

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**"OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE OPERACIÓN EN EL
SEDIMENTADOR DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE TABLADITA COSAALT"**

OCHOA RODAS ERICK JHOAN

Proyecto de grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN
MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en
Ingeniería Civil.

SEMESTRE I – 2026

TARIJA – BOLIVIA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE OPERACIÓN EN EL
SEDIMENTADOR DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE TABLADITA COSAALT”**

OCHOA RODAS ERICK JHOAN

Proyecto Elaborado en la Asignatura CIV – 502

SEMESTRE I - 2026

TARIJA – BOLIVIA

ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulo I: GENERALIDADES	1
1.1. Introducción.	1
1.2. Antecedentes.	2
1.2.1. Planteamiento del problema.	3
1.2.2. Formulación del problema.	4
1.3. Objetivos.	4
1.3.1. Objetivo general.	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Hipótesis.	5
1.5. Justificación de la investigación.	5
1.5.1. Justificación técnica.	5
1.5.2. Justificación económica.	5
1.5.3. Justificación social.	6
1.6. Límites y alcances.....	6
1.6.1. Límites.....	6
1.6.2. Alcances.	6
Capítulo II: MARCO METODOLÓGICO	7
2.1. Tipo De Investigación.....	7
2.2. Procedimientos.....	7
2.2.1. Levantamiento de información y datos técnicos	8
2.2.2. Modelado geométrico del sedimentador existente (levantamiento en campo).....	8
2.2.3. Aplicación de simulación CFD (Flow Simulation).....	8
2.2.4. Obtención de resultados	9

2.2.5.	Comparación con normativa boliviana (NB 689)	9
2.2.6.	Propuesta de ajustes o mejoras.....	9
2.2.7.	Conclusiones y recomendaciones.....	9
2.2.8.	Instrumentos de recolección de datos.....	9
Capítulo III:	MARCO TEÓRICO.....	11
3.1.	Agua Potable	11
3.2.	Planta Potabilizadora de Agua	11
3.3.	Componentes de una Planta Potabilizadora de Agua (según NB 689 y caso Tabladita – COSAALT)	12
3.3.1.	Desarenador.....	12
3.3.2.	Cámara de coagulación y mezcla rápida	12
3.3.3.	Floculación	12
3.3.4.	Sedimentación	13
3.3.5.	Filtración	13
3.3.6.	Desinfección con cloro y conducción al almacenamiento	13
3.3.7.	Unidades auxiliares y sistemas de apoyo en la planta potabilizadora de Tabladita.....	13
3.4.	Sedimentadores.	15
3.4.1.	Características de los Sedimentadores	15
3.4.2.	Zonas y componentes del sedimentador.....	16
3.4.3.	Clasificación de sedimentadores.	17
3.4.4.	Criterios generales.....	17
3.4.5.	Consideraciones para el diseño.	18
3.4.6.	Diseño del sedimentador.	19
3.4.7.	Parámetros Hidráulicos Críticos en Sedimentadores de Alta Tasa	

(Lamelares): Criterios de Diseño y Comparativa Teórica	20
3.5. Dinámica de fluido computacional.	24
3.5.1. Ecuaciones de la dinámica de fluidos computacional.	25
3.5.2. Discretización.....	27
3.6. Modelación FCD.....	31
3.7. CFD aplicada en obras hidráulicas.	32
3.8. Aplicación de CFD en la ingeniería.....	33
Capítulo IV: APLICACIÓN PRÁCTICA Y RESULTADOS DE SIMULACIÓN	34
4.1. Descripción del área de estudio	34
4.1.1. Ubicación de la planta potabilizadora de Tabladita	34
4.1.2. Descripción de la Planta Potabilizadora.....	35
4.1.3. Características y condiciones operativas del sedimentador	43
4.2. Recolección de datos.....	43
4.2.1. Mediciones de campo.....	44
4.3. Simulación y modelado en condiciones actuales.....	45
4.3.1. Elaboración de la geometría.....	45
4.3.2. Simulación para un caudal de 160 L/s (caudal de diseño)	47
4.3.3. Simulación para un caudal de 215,03 L/s (caudal mínimo operativo).....	64
4.3.4. Simulación para un caudal de 342,25 L/s (caudal máximo operativo)	85
4.3.5. Síntesis de Tendencias Hidráulicas y Patrones de Flujo	108
4.3.6. Patrones Críticos Observados en el Sedimentador Lamelar	109
Capítulo V: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PROPUESTA	111
5.1. Análisis de Resultados del CFD y Contrastación Teórica	

- Normativa	111
5.1.1. Diagnóstico de la Eficiencia Hidráulica.....	112
5.1.2. Valoración del Cumplimiento Normativo (NB 689, OPS y CONAGUA)	113
5.2. Evaluación experimental de la inclinación de las lamelas (45 – 60°) y su impacto en la turbiedad	115
5.3. Propuesta de rediseño hidráulico en la zona de entrada y espejo de agua	117
5.4. Memoria de cálculo y justificación del colector de salida transversal (Propuesta de mejora).....	119
5.4.1. Introducción y objetivo	119
5.4.2. Datos de diseño físicos (medidos).....	120
5.4.3. Criterios de diseño y justificación.....	120
5.4.4. Hidráulica para el diseño propuesto	121
5.4.5. Resultados del diseño del colector transversal	121
5.5. Validación numérica del rediseño mediante simulación CFD (Modelo mejorado).....	122
5.5.1. Distribución de velocidades y líneas de corriente para Q = 342,25 L/s (caudal máximo operativo)	124
5.5.2. Distribución de velocidades y líneas de corriente para Q = 215,03 L/s (caudal mínimo operativo).....	135
5.5.3. Distribución de velocidades y líneas de corriente para Q = 160 L/s (caudal de diseño)	145
CONCLUSIONES	163
RECOMENDACIONES.....	166
BIBLIOGRAFÍA	167

WEBGRAFÍA.....	170
ANEXOS	
ANEXO A: Memoria de Cálculo de Parámetros Hidráulicos de Operación.....	171
ANEXO B: Registro Fotográfico de la Planta Potabilizadora de Tabladita.	186

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de Ubicación	1
Figura 2.	Representación secuencial de los pasos que conforman el desarrollo del proyecto.....	7
Figura 3.	Zonas operativas típicas de un sedimentador.....	20
Figura 4.	Discretización del dominio en pequeños volúmenes donde se resuelven las ecuaciones algebraicas	27
Figura 5.	Mallas superficiales coloreada por la razón de aspecto de la celda.....	29
Figura 6.	Nodos en los vértices de los VCs (izquierda) y nodos en los centros VCs (derecha) para una grilla cuadrilátera	30
Figura 7.	Nodos y elementos de una malla	31
Figura 8.	Instalación de la planta de tratamiento Tabladita COSAALT	34
Figura 9.	Acceso al sedimentador	35
Figura 10.	Vista aérea de la planta potabilizadora de Tabladita y localización del sedimentador	36
Figura 11.	Corte longitudinal de la planta potabilizadora de Tabladita	37
Figura 12.	Regla Graduada para la Medición del Tirante de Agua.....	41
Figura 13.	Determinación del Caudal en el Sistema de Aducción (Río La Victoria / Rincón)	42
Figura 14.	Medición de las dimensiones del sedimentador.....	45
Figura 15.	Vista Tridimensional del Sedimentador.....	46
Figura 16.	Distribución tridimensional de velocidades en el sedimentador para el caudal de 0,004 m ³ /s.....	47
Figura 17.	Distribución de velocidades en corte transversal al flujo en el centro del sedimentador.	48
Figura 18.	Distribución de velocidades en planta a la altura de las tuberías de entrada.....	50
Figura 19.	Distribución de velocidades en corte longitudinal por la tubería lateral izquierda (1)	52
Figura 20.	Distribución de velocidades en corte longitudinal por la tubería	

	central (2)	54
Figura 21.	Distribución de velocidades en corte longitudinal por la tubería lateral derecha (3)	58
Figura 22.	Distribución de velocidades en planta sobre las placas inclinadas del sedimentador	61
Figura 23.	Distribución tridimensional de velocidades en el sedimentador para el caudal de 0,054 m ³ /s.....	65
Figura 24.	Distribución de velocidades en corte transversal al flujo en el centro del sedimentador.	66
Figura 25.	Distribución de velocidades en planta a la altura de las tuberías de entrada	70
Figura 26.	Distribución de velocidades en corte longitudinal por la tubería lateral izquierda (1).....	73
Figura 27.	Distribución de velocidades en corte longitudinal por la tubería central (2)	76
Figura 28.	Distribución de velocidades en corte longitudinal por la tubería lateral derecha (3)	79
Figura 29.	Distribución de velocidades en planta sobre las placas inclinadas del sedimentador	82
Figura 30.	Distribución tridimensional de velocidades en el sedimentador para el caudal de 0,086 m ³ /s.....	86
Figura 31.	Distribución de velocidades en corte transversal al flujo en el centro del sedimentador	87
Figura 32.	Distribución de velocidades en planta a la altura de las tuberías de entrada	91
Figura 33.	Distribución de velocidades en corte longitudinal por la tubería lateral izquierda (1)	94
Figura 34.	Distribución de velocidades en corte longitudinal por la tubería central (2)	98
Figura 35.	Distribución de velocidades en corte longitudinal por la tubería lateral derecha (3)	102

Figura 36.	Distribución de velocidades en planta sobre las placas inclinadas del sedimentador	106
Figura 37.	Ensayo empírico de sedimentación con soportes a 45° y 60° en el laboratorio de la planta de Tabladita.....	117
Figura 38.	Esquema del ajuste de la cresta de salida (+40 cm de longitud) en el sedimentador de Tabladita (modelo 3D en SolidWorks).....	119
Figura 39.	Esquema del ajuste del Canal rectangular tipo vertedero en la zona de salida del sedimentador de Tabladita (modelo 3D en SolidWorks)	122
Figura 40.	Distribución de líneas de corriente en corte longitudinal por el centro del sedimentador para $Q = 342,25 \text{ L/s}$	124
Figura 41.	Distribución de líneas de corriente en vista tridimensional para $Q = 342,25 \text{ L/s}$	124
Figura 42.	Distribución de líneas de corriente en vista en planta debajo de las lamelas para $Q = 342,25 \text{ L/s}$	125
Figura 43.	Distribución de líneas de corriente en corte transversal al flujo en el centro del sedimentador para $Q = 342,25 \text{ L/s}$	126
Figura 44.	Distribución de velocidades en vista tridimensional para $Q = 342,25 \text{ L/s}$	126
Figura 45.	Distribución de velocidades en vista en planta a la altura del Canal rectangular tipo vertedero para $Q = 342,25 \text{ L/s}$	127
Figura 46.	Distribución de velocidades en corte longitudinal por el centro de sedimentador para $Q = 342,25 \text{ L/s}$	127
Figura 47.	Distribución de velocidades en corte transversal al flujo en el centro del sedimentador para $Q = 342,25 \text{ L/s}$	128
Figura 48.	Distribución de líneas de corriente en corte longitudinal por el centro del sedimentador para $Q = 215,03 \text{ L/s}$	135
Figura 49.	Distribución de líneas de corriente en vista tridimensional para $Q = 215,03 \text{ L/s}$	135
Figura 50.	Distribución de líneas de corriente en vista en planta debajo de las lamelas para $Q = 215,03 \text{ L/s}$	136
Figura 51.	Distribución de líneas de corriente en corte transversal al flujo en el	

	centro del sedimentador para $Q = 215,03 \text{ L/s}$	137
Figura 52.	Distribución de velocidades en vista tridimensional para $Q = 215,03 \text{ L/s}$	137
Figura 53.	Distribución de velocidades en vista en planta a la altura del Canal rectangular tipo vertedero para $Q = 215,03 \text{ L/s}$	138
Figura 54.	Distribución de velocidades en corte longitudinal por el centro de sedimentador para $Q = 215,03 \text{ L/s}$	138
Figura 55.	Distribución de velocidades en corte transversal al flujo en el centro del sedimentador para $Q = 215,03 \text{ L/s}$	139
Figura 56.	Distribución de líneas de corriente en corte longitudinal por el centro del sedimentador para $Q = 160 \text{ L/s}$	145
Figura 57.	Distribución de líneas de corriente en vista tridimensional para $Q = 160 \text{ L/s}$	145
Figura 58.	Distribución de líneas de corriente en vista en planta debajo de las lamelas para $Q = 160 \text{ L/s}$	146
Figura 59.	Distribución de líneas de corriente en corte transversal al flujo en el centro del sedimentador para $Q = 160 \text{ L/s}$	147
Figura 60.	Distribución de velocidades en vista tridimensional para $Q = 160 \text{ L/s}$	147
Figura 61.	Distribución de velocidades en vista en planta a la altura del Canal rectangular tipo vertedero para $Q = 160 \text{ L/s}$	148
Figura 62.	Distribución de velocidades en corte longitudinal por el centro de sedimentador para $Q = 160 \text{ L/s}$	148
Figura 63.	Distribución de velocidades en corte transversal al flujo en el centro del sedimentador para $Q = 160 \text{ L/s}$	149
Figura 64.	Comparación de la Distribución de Velocidades entre Escenario Actual y Diseño Mejorado.....	158

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Valores recomendados de Carga Superficial (CS o Vo) según el tipo de tratamiento	21
Tabla 2.	Parámetros de referencia para diseño de sedimentación.....	24
Tabla 3.	Datos generales de la planta potabilizadora de Tabladita.....	37
Tabla 4.	Fuentes de Agua Cruda y su Impacto Operacional en la Planta Potabilizadora Tabladita.	39
Tabla 5.	Valores Extremos de la Turbiedad del Agua Cruda en la Planta Potabilizadora Tabladita (2024).....	40
Tabla 6.	Variación de la Turbiedad Promedio Mensual del Agua Cruda en la Planta Potabilizadora Tabladita (2024).....	40
Tabla 7.	Velocidades de flujo en la Zona de Salida (tubería colectora) del corte longitudinal por la tubería central (2) para $Q = 160$ L/s.	56
Tabla 8.	Velocidades de flujo en la Zona de Decantación del corte longitudinal por la tubería lateral derecha (3) para $Q = 160$ L/s	59
Tabla 9.	Velocidades de flujo en la Zona de Decantación de la vista en planta sobre las placas inclinadas del sedimentador para un $Q = 160$ L/s.....	62
Tabla 10.	Parámetros hidráulicos del sedimentador para $Q = 160$ L/s.	64
Tabla 11.	Velocidades de flujo en la Zona de Decantación del corte transversal al flujo en el centro del sedimentador para $Q = 215,03$ L/s.....	67
Tabla 12.	Velocidades de flujo en la Zona de Lodos del corte transversal al flujo en el centro del sedimentador para $Q = 215,03$ L/s	67
Tabla 13.	Velocidades de flujo en la Zona de Salida del corte transversal al flujo en el centro del sedimentador para $Q = 215,03$ L/s	68
Tabla 14.	Velocidades de flujo en la Zona de Salida de la vista en planta a la altura de las tuberías de entrada para $Q = 215,03$ L/s.....	71
Tabla 15.	Velocidades de flujo en la Zona de Decantación del corte longitudinal por la tubería lateral izquierda (1) para $Q = 215,03$ L/s.....	74
Tabla 16.	Velocidades de flujo en la Zona de Decantación del corte longitudinal por la tubería central (2) para $Q = 215,03$ L/s	77

Tabla 17.	Velocidades de flujo en la Zona de Decantación del corte longitudinal por la tubería lateral derecha (3) para $Q = 215,03 \text{ L/s}$	80
Tabla 18.	Velocidades de flujo en la Zona de Decantación de la vista en planta sobre las placas inclinadas del sedimentador para un $Q = 215,03 \text{ L/s}$	83
Tabla 19.	Parámetros hidráulicos del sedimentador para $Q = 215,03 \text{ L/s}$	85
Tabla 20.	Velocidades de flujo en la Zona de Decantación del corte transversal al flujo en el centro del sedimentador para $Q = 342,25 \text{ L/s}$	88
Tabla 21.	Velocidades de flujo en la Zona de Lodos del corte transversal al flujo en el centro del sedimentador para $Q = 342,25 \text{ L/s}$	88
Tabla 22.	Velocidades de flujo en la Zona de Salida del corte transversal al flujo en el centro del sedimentador para $Q = 342,25 \text{ L/s}$	89
Tabla 23.	Velocidades de flujo en la Zona de Salida de la vista en planta a la altura de las tuberías de entrada para $Q = 342,25 \text{ L/s}$	92
Tabla 24.	Velocidades de flujo en la Zona de Decantación del corte longitudinal por la tubería lateral izquierda (1) para $Q = 342,25 \text{ L/s}$	95
Tabla 25.	Parámetros hidráulicos del sedimentador para $Q = 342,25 \text{ L/s}$	108
Tabla 26.	Comparación entre parámetros de diseño hidráulico y los valores obtenidos de la simulación CFD.	113
Tabla 27.	Comparación del Rango de Velocidades de Ingreso a la Zona de Recolección.....	155
Tabla 28.	Rango de Número de Reynolds (Re) en los Sistemas de Recolección: Escenario Actual (Análisis Local)	159
Tabla 29.	Rango de Número de Reynolds (Re) en los Sistemas de Recolección: Diseño Mejorado (Análisis Local).....	160

