5.89	5.88	0.99985
	MN	6.85	6.60	6.40	6.25	6.10	6.00	5.90	5.88	
Eje										
0.0 cm	MF	6.84	6.61	6.40	6.23	6.08	5.97	5.88	5.87	0.99946
	MN	6.84	6.60	6.40	6.25	6.08	5.95	5.88	5.87	
Lado derecho del eje										
0.5 cm	MF	5.66	5.64	5.62	5.61	5.60	5.59	5.56	5.54	0.99922
	MN	5.66	5.64	5.62	5.61	5.60	5.59	5.56	5.54	
1.0 cm	MF	5.64	5.62	5.60	5.59	5.57	5.57	5.55	5.52	0.99946
	MN	5.64	5.62	5.60	5.59	5.57	5.57	5.55	5.52	
1.5 cm	MF	5.62	5.60	5.58	5.57	5.56	5.55	5.53	5.50	0.99965
	MN	5.62	5.60	5.58	5.57	5.56	5.55	5.52	5.50	
2.0 cm	MF	5.61	5.59	5.57	5.55	5.55	5.54	5.52	5.49	0.99978
	MN	5.61	5.59	5.57	5.56	5.55	5.54	5.52	5.49	
2.5 cm	MF	5.60	5.58	5.57	5.55	5.54	5.53	5.51	5.48	0.99961
	MN	5.60	5.58	5.57	5.55	5.54	5.53	5.51	5.48	
3.0 cm	MF	5.59	5.57	5.56	5.54	5.53	5.52	5.50	5.48	0.99965
	MN	5.59	5.57	5.55	5.54	5.53	5.52	5.50	5.48	

Nota. Elaboración propia

Para determinar si existe concordancia entre los datos obtenidos del modelo físico y numérico, se ha visto por conveniente utilizar el coeficiente de correlación de Spearman, ya que contamos con datos que no tienen una distribución normal y

correspondería una prueba estadística no paramétrica. Como se puede observar en la tabla 154, los coeficientes de correlación obtenidos están por encima de 0.99, lo cual indica una correlación positiva, es decir, los datos son concordantes.

Tabla 157: Comparación de Datos, Prueba de Hipótesis con 03 Pilares, Pilar N° 03

Dist.	Mod.	0.0 cm	0.5 cm	1.0 cm	1.5 cm	2.0 cm	2.5 cm	3.0 cm	3.5 cm	C.C. Spearman
Lado izquierdo del eje										
3.0 cm	MF	6.71	6.48	6.27	6.10	5.95	5.84	5.76	5.74	0.99936
	MN	6.70	6.50	6.30	6.10	5.95	5.85	5.75	5.74	
2.5 cm	MF	6.73	6.50	6.29	6.12	5.97	5.86	5.78	5.76	0.99923
	MN	6.73	6.50	6.30	6.12	5.97	5.85	5.78	5.76	
2.0 cm	MF	6.75	6.52	6.31	6.14	5.99	5.88	5.80	5.78	0.99976
	MN	6.75	6.52	6.30	6.15	6.00	5.88	5.80	5.78	
1.5 cm	MF	6.77	6.54	6.33	6.16	6.01	5.90	5.82	5.80	0.99917
	MN	6.77	6.55	6.33	6.15	6.00	5.90	5.82	5.80	
1.0 cm	MF	6.79	6.56	6.35	6.18	6.03	5.92	5.84	5.82	0.99980
	MN	6.79	6.55	6.35	6.18	6.00	5.92	5.85	5.82	
0.5 cm	MF	6.80	6.58	6.37	6.20	6.05	5.94	5.86	5.84	0.99985
	MN	6.80	6.58	6.35	6.20	6.05	5.95	5.85	5.84	
Eje										
0.0 cm	MF	6.83	6.60	6.39	6.22	6.07	5.96	5.88	5.87	0.99916
	MN	6.83	6.60	6.40	6.20	6.05	5.95	5.88	5.87	
Lado derecho del eje										
0.5 cm	MF	6.80	6.57	6.36	6.19	6.04	5.93	5.85	5.83	0.99922
	MN	6.80	6.55	6.35	6.20	6.05	5.95	5.85	5.83	
1.0 cm	MF	6.78	6.55	6.34	6.17	6.02	5.91	5.83	5.81	0.99946
	MN	6.78	6.55	6.35	6.15	6.00	5.90	5.83	5.81	
1.5 cm	MF	6.76	6.53	6.32	6.15	6.00	5.89	5.81	5.79	0.99992
	MN	6.76	6.53	6.32	6.15	6.00	5.88	5.80	5.79	
2.0 cm	MF	6.74	6.51	6.30	6.13	5.98	5.87	5.79	5.77	0.99928
	MN	6.74	6.50	6.30	6.12	6.00	5.87	5.80	5.77	
2.5 cm	MF	6.73	6.49	6.29	6.11	5.96	5.85	5.77	5.75	0.99916
	MN	6.73	6.50	6.30	6.10	5.95	5.85	5.77	5.75	
3.0 cm	MF	6.70	6.47	6.26	6.09	5.94	5.83	5.75	5.73	0.99976
	MN	6.70	6.50	6.25	6.10	5.95	5.83	5.75	5.73	

Nota. Elaboración propia

Para determinar si existe concordancia entre los datos obtenidos del modelo físico y numérico, se ha visto por conveniente utilizar el coeficiente de correlación de Spearman, ya que contamos con datos que no tienen una distribución normal y

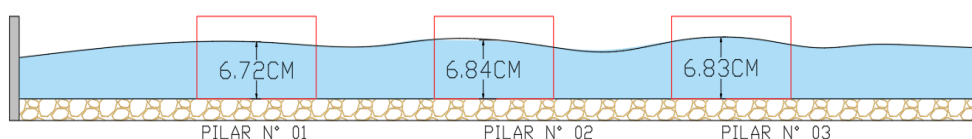
correspondería una prueba estadística no paramétrica. Como se puede observar en la tabla 155, los coeficientes de correlación obtenidos están por encima de 0.99, lo cual indica una correlación positiva, es decir, los datos son concordantes.

Tabla 158: Diferencia de tirantes, 03 pilares

Datos	Pilar N° 01	Pilar N° 02	Pilar N° 03
Volumen	674.84	674.84	674.84
Tirante Inicial (Yi)	5.5	5.5	5.5
Tirante Final (Yf)	6.72	6.84	6.83
Incremento en escala (cm)	1.22	1.34	1.33
Incremento (%)	18.15%	19.59%	19.47%
Incremento de tirante en Prototipo (cm)	48.80 cm	53.60 cm	53.20 cm

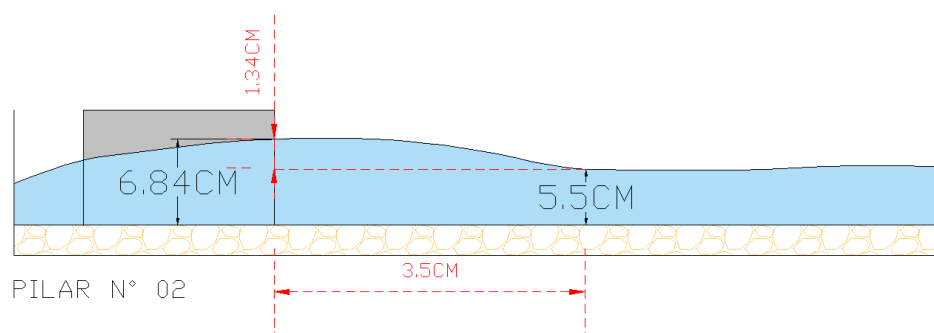
Nota. Elaboración propia

Figura 104: Tirantes máximos (sección transversal, 03 pilares)



Nota. Elaboración propia

Figura 105: Tirante máximo (perfil longitudinal, 03 pilares)



Nota. Elaboración propia

Esta imagen representa el tirante máximo de 6.84 cm, que se viene incrementando gradualmente 3.65 cm delante del eje del pilar, desde una altura de tirante de 5.5 cm, a escala real esta diferencia de tirantes (tirante inicial y tirante final) debe de representar 19.59% de incremento máximo en el tirante hidráulico.

4.9.2. Con 02 Pilares (Modelo Físico y Modelo Numérico)

Tabla 159: Comparación de Datos, Prueba de Hipótesis con 02 Pilares, Pilar N° 01

Dist.	Mod.	0.0 cm	0.5 cm	1.0 cm	1.5 cm	2.0 cm	2.5 cm	3.0 cm	3.5 cm	C.C. Spearman
Lado izquierdo del eje										
3.0 cm	MF	6.54	6.31	6.10	5.93	5.78	5.67	5.57	5.54	0.99932
	MN	6.54	6.30	6.10	5.95	5.80	5.65	5.55	5.54	
2.5 cm	MF	6.55	6.32	6.11	5.94	5.79	5.68	5.57	5.55	0.99927
	MN	6.55	6.30	6.10	5.95	5.80	5.68	5.57	5.55	
2.0 cm	MF	6.56	6.33	6.12	5.95	5.80	5.69	5.59	5.56	0.99992
	MN	6.56	6.35	6.12	5.95	5.80	5.70	5.60	5.56	
1.5 cm	MF	6.58	6.35	6.14	5.97	5.82	5.71	5.60	5.57	0.99953
	MN	6.58	6.35	6.15	5.95	5.80	5.70	5.60	5.57	
1.0 cm	MF	6.60	6.37	6.16	5.99	5.84	5.73	5.63	5.61	0.99953
	MN	6.60	6.35	6.15	6.00	5.85	5.70	5.65	5.61	
0.5 cm	MF	6.62	6.39	6.18	6.01	5.86	5.75	5.64	5.62	0.99985
	MN	6.62	6.40	6.20	6.00	5.85	5.75	5.65	5.62	
Eje										
0.0 cm	MF	6.61	6.38	6.17	6.00	5.85	5.74	5.64	5.63	0.99980
	MN	6.61	6.40	6.15	6.00	5.85	5.75	5.65	6.63	
Lado derecho el eje										
0.5 cm	MF	6.59	6.36	6.15	5.98	5.83	5.72	5.61	5.53	0.99946
	MN	6.59	6.35	6.15	6.00	5.85	5.70	5.60	5.53	
1.0 cm	MF	6.57	6.34	6.13	5.95	5.81	5.70	5.59	5.54	0.99932
	MN	6.57	6.53	6.15	5.95	5.80	5.70	6.00	5.54	
1.5 cm	MF	6.55	6.32	6.11	5.94	5.79	5.68	5.58	5.53	0.99912
	MN	6.55	6.30	6.10	5.95	5.80	5.70	5.60	5.53	
2.0 cm	MF	6.54	6.31	6.10	5.93	5.78	5.67	5.56	5.53	0.99933
	MN	6.54	6.30	6.10	5.95	5.80	5.65	5.55	5.53	
2.5 cm	MF	6.53	6.30	6.09	5.92	5.77	5.66	5.56	5.53	0.99922
	MN	6.53	6.30	6.10	5.95	5.75	5.65	5.55	5.53	
3.0 cm	MF	6.52	6.29	6.08	5.91	5.76	5.65	5.54	5.52	0.99943
	MN	6.52	6.30	6.10	5.90	5.75	5.65	5.55	5.52	

Nota. Elaboración propia

Para determinar si existe concordancia entre los datos obtenidos del modelo físico y numérico, se ha visto por conveniente utilizar el coeficiente de correlación de Spearman, ya que contamos con datos que no tienen una distribución normal y correspondería una prueba estadística no paramétrica. Como se puede observar en la tabla 157, los coeficientes de correlación obtenidos están por encima de 0.99, lo cual indica una correlación positiva, es decir, los datos son concordantes.

Tabla 160: Comparación de Datos, Prueba de Hipótesis con 02 Pilares, Pilar N° 02

Dist.	Mod.	0.0 cm	0.5 cm	1.0 cm	1.5 cm	2.0 cm	2.5 cm	3.0 cm	3.5 cm	C.C. Spearman
Lado izquierdo del eje										
3.00 cm	MF	6.56	6.33	6.12	5.95	5.79	5.69	5.59	5.52	0.99922
	MN	6.56	6.30	6.10	5.95	5.78	5.70	5.58	5.52	
2.50 cm	MF	6.57	6.34	6.13	5.60	5.81	5.70	5.60	5.53	0.99954
	MN	6.57	6.34	6.14	5.60	5.80	5.70	5.60	5.53	
2.00 cm	MF	6.59	6.36	6.15	5.98	5.83	5.72	5.61	5.55	0.99963
	MN	6.59	6.35	6.15	5.98	5.82	5.72	5.60	5.55	
1.50 cm	MF	6.60	6.37	6.16	5.99	5.84	5.73	5.63	5.56	0.99972
	MN	6.60	6.36	6.15	6.00	5.83	5.73	5.63	5.56	
1.00 cm	MF	6.62	6.39	6.18	6.01	5.86	5.75	5.64	5.57	0.99980
	MN	6.52	6.38	6.18	6.00	5.85	5.75	5.65	5.57	
0.50 cm	MF	6.63	6.40	6.19	6.02	5.87	5.76	5.66	5.59	0.99985
	MN	6.63	6.40	6.20	6.02	5.88	5.77	5.68	5.59	
Eje										
0.00 cm	MF	6.64	6.41	6.20	6.03	5.88	5.77	5.67	5.57	0.99956
	MN	6.64	6.42	6.21	6.04	5.89	5.78	5.67	5.57	
Lado derecho del eje										
0.50 cm	MF	6.61	6.38	6.17	6.00	5.85	5.74	5.63	5.57	0.99922
	MN	6.61	6.40	6.15	6.00	5.85	5.75	5.65	5.57	
1.00 cm	MF	6.60	6.37	6.16	5.99	5.83	5.73	5.62	5.55	0.99946
	MN	6.60	6.36	6.16	6.00	5.82	5.74	5.60	5.55	
1.50 cm	MF	6.58	6.35	6.14	5.97	5.82	5.71	5.61	5.54	0.99934
	MN	6.58	6.35	6.15	5.96	5.80	5.70	5.60	5.54	
2.00 cm	MF	6.57	6.34	6.13	5.96	5.81	5.70	5.60	5.52	0.99987
	MN	6.57	6.32	6.10	5.95	5.79	5.68	5.56	5.52	
2.50 cm	MF	6.56	6.33	6.12	5.95	5.80	5.69	5.59	5.52	0.99920
	MN	6.56	6.31	6.08	5.93	5.78	5.66	5.55	5.52	
3.00 cm	MF	6.54	6.31	6.10	5.93	5.78	5.67	5.57	5.50	0.99956
	MN	6.54	6.30	6.06	5.90	5.76	5.65	5.55	5.50	

Nota. Elaboración propia

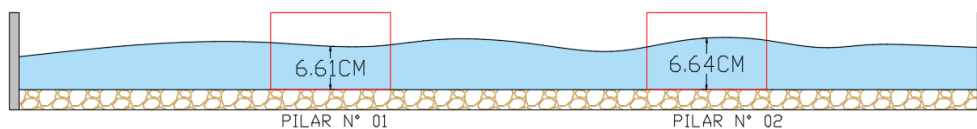
Para determinar si existe concordancia entre los datos obtenidos del modelo físico y numérico, se ha visto por conveniente utilizar el coeficiente de correlación de Spearman, ya que contamos con datos que no tienen una distribución normal y correspondería una prueba estadística no paramétrica. Como se puede observar en la tabla 158, los coeficientes de correlación obtenidos están por encima de 0.99, lo cual indica una correlación positiva, es decir, los datos son concordantes.

Tabla 161: Diferencia de tirantes, 02 pilares

Datos	Pilar N° 01	Pilar N° 02
Volumen	674.84	674.84
Tirante Inicial (Yi)	5.5	5.5
Tirante Final (Yf)	6.61	6.64
Incremento en escala (cm)	1.11	1.14
Incremento (%)	16.79%	17.17%
Incremento de tirante en Prototipo (cm)	44.40 cm	45.60 cm

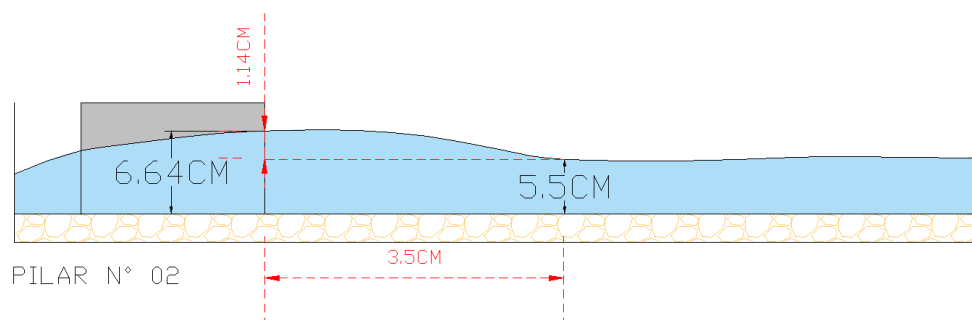
Nota. Elaboración propia

Figura 106: Tirantes máximos (sección transversal, 02 pilares)



Nota. Elaboración propia

Figura 107: Tirantes máximos (perfil longitudinal, 02 pilares)



Nota. Elaboración propia

Esta imagen representa el tirante máximo de 6.64 cm, que se viene incrementando gradualmente 3.65 cm delante del eje del pilar aproximadamente, desde una altura de tirante de 5.5 cm, a escala real esta diferencia de tirantes (tirante inicial y tirante final) debe de representar 17.17% de incremento máximo en el tirante hidráulico

4.9.3. Con 01 Pilar (Modelo Físico y Modelo Numérico)

Tabla 162: Comparación de Datos, Prueba de Hipótesis con 01 Pilar, Pilar N° 01

Dist.	Mod.	0.0 cm	0.5 cm	1.0 cm	1.5 cm	2.0 cm	2.5 cm	3.0 cm	3.5 cm	C.C. Spearman
Lado izquierdo del eje										
3.0 cm	MF	6.29	6.20	6.05	5.91	5.78	5.70	5.59	5.50	0.99932
	MN	6.29	6.20	6.05	5.90	5.78	5.70	5.58	5.50	
2.5 cm	MF	6.32	6.21	6.06	5.92	5.79	5.71	5.60	5.51	0.99965
	MN	6.31	6.21	6.06	5.91	5.79	5.71	5.60	5.51	
2.0 cm	MF	6.33	6.22	6.07	5.93	5.80	5.72	5.61	5.52	0.99953
	MN	6.33	5.22	6.07	5.93	5.80	5.72	5.61	5.52	
1.5 cm	MF	6.34	6.23	6.08	5.94	5.81	5.73	5.62	5.53	0.99985
	MN	6.34	6.23	6.08	5.94	5.81	5.73	5.62	5.53	
1.0 cm	MF	6.35	6.24	6.09	5.95	5.82	5.74	5.63	5.54	0.99936
	MN	6.35	6.24	6.09	5.95	5.82	5.74	5.63	5.54	
0.5 cm	MF	6.36	6.25	6.10	5.96	5.83	5.75	5.64	5.55	0.99945
	MN	6.36	6.25	6.10	5.95	5.83	5.75	5.64	5.55	
Eje										
0.0 cm	MF	6.37	6.26	6.11	5.97	5.84	5.76	5.65	5.56	0.99963
	MN	6.37	6.25	6.10	5.96	5.85	5.75	6.65	5.56	
Lado derecho del eje										
0.5 cm	MF	6.33	6.22	6.07	5.93	5.80	5.72	5.61	5.52	0.99967
	MN	6.33	6.21	6.06	5.95	5.80	5.72	5.61	5.52	

1.0 cm	MF	6.32	6.21	6.06	5.92	5.79	5.71	5.60	5.51	0.99921
	MN	6.32	6.20	6.05	5.90	5.79	5.71	5.60	5.51	
1.5 cm	MF	6.31	6.20	6.05	5.91	5.78	5.70	5.59	5.50	0.99912
	MN	6.31	6.19	6.04	5.98	5.76	5.70	5.58	5.50	
2.0 cm	MF	6.30	6.19	6.04	5.90	5.77	5.69	5.58	5.49	0.99918
	MN	6.30	6.18	6.03	5.88	5.75	5.68	5.59	5.49	
2.5 cm	MF	6.29	6.18	6.03	5.89	5.76	5.68	5.57	5.48	0.99929
	MN	6.29	6.17	6.02	5.86	5.74	5.67	5.57	5.48	
3.0 cm	MF	6.28	6.17	6.02	5.88	5.75	5.67	5.56	5.47	0.99995
	MN	6.28	6.16	6.00	5.88	5.75	5.65	5.55	5.47	

Nota. Elaboración propia

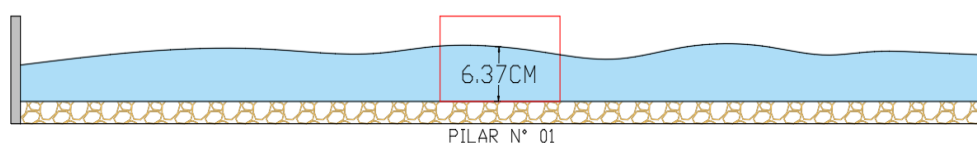
Para determinar si existe concordancia entre los datos obtenidos del modelo físico y numérico, se ha visto por conveniente utilizar el coeficiente de correlación de Spearman, ya que contamos con datos que no tienen una distribución normal y correspondería una prueba estadística no paramétrica. Como se puede observar en la tabla 160, los coeficientes de correlación obtenidos están por encima de 0.99, lo cual indica una correlación positiva, es decir, los datos son concordantes.

Tabla 163: Diferencial de tirantes, 01 pilar

Datos	Pilar N° 01
Volumen	674.84
Tirante Inicial (Yi)	5.5
Tirante Final (Yf)	6.37
Incremento en escala (cm)	0.87
Incremento (%)	13.66%
Incremento de tirante en Prototipo (cm)	34.80 cm

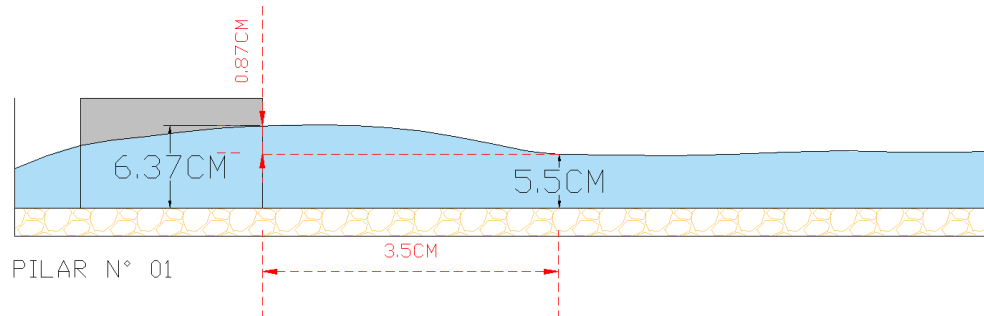
Nota. Elaboración propia

Figura 108: Tirante máximo (sección transversal, 01 pilar)



Nota. Elaboración propia

Figura 109: Tirante máximo (perfil longitudinal, 01 pilar)



Nota. Elaboración propia

Esta imagen representa el tirante máximo de 6.37 cm, que se viene incrementando gradualmente 3.65 cm delante del eje del pilar aproximadamente, desde una altura de tirante de 5.5 cm, a escala real esta diferencia de tirantes (tirante inicial y tirante final) debe de representar 13.66% de incremento máximo en el tirante hidráulico

4.9.4. Sin Pilares (Modelo Físico y Modelo Numérico)

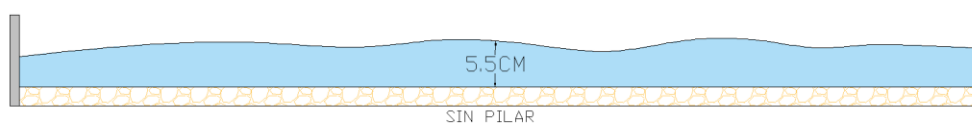
Sin ningún tipo de obstrucción en la dirección de velocidad del caudal del río Ichu, tanto en el modelo físico como en el modelo numérico; solo se puede apreciar y medir los tirantes de agua normales con un caudal equivalente a 6 lts/seg. (en el modelo prototipo significa a $120 \text{ m}^3/\text{seg.}$)

Tabla 164: Comparación de datos, prueba de hipótesis, sin pilares

Datos consolidados, sin pilares			
N°	Distancia	Modelo	
		MF	MN
01	0.00 cm	5.60	5.56
02	10.00 cm	5.62	5.57
03	20.00 cm	5.64	5.57
04	30.00 cm	5.65	5.56
05	40.00 cm	5.65	5.56
06	50.00 cm	5.64	5.57
07	60.00 cm	5.64	5.57
08	70.00 cm	5.62	5.56
09	80.00 cm	5.62	5.56
10	90.00 cm	5.63	5.55
11	100.00 cm	5.60	5.56

Nota. Elaboración propia

Figura 110: Tirantes representativos (Prueba de hipótesis, sin pilares)



Nota. Elaboración propia

Esta imagen representa el tirante máximo de 5.5 cm con un caudal de 6 lt/seg, en la que no se muestra ningún tipo de curva de remanso hidráulico.

CONCLUSIONES

- El trabajo de investigación logró alcanzar el objetivo general, que fue determinar la influencia de los pilares en el remanso hidráulico del río Ichu, para 04 pilares instalados en el modelo físico, se aprecia que el flujo del agua genera una elevación de tirantes, desde un tirante inicial de 5.5 cm hasta tirantes finales de 6.94 cm para el pilar N° 01; 6.95 cm para el pilar N° 02; 6.93 cm para el pilar N° 03 y 5.68 cm para el pilar N° 04, donde existe una variación de tirantes del 20.75%, 20.86%, 20.63% y de 3.17% respectivamente para cada pilar, que en escala real significa un incremento de tirantes 57.6 cm, 58 cm, 57.2 cm y de 7.2 cm; es decir que este incremento gradual de tirantes dibuja las formas del remanso hidráulico.
- Se realizaron pruebas con 01, 02 y 03 pilares, para cada uno de ellos se realizó el cálculo del coeficiente de correlación de Spearman, donde no se ve la dispersión de los datos, y este coeficiente de correlación calculado se encuentra al 99%. A su vez se llegó a determinar que para 03 pilares existe un incremento de tirante al 18.15% para el pilar N° 01, al 19.59% para el pilar N° 02, al 19.47% para el pilar N° 03; este incremento de tirantes también forma las curvas de remanso hidráulico, pero con vectores de tirantes gradualmente variados menores a la simulación de 04 pilares. Con la prueba de hipótesis de 02 pilares existe un incremento de tirante al 16.79% para el pilar N° 01 y al 17.17% para el pilar N° 02; este incremento de tirantes también forma las curvas de remanso hidráulico, con vectores de tirantes gradualmente variados menores a la simulación con 03 pilares. Con la prueba de hipótesis de 01 pilar existe un incremento de tirante al 13.66%; este incremento de tirantes también forma las curvas de remanso hidráulico, con vectores de tirantes gradualmente variados menores a la simulación con 02 pilares. Se puede apreciar, que mientras más pilares instalados en el río Ichu, el incremento de los tirantes es mayor; vale decir que si existe influencia de la cantidad de los pilares en el remanso hidráulico del río Ichu.

RECOMENDACIONES

- Para realizar simulaciones que nos permitan obtener datos de manera constante y con precisión se necesita incrementar la capacidad de agua con la que cuenta los reservorios instalados en el modelo físico, con la capacidad actual con la que cuenta el modelo físico solo se tiene una simulación de 15 segundos aproximadamente, se sugiere construir un reservorio con mayor capacidad (2000.00 galones aproximadamente) e incrementar el caudal de ingreso al reservorio.
- El modelo físico y el modelo numérico en esta sección del río Ichu ya se encuentran calibrados, se recomienda utilizar estos modelos para realizar proyectos de inversión pública para la modificación del prototipo de las subestructuras del puente Tablachaca, ya que pueden ser simuladas en el modelo numérico y ser calibrado con el modelo físico y así poder ver el comportamiento de los parámetros hidrodinámicos del río Ichu, de igual manera se recomienda la implementación de un modelo numérico para la predicción de erosión y socavamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Menter, F. R. (1992). Influencia de los valores de flujo libre en las predicciones del modelo de turbulencia k-omega. *AIAA JOURNAL*, 30(6), 1657–1659.
doi:<https://doi.org/10.2514/3.11115>
- Arteaga Acuña, F. (2017). *Análisis hidráulico de la bocatoma María Auxiliadora del río Quiroz con modelo numérico tridimensional [Tesis para optar el título de ingeniero civil, Universidad de Piura]*. Repositorio institucional PIRHUA.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación, administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (Tercera ed.). Spearman.
- Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo.
- Cisneros Contreras, I. P. (2017). *Estudio en modelo físico de las características del punto de inepción del vertedor escalonado de la presa de almacenamiento Zapotillo [Tesis para optar el grado de maestro en ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México]*. Repositorio Institucional de la UNAM.
- Colegio de Ingenieros del Perú. (1998). Resumen del informe elaborado por el colegio de ingenieros del Perú sobre el fenómeno el niño 97-98. *Colegio de Ingenieros del Perú*.
- Cortés, R., Galán, A., & Díaz, S. (30 de abril de 2019). Modelización numérica 3D de la erosión local a la salida de obras de drenaje transversal. *Ingeniería del agua*, 123-139.
- Durán Vinuesa, L. F. (2017). *Análisis y desarrollo de la simulación termo-hidráulica de flujo multifase en CFD con ANSYS Fluent [Trabajo de fin de grado conducente al título de grado en ingeniería de la energía, Universidad Politécnica de Madrid]*. Archivo digital UPM.
- Echávez Aldape, G. (1996). *Introducción a los modelos hidráulicos de fondo fijo y a la ingeniería experimental*. Ciudad de Mexico.
- Fernández Oro, J. M. (2012). *Técnicas numéricas en ingeniería de fluidos*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Ferziger, J., & Peric, M. (2002). *Computational methods for fluid dynamics* (Tercera ed.). Berlín: Springer.
- Gonzales Castro, A., Oseda Gago, D., Ramírez Rosales, F., & Gave Chagua, J. (2011). *¿Cómo aprender y enseñar investigación científica?* Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.

- Hernandez Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación* (Quinta ed.). Mexico: McGRAW-HILL / Interamericana editores, S.A. de C.V.
- Herrera Paz, A. A. (2004). *Investigación en el modelo hidráulico de la represa de la hidroeléctrica Chimay [Tesis para optar el título de ingeniero civil, Universidad de Piura]*. Repositorio institucional PIRHUA.
- Huiza Soto, M. A., & Ventura Huaman, D. O. (2020). *Estructuras fluviales de concreto para la reducción de socavamiento en el cauce del río Ichu [Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, Universidad Nacional de Huancavelica]*. Repositorio UNH.
- Instituto Nacional de Hidráulica. (2017). Reporte técnico instituto nacional de hidráulica. *Instituto Nacional de Hidráulica*.
- Jaramillo Mejía, P. (2017). *Evaluación del efecto de la geometría de pilares en la socavación del cauce [Tesis para optar el título de ingeniero civil, Universidad de Piura]*. Repositorio institucional PIRHUA.
- Kundu, P., Cohen, I., & Dowling, D. (2012). *Fluid mechanics* (Quinta ed.). Oxford: Elsevier Inc. .
- López Zamora, L., & Muñoz Cobo, J. L. (2004). Estudio de la Turbulencia a través del Modelo k-e, Mediante un Código Tridimensional con Esquemas de Alto Orden. *Información tecnológica*, 15(2), 25-28.
doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642004000200005>
- Martín Vide, J. P. (2003). *Ingeniería de Ríos*. Ciudad de Mexico, Mexico: Alfaomega.
- Martín Vide, J. P., & Dolz Ripollés, J. (enero de 1994). Erosión fluvial y protección en pilas de puente: Modelo reducido del puente nuevo de Mora de Ebro. *Revista de obras públicas*.
- Mateos, C. (2000). La modelación física en las obras hidráulicas. *Ingeniería del agua*.
- Mendoza Cruz, B. (2021). *Movimiento hidráulico con Ansys CFX*. N' Hydro, Lima.
- Miranda, E., Sempértegui Tapia, D., & Chávez, C. (2021). ESTUDIO COMPARATIVO SOBRE MODELOS DE TURBULENCIA EN FLUJO DE REFRIGERANTES CON BAJO GWP EN EL INTERIOR DE MICROCANALES. *INVESTIGACIÓN & DESARROLLO*, 21(1), 79 – 86.
doi:DOI: 10.23881/idupbo.021.1-6i
- Monge Jingo, C. F. (2017). Modelo numérico de un canal de fuerte pendiente con rugosidad variable aplicando el software Ansys CFX y comparación con los resultados obtenidos en el paquete computacional OpenFOAM. *Repositorio*

- digital EPN*. [Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero civil mención hidráulica, Escuela Politécnica Nacional].
- Moukalled, F., Mangani, L., & Darwish, M. (2016). *The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics* (Vol. 113). Nueva York: Springer. doi:DOI 10.1007/978-3-319-16874-6
- Niño Rojas, V. M. (2011). *Metodología de la investigación, diseño y ejecución* (Primera ed.). Bogotá: Ediciones de la U.
- Noblecilla Palomino, L. A. (2019). *Modelación numérica para determinar la orientación de una bifurcación en el tramo B del río Piura [Tesis para optar el título de ingeniero civil, Universidad de Piura]*. Repositorio institucional PIRHUA.
- Ortega Goyeneche, L. X. (2019). *Comparación entre modelos físicos y modelos computacionales para la validación de diseños en obras de centrales hidroeléctricas [Tesis para optar el título de ingeniera civil, Universidad de los Andes]*. Repositorio institucional Séneca .
- Ortiz Aguilera, Y. I., & Gomez Mayorga, Y. C. (2017). *Modelación matemática e hidráulica del flujo en pilares en un canal con sedimentación [Tesis para obtener el título de ingeniera civil, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]*. Repositorio institucional RIUD.
- Potter, M., Wiggert, D., & Ramadan, B. (2016). *Mecánica de fluidos* (Cuarta ed.). Ciudad de Mexico: Cengage Learning Editores, S. A.,.
- Pulcha Espinoza, D. M. (2014). *Modelación matemática bi-dimensional de estructuras hidráulicas, aplicación a modelos físicos de las bocatomas Chao-Virú, Achirana, Atacayán y Batea Comezango [Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, Universidad Nacional de Ingeniería]*. Repositorio UNI.
- Requena Machuca, D. (2018). *Tránsito de avenidas en el cauce natural del río Ichu mediante redes neuronales artificiales [Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, Universidad Nacional de Huancavelica]*. Repositorio UNH.
- Rocha Felices, A. (5 de agosto de 1985). Modelo hidráulicos: realidad y fantasía. *Anales de la Universidad de Chile*.
- Rocha Felices, A. (1998). *Introducción a la Hidráulica fluvial*. Lima: UNI.
- Rocha Felices, A. (2003). Los modelos como herramienta valiosa para el diseño hidráulico. *Investigación en modelos físicos y matemáticos de obras hidráulicas*.

- Rocha Felices, A. (2011). El impacto de el fenómeno del niño en zonas urbanas. *Problemas en el manejo de ríos en áreas urbanas* . Colegio de Ingenieros del Perú - Capítulo de ingeniería civil.
- Rocha Felices, A. (2014). Erosión en pilares y estribos de puente.
- Taipe Huamaní, M. B. (2021). *Ángulo de transición y comportamiento hidráulico de un desarenador mediante modelo numérico y físico [Tesis para optar el grado de ingeniera civil, Universidad Nacional de Huancavelica]*. Repositorio institucional UNH.
- Tam Malaga, J., Vera, G., & Oliveros Ramos, R. (2008). Tipos, métodos y estrategias de investigación científica. *Pensamiento y acción*.
- Toribio Fernández, Q. R., & Toribio Fernández, W. (2021). *Influencia de tipos de perfil de barraje en el resalto hidráulico mediante modelo físico y numérico [Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, Universidad Nacional de Huancavelica]*. Repositorio UNH.
- Ugarte Palacin, F. (2008). *Mecánica de Fluidos II* (Primera ed.). Lima: San Marcos E. I. R. L.
- Versteeg, H., & Malalasekera, W. (2007). *An introduction to computational fluid dynamics*. England: Spearman education Limited.
- Villón Bejar, M. (2007). *Hidráulica de canales* (Segunda ed.). Lima: Editorial Villón.
- White, F. M. (2004). *Mecánica de fluidos*. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España, S. A. U.
- Wilcox, D. (2006). *Turbulence modeling for CDF* (Tercera ed.). California: DCW Industries, Inc.
- Xamán, J., & Gijón, M. (2016). *Dinámica de fluidos computacional para ingenieros*. Bloomington: Palibrio.
- Zikanov, O. (2010). *Essential computational fluid dynamics*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.

Apéndice

Apéndice A: Matriz De Consistencia
TÍTULO: “INFLUENCIA DE LOS PILARES DEL PUENTE TABLACHACA EN EL REMANSO HIDRÁULICO DEL RIO ICHU”

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEORICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p>Problema general</p> <p>¿De qué manera influyen los pilares del puente Tablachaca en el remanso hidráulico del río Ichu?</p> <p>Problemas específicos:</p> <p>¿De qué manera el influye la</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar la influencia de los pilares del puente Tablachaca en el remanso hidráulico del río ichu.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <p>Determinar la influencia de la cantidad de pilares del puente Tablachaca en</p>	<p>Antecedentes</p> <p>A. Internacional</p> <p>Monge (2017). “Modelo numérico de un canal de fuerte pendiente con rugosidad variable aplicando el software ANSYS CFX y comparación con los resultados en el paquete computacional OpenFOAM”, Escuela Politécnica Nacional.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>Los pilares del puente Tablachaca influyen significativamente en el remanso hidráulico del río Ichu.</p> <p>Hipótesis específicas:</p> <p>La cantidad de pilares del puente Tablachaca influye significativamente en el remanso hidráulico</p>	<p>Identificación de Variables:</p> <p>Variable Independiente:</p> <p>Pilares del puente</p> <p>Dimensiones:</p> <p>Cantidad.</p> <p>Variable Dependiente:</p> <p>Remanso</p>	<p>Tipo:</p> <p>Aplicada.</p> <p>Nivel:</p> <p>Explicativa.</p> <p>Diseño:</p> <p>Cuasi Experimental</p> <p>Población y muestra:</p> <p>Población:</p> <p>La población corresponde al cauce del río Ichu, ubicado</p>

cantidad de pilares del puente Tablachaca en el remanso hidráulico del rio Ichu?	el remanso hidráulico del rio ichu.	<p>Cisneros (2017). “Estudio en modelo físico de las características del punto de inepción del vertedor escalonado de la presa de almacenamiento Zapotillo”, Universidad Nacional Autónoma de México.</p> <p>Ortiz & Gomez (2017), “Modelación matemática e hidráulica del flujo en pilares en un canal con sedimentación”, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.</p>	del rio Ichu.	hidráulico Dimensi ones: Curva de remanso hidráulico	en la Ciudad de Huancavelica. Muestra: Tramo longitudinal de 140 m del rio Ichu, 70 m aguas arriba del y 70 m aguas abajo del puente Tablachaca. Muestreo: No probabilístico intencionado. Método de investigación: Científico. 1. PRIMERA FASE
---	-------------------------------------	---	---------------	---	--

		<p>Ortega (2019), “Comparación entre modelos físicos y modelos computaciones para la validación de diseños en obras de centrales hidroeléctricas”, Universidad de los Andes.</p> <p>B. Nacional</p> <p>Herrera (2004), “Investigación en el modelo hidráulico de la represa de la hidroeléctrica Chimay”, Universidad de Piura.</p> <p>Arteaga (2017),</p>			<p>Evaluación, reconocimiento y captura de datos topográficos.</p> <p>2. SEGUNDA FASE</p> <p>Evaluación, reconocimiento y captura de datos de los pilares del puente.</p> <p>3. TERCERA FASE</p> <p>Elaboración del modelo físico del Río Ichu a escala 1/40.</p>
--	--	--	--	--	---

		<p>“Análisis hidráulico de la bocatoma María Auxiliadora del río Quiroz con modelo numérico tridimensional”, Universidad de Piura.</p> <p>Jaramillo (2017), “Evaluación del efecto de la geometría de pilares en la socavación del cauce”, Universidad de Piura.</p> <p>Noblecilla (2019), “Modelación numérica para determinar la orientación de una bifurcación en el Tramo B del Río Piura”,</p>			<p>4. CUARTA FASE</p> <p>Captura de datos del modelo físico.</p> <p>5. QUINTA FASE</p> <p>Calibración de modelos numéricos.</p> <p>6. SEXTA FASE</p> <p>Simulación de en el modelo físico y numérico, así como la comparación de resultados.</p> <p>7. SÉPTIMA FASE</p>
--	--	---	--	--	---

		<p>Universidad de Piura.</p> <p>Local</p> <p>Huiza & Ventura (2020), “Estructuras fluviales de concreto para la reducción de socavamiento en el cauce del río Ichu. Huancavelica, Perú”, Universidad Nacional de Huancavelica.</p> <p>Taipe (2021), “Ángulo de transición y comportamiento hidráulico de un desarenador mediante modelo numérico y</p>			<p>Describir el Remanso Hidráulico.</p>
--	--	--	--	--	---

		<p>físico”, Universidad Nacional de Huancavelica.</p> <p>Toribio & Toribio (2021), “Influencia de tipos de perfil de barraje en el resalto hidráulico mediante modelo físico y numérico”, Universidad Nacional de Huancavelica.</p>			
--	--	--	--	--	--

		<p>Repuello & Sánchez (2022), “Parámetros hidrodinámicos del modelamiento físico y numérico 3d del puente colonial de Ascensión”, Universidad Nacional de Huancavelica.</p>			
--	--	--	--	--	--