

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OBRAS SANITARIAS



SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL FLUJO EN 3D MEDIANTE EL
PROGRAMA SOLIDWORKS.
APLICACIÓN PRÁCTICA: VERTEDERO ESCALONADO DE TRASVASE
DEL EMBALSE HUACATA

Por:

CRISTIAN FERNANDO SEGOVIA QUIROGA

Semestre I-2024

TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA

El resultado de este trabajo está dedicado en especial a mis padres y mi hermano que me dieron su apoyo incondicional a lo largo de estos años de estudio para poder cumplir mis metas en la vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1.	Introducción	1
1.2.	Descripción del problema	2
1.3.	Planteamiento del problema.....	3
1.4.	Justificación de la investigación.....	3
1.5.	Hipótesis.....	4
1.6.	Objetivos	4
1.6.1.	Objetivo general.....	4
1.6.2.	Objetivos específicos	4
1.7.	Metodología de la investigación	5
1.7.1.	Recolección de información.....	5
1.7.2.	Material	5
1.7.3.	Plan de trabajo.....	5

CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1.	Programa Solidworks	7
2.1.1.	Historia y Evolución	7
2.1.2.	Soluciones que ofrece Solidworks	8
2.2.	Dinámica de fluidos computacional o CFD	9
2.2.1.	Discretización.....	10
2.2.1.1.	Método de elementos finitos	10
2.2.1.2.	Método de volúmenes finitos	11
2.2.2.	Ecuación de Navier – Stokes.....	13
2.2.3.	Aplicaciones de del CFD en la ingeniería.....	14

2.3.	Solidworks Flow Simulation.....	14
2.3.1.	Aplicaciones en ingeniería hidráulica con Solidworks Flow Simulation	15
	2.3.1.1. Superficie libre en Solidworks Flow Simulation	15
	2.3.1.2. Salto hidráulico 3D en Solidworks Flow Simulation.....	20
2.4.	Mecánica de Fluidos	25
2.4.1.	Fluidos.....	26
2.4.2.	Flujo de Fluidos.....	26
2.4.3.	Flujo en Canales Abiertos	27
2.5.	Obras hidráulicas.....	28
2.5.1.	Obras de captación	29
2.5.2.	Obras de conducción.....	29
	2.5.2.1. Canales	30
	2.5.2.2. Canales en curva	31
	2.5.2.3. Trasvase.....	32
2.5.3.	Obras de protección.....	32
	2.5.3.1. Rápidas.....	32
	2.5.3.2. Gradadas escalonadas	33
	2.5.3.3. Conceptos básicos en la hidráulica de canales escalonados.....	33
	2.5.3.4. Tipos de flujo en un vertedor escalonado	34
	2.5.3.5. Vertederos	35
2.5.4.	Directrices para el diseño hidráulico de aliviaderos escalonados	36
	2.5.4.1. Régimen de flujos en aliviaderos escalonados.....	36
	2.5.4.2. Flujo de vertido (Nappe Flow).....	37
	2.5.4.3. Flujo de arrastre (Skimming Flow).....	38

2.5.4.4. Tratamiento de Cresta	39
2.5.4.5. Vertedero libre sin control	39
2.5.4.6. Arrastre de aire.....	41
2.5.4.7. Longitud hasta el punto de inicio de la aireación.....	41
2.5.4.8. Concentración media del aire.....	42
2.5.4.9. Determinación de flujo uniforme	43
2.5.4.10. Disipación de energía.....	43
2.5.4.11. Factor de fricción	44
2.5.4.12. Diseño de pared lateral.....	46
2.5.4.13. Paredes paralelas.....	47
2.5.4.14. Potencial de cavitación	47

CAPÍTULO III. APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1. Ubicación	50
3.1.1. Canal desde la toma Huacata hasta el sitio de la presa	51
3.1.2. Toma y trasvase del rio Huacata	51
3.1.3. Conducción	51
3.2. Planos previos	52
3.3. Levantamiento topográfico	52
3.3.1. Datos	54
3.4. Aforo con molinete hidráulico	55
3.4.1. Primer punto de aforo.....	55
3.4.2. Segundo punto de aforo	57
3.4.3. Tercer punto de aforo	58
3.4.4. Cuarto punto de aforo.....	59
3.4.5. Molinete hidráulico	60

3.5.	Modelación en Solidworks.....	60
3.5.1.	Croquis 3D	61
3.5.2.	Extruir saliente o base	61
3.5.3.	Vaciado	62
3.5.4.	Elaboración de los dentellones.....	63
3.5.5.	Tramos.....	64
3.6.	Simulación en Solidworks.....	65
3.6.1.	Nuevo proyecto con Wizard.....	65
3.6.2.	Dominio computacional.....	67
3.6.3.	Condiciones de borde.....	67
3.6.3.1.	Inlet Volume Flow 1	68
3.6.4.	Goals	69
3.6.5.	Malla	71
3.6.6.	Procesamiento de datos.....	71

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1.	Simulación con datos de aforo	72
4.1.1.	Puntos de control.....	73
4.1.2.	Comportamientos	74
4.1.3.	Gráficas y resultados.....	77
4.1.3.1.	Tablas comparativas.....	80
4.1.4.	Puntos de control con caudales	81
4.2.	Simulación con el caudal de diseño	82
4.2.1.	Velocidades.....	82
4.2.2.	Volúmenes, comportamiento y presiones	84
4.3.	Simulación con colchones de agua	87
4.3.1.	Proceso de modelación.....	87
4.3.2.	Proceso de simulación.....	89

4.3.3.	Point goals.....	91
4.3.4.	Visualización de resultados.....	92
4.3.4.1.	Velocidades.....	92
4.3.4.2.	Comportamientos.....	94
4.3.4.3.	Metas y comparaciones.....	95

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones.....	99
5.2.	Recomendaciones.....	101

BIBLIOGRAFÍA

WEBGRAFÍA

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Reporte fotográfico del levantamiento topográfico.

Anexo 2. Puntos de coordenadas tomadas con la estación total.

Anexo 3. Informe aforo de canal con molinete.

Anexo 4. Tabla y graficas de resultados exportados por el programa.

Anexo 5. Planos.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. El dominio es discretizado en pequeños volúmenes y la ecuación algebraica es resuelta para cada uno de esos elementos.	10
Figura 2.2. Nodos y elementos de una malla.	11
Figura 2.3. Nodos y elementos de una malla.	12
Figura 2.4. Simulación en Solidworks Flow Simulation.	16
Figura 2.5. Primer salto hidráulico.....	16
Figura 2.6. Segundo salto hidráulico.....	17
Figura 2.7. Gráfica de intensidad de la turbulencia.	17
Figura 2.8. Vertedero de cresta afilada.	18
Figura 2.9. Gráfica de corte en 2D.....	18
Figura 2.10. Mecánica de fluidos.....	19
Figura 2.11. Resultados gráficos de la simulación en Solidworks.....	20
Figura 2.12. Modelo del aliviadero y las piscinas de agua estancada.	21
Figura 2.13. Simulación para un total de 10s.....	21
Figura 2.14. Simulación para los 2,4,6s.	22
Figura 2.15. Fracción de volúmenes de agua.	23
Figura 2.16. Refinación de malla.	23
Figura 2.17. Refinación equidistante en la rampa.....	24
Figura 2.18. Refinación cuboide.	24
Figura 2.19. Refinación en el extremo del canal.....	25
Figura 2.20. Canal de trasvase de Huacata.	30
Figura 2.21. Canal de trasvase curva antes del vertedero escalonado de Huacata.....	31
Figura. 2.22. Flujo en espiral.	32
Figura 2.23. Definiciones básicas del flujo en un vertedor.....	34

Figura 2.24. Tipos de flujo en vertederos escalonados.	35
Figura. 2.22. Tasa de deformación por corte a partir de mediciones PIV en un canal escalonado.....	48
Figura 3.1. Mapa del departamento de Tarija.	50
Figura 3.2. Ubicación de la estructura en el embalse Huacata.....	50
Figura 3.3. Levantamiento topográfico.....	52
Figura 3.4. Posicionamiento de los prismas en el canal.....	53
Figura 3.5. Medición en campo.....	56
Figura 3.6. Primer dentellón.....	57
Figura 3.7. Aforo en el dentellón N°5.....	58
Figura 3.8. Aforo en el dentellón N°28.....	59
Figura 3.9. Molinete hidráulico Global Water.	60
Figura 3.10. Croquis por punto en 3D.....	61
Figura 3.11. Extrucción de los tramos del canal.	62
Figura 3.12. Vaciado interno.....	63
Figura 3.13. Croquis dentellón.....	63
Figura 3.14. Croquis dentellón.....	64
Figura 3.15. Vertedero escalonado Huacata.	64
Figura 3.16. Sistema de unidades.....	65
Figura 3.17. Tipo de análisis.	66
Figura 3.18. Tipo de fluidos.....	66
Figura 3.19. Condiciones iniciales.	67
Figura 3.20. Dominio computacional.....	67
Figura 3.21. Condiciones de borde.	68
Figura 3.22. Parámetros de condiciones de borde.....	68

Figura 3.23. Metas en superficie velocidad primer escalón de control.....	69
Figura 3.24. Solucionador 36min.....	71
Figura 4.1. Puntos de control en la obra hidráulica.....	72
Figura 4.2. Comportamiento de la velocidad en los tres escalones de control.	73
Figura 4.3. Comportamiento tramo antes de la curva.	74
Figura 4.4. Comportamiento primer tramo de la curva.....	75
Figura 4.4. Comportamiento segundo tramo de la curva.....	76
Figura 4.5. Comportamiento último tramo.	77
Figura 4.6. Fracción de agua en función del tiempo.	78
Figura 4.7. Velocidad primer control.....	79
Figura 4.8. Velocidad segundo control.	79
Figura 4.9. Velocidad tercer control.	80
Figura 4.10. Control de caudales primer dentellón.	81
Figura 4.11. Condiciones de borde de diseño.	82
Figura 4.12. Velocidades de diseño.	82
Figura 4.13. Velocidades de diseño.	83
Figura 4.14. Velocidades de diseño.	83
Figura 4.15. Velocidades de diseño.	84
Figura 4.16. Paredes del canal.....	85
Figura 4.17. Paredes del canal.....	86
Figura 4.18. Comportamiento en 3d volumétrico.	86
Figura 4.19. Presiones.	87
Figura 4.20. Croquis 3D colchones de agua.	88
Figura 4.21. Generación de volúmenes para los colchones de agua.	88

Figura 4.22. Colchón N°1 de agua.....	89
Figura 4.23. Colchones de agua.	89
Figura 4.24. Condiciones iniciales.....	90
Figura 4.25. Condiciones de borde.	90
Figura 4.26. Croquis con líneas constructivas.	91
Figura 4.27. Metas puntuales.	91
Figura 4.28. Procesamiento de datos.....	92
Figura 4.29. Primer tramo de la curva.....	92
Figura 4.30. Centro de la curva.	93
Figura 4.31. Tramo final de la curva.....	93
Figura 4.32. Último tramo del vertedero escalonado.....	94
Figura 4.33. Volúmenes aplicados a las paredes del vertedero.....	95
Figura 4.32. Velocidades primer tramo.....	96
Figura 4.33. Concentración de agua tercer control.	97
Figura 4.34. Velocidad de agua tercer control.	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Resumen de coordenadas tomadas con la estación total.....	54
Tabla 3.2. Posicionamiento para las tomas de velocidades en cada punto.	55
Tabla 3.3. Determinación del caudal total (Q) punto 1.....	56
Tabla 3.4. Determinación del caudal total (Q) punto 2.....	57
Tabla 4.1. Tabla comparativa aforo con molinete y simulaciones.....	81
Tabla 4.2. Tabla resultados de caudales.....	81
Tabla 4.3. Tabla Velocidades primer dentellón.	95