

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



**"ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES Y PROPUESTA DE
DISEÑO DEL DESARENADOR DEL CANAL DE DESPACHO DEL RINCÓN DE LA
VITORIA, TARIJA, MEDIANTE DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL
(CFD)"**

Por:

GUTIERREZ CHAVARRIA DAVID

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 – 2025

TARIJA – BOLIVIA

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

**"ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES Y PROPUESTA DE
DISEÑO DEL DESARENADOR DEL CANAL DE DESPACHO DEL RINCÓN DE LA
VITORIA, TARIJA, MEDIANTE DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL
(CFD)"**

Por:

GUTIERREZ CHAVARRIA DAVID

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 – 2025

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

A mi madre, por ser ejemplo de fortaleza, amor y constancia. Gracias por enseñarme que cada obstáculo es solo una nueva oportunidad para crecer y que con esfuerzo todo es posible.

Índice de contenido

1.	Generalidades.	1
1.1	Introducción.	1
1.2	Antecedentes.	2
1.2.1	Planteamiento del problema.	3
1.2.2	Formulación del problema.	3
1.3	Objetivos.	4
1.3.1	Objetivo general.	4
1.3.2	Objetivos específicos.	4
1.4	Hipótesis.	4
1.5	Justificación de la investigación.	4
1.5.1	Justificación técnica.	4
1.5.2	Justificación económica.	5
1.5.3	Justificación social.	5
1.6	Límites y alcances.	5
1.6.1	Límites.	5
1.6.2	Alcances.	5
2.	Marco metodológico.	7
2.1	Enfoque de la investigación	7
2.2	Diseño de la investigación.	8
2.2.1	Justificación del diseño	8
2.3	Procedimientos de recolección de datos.	9
2.3.1	Trabajo de campo	10
2.3.2	Levantamiento de datos in situ	10
2.4	Procesamiento y análisis de datos.	11
2.4.1	Herramientas para el procesamiento de datos.	12
2.4.2	Modelado y simulación computacional.	13
2.4.3	Elaboración de propuestas de mejora.	14
3.	Marco teórico.	16
3.1	Desarenadores.	16

3.1.1	Zonas y componentes del desarenador.....	17
3.1.2	Clasificación de desarenadores.	18
3.1.3	Criterios generales.....	18
3.1.4	Consideraciones para el diseño.	19
3.1.5	Diseño del desarenador.	20
3.2	Dinámica de fluido computacional.....	21
3.2.1	Ecuaciones de la dinámica de fluidos computacional.	21
3.2.2	Discretización.	23
3.3	Modelación (CFD).	27
3.4	(CFD) aplicada en obras hidráulicas.	28
3.5	Aplicación de (CFD) en la ingeniería.....	29
4.	Aplicación práctica.....	30
4.1	Diagnostico técnico del desarenador.	30
4.1.1	Ubicación y características del desarenador del Rincón de la Vitoria.	30
4.1.2	Evaluación del estado físico.....	32
4.1.3	Evaluación del funcionamiento hidráulico.....	33
4.1.4	Evaluación de eficiencia.....	34
4.1.5	Recomendaciones técnicas.....	34
4.2	Recolección de datos.....	35
4.2.1	Mediciones de campo.....	35
4.2.2	Aforo con el molinete electromagnético ott mf pro.	35
4.3	Simulación y modelado en condiciones actuales.	41
4.3.1	Elaboración de la geometría.	41
4.3.2	Refinamiento de geometría elaborada.....	43
4.3.3	Dominio computacional.....	48
4.3.4	Puntos de control.....	49
4.3.5	Condiciones de contorno.	50
4.3.6	Resultados en secciones de control.	52
4.3.7	Sentido de flujo con vista tridimensional.....	61
4.3.8	Identificación de áreas de mejora.	62
4.4	Simulación con caudal de diseño.	63

4.4.1	Distribución de velocidades.	64
4.4.2	Comportamiento del flujo dentro del desarenador	64
4.5	Simulación en condiciones de capacidad máxima del canal.	65
4.5.1	Estimación de caudal máximo.....	65
4.5.2	Mallado y puntos de control.	66
4.5.3	Identificación de áreas de mejora.	72
5.	Análisis e interpretación de resultados.	74
5.1	Evaluación del funcionamiento actual del desarenador.	80
5.2	Propuesta de diseño optimizado.	80
5.3	Simulación de diseño optimizado.....	81
5.4	Comparación entre el diseño actual y el optimizado.....	88
5.5	Análisis comparativo de simulaciones.	93
5.6	Implicaciones para el diseño de desarenadores	94
6.	Propuesta de diseño	95
6.1	Cálculo de dimensiones del desarenador.....	95
6.2	Topografía	100
6.3	Diagrama de fuerzas internas de corte	104
6.4	Diagramas de fuerzas internas.....	106
6.5	Diagramas de fuerzas internas (planta)	107
6.6	Armado en caras laterales.....	108
6.7	Armado en la base	110
6.8	Condiciones de simulación.....	113
6.9	Simulación del nuevo diseño.....	114
6.9.1	Resultados de velocidades.....	120
6.9.2	Comportamiento del flujo.	121
6.9.3	Desarenador actual.	121
6.9.4	Desarenador optimizado.....	123
6.9.5	Desarenador con nuevo diseño.....	125
6.10	Comparación de velocidades.....	126
6.10.1	Comparación de velocidades: estructura actual vs. estructura	

optimizada con pantalla.....	127
6.10.2 Comparación de velocidades estructura actual vs estructura nuevo diseño.....	129
6.11 Planos de desarenador (nuevo diseño)	131
7. Conclusiones y recomendaciones.....	146
7.1 Conclusiones	146
7.2 Recomendaciones	148
Bibliografía.....	149
Webgrafía.....	150
Anexos	151
Anexo 1 Datos de caudales aforados mensuales.....	151
Anexo 2 Imágenes de la estructura del desarenador.....	152
Anexo 3 Prueba 1.....	164
Anexo 4 Prueba 2.....	166
Anexo 5 Prueba 3.....	171
Anexo 6 Prueba 4.....	175
Anexo 7 Prueba 5 - la más óptima.....	178
Anexo 8 Planos de desarenador nuevo diseño.....	180

Índice de figuras

Figura 3.1 El dominio es discretizado en pequeños volúmenes y la ecuación algebraica es resuelta para cada uno de esos elementos.....	24
Figura 3.2 Mallas superficial coloreada por la razón de aspecto de la celda	25
Figura 3.3 Nodos en los vértices de los VCs (izquierda) y nodos en los centros VCs (derecha) para una grilla cuadrilátera.	26
Figura 3.4 Nodos y elementos de una malla.....	27
Figura 4.1 Ubicación del desarenador en relación con la planta de agua potable de COSAALT R.L.....	30
Figura 4.2 Acceso al desarenador.....	31
Figura 4.3 Medición de las dimensiones del desarenador.	35
Figura 4.4 Medición de velocidades en secciones de control.....	36
Figura 4.5 Plano vista planta con secciones de control.	36
Figura 4.6 Sección con puntos de aforo.	37
Figura 4.7 Plano del desarenador.	42
Figura 4.8 Vista tridimensional del desarenador	43
Figura 4.9 Optimización estructural para evitar fugas	43
Figura 4.10 Mallado del área en contacto con el fluido.	44
Figura 4.11 Creación de proyecto.....	45
Figura 4.12 Configuración del sistema de unidades.....	46
Figura 4.13 Configuración de gravedad, tiempo y superficie libre.....	47
Figura 4.14 Selección de flujos en la simulación: Agua – Aire	47
Figura 4.15 Rugosidad del hormigón en el desarenador.	48
Figura 4.16 Condiciones iniciales de temperatura, presión y concentración de fluido.	48
Figura 4.17 Dominio computacional en el desarenador.	49
Figura 4.18 Configuración de paso de tiempo.....	49
Figura 4.19 Configuración de parámetros a analizar.....	50
Figura 4.20 Caudal de entrada y dirección.	50
Figura 4.21 Configuración de secciones (puntos de control).	51
Figura 4.22 Ejecución de solucionador	51
Figura 4.23 Número de iteraciones y tiempo de solución.	52

Figura 4.24 Secciones de control en el desarenador, vista en planta.....	52
Figura 4.25 Desarenador en vista tridimensional con secciones de control.	53
Figura 4.26 Sección 1- Punto de control de velocidades “X-Y-Z”.	54
Figura 4.27 Sección 1 - Punto de control de velocidades.....	54
Figura 4.28 Sección 2- Punto de control de velocidades “X-Y-Z”.	55
Figura 4.29 Sección 2 - Punto de control de velocidades.....	55
Figura 4.30 Sección 3 - Punto de control de velocidades “X-Y-Z”.	56
Figura 4.31 Sección 3 - Punto de control de velocidades.....	56
Figura 4.32 Sección 4 - Punto de control de velocidades “X-Y-Z”.	57
Figura 4.33 Sección 4 - Punto de control de velocidades.....	57
Figura 4.34 Sección 5 - Punto de control de velocidades “X-Y-Z”.	58
Figura 4.35 Sección 5 - Punto de control de velocidades.....	58
Figura 4.36 Sección 6 - Punto de control de velocidades “X-Y-Z”.	59
Figura 4.37 Sección 6 - Punto de control de velocidades.....	59
Figura 4.38 Sección 7 - Punto de control de velocidades.....	60
Figura 4.39 Sección 8 - Punto de control de velocidades.....	60
Figura 4.40 Dirección de flujo en vista tridimensional.	61
Figura 4.41 Dirección de flujo en corte longitudinal.....	61
Figura 4.42 Dirección de flujo con vista en planta.....	62
Figura 4.43 Visualización de zonas de turbulencia en vista en planta.	62
Figura 4.44 Visualización de turbulencia en zona de entrada debido a alta velocidad de salida.....	63
Figura 4.45 desarenador con secciones de control.	64
Figura 4.46 Dirección del flujo en el desarenador.....	64
Figura 4.47 Mallado y refinamiento de mallado.	66
Figura 4.48 Caudal de entrada.....	67
Figura 4.49 Sección 8 - punto de control de velocidades.	67
Figura 4.50 Sección 7 - punto de control de velocidades.	68
Figura 4.51 Sección 6 - punto de control de velocidades.	68
Figura 4.52 Sección 5 - punto de control de velocidades.	69
Figura 4.53 Sección 4 - punto de control de velocidades.	69

Figura 4.54 Sección 3 - punto de control de velocidades.	70
Figura 4.55 Sección 2 - punto de control de velocidades.	70
Figura 4.56 Sección 1 - punto de control de velocidades.	71
Figura 4.57 Desarenador en vista tridimensional con secciones de control.	71
Figura 4.58 Vista tridimensional del sentido del flujo.	72
Figura 4.59 Vista de sentido de flujo en corte longitudinal.	72
Figura 4.60 Vista en planta de dirección de flujo.	73
Figura 5.1 Limites de dominio.	81
Figura 5.2 Estimación de tirante con el caudal máximo permitido	81
Figura 5.3 Caudal máximo de entrada.	82
Figura 5.4 Mallado y refinamiento de malla.	82
Figura 5.5 Vista tridimensional de desarenador con secciones de control.	83
Figura 5.6 Sección 1 - punto de control de velocidades.	83
Figura 5.7 Sección 2 - punto de control de velocidades.	84
Figura 5.8 Sección 3 - punto de control de velocidades.	84
Figura 5.9 Sección 4 - punto de control de velocidades.	85
Figura 5.10 Sección 5 - punto de control de velocidades.	85
Figura 5.11 Sección 6 - punto de control de velocidades.	86
Figura 5.12 Sección 7 - punto de control de velocidades.	86
Figura 5.13 Sección 8 - punto de control de velocidades.	87
Figura 5.14 Vista tridimensional del flujo en el desarenador "corte longitudinal"	87
Figura 5.15 Vista en corte longitudinal del sentido del flujo	88
Figura 5.16 Vista del desarenador en planta del sentido del flujo.	88
Figura 5.17 Sección canal de entrada.	114
Figura 5.18 Sección canal de entrada con transición.	115
Figura 5.19 Sección entrada a la zona de sedimentación.	116
Figura 5.20 Sección zona media de sedimentación.	117
Figura 5.21 Sección en la zona de salida de sedimentación.	118
Figura 5.24 Trayectoria de flujo.	121
Figura 5.25 Corte longitudinal, dirección de flujo.	121
Figura 5.26 Corte longitudinal, dirección de flujo.	123

Figura 5.27 Sección de desarenador, dirección de flujo.....	125
---	-----

Índice de tablas

Tabla: 1:Velocidades teóricas recomendadas.....	17
Tabla: 2:Velocidades en la sección 1.	37
Tabla: 3:Velocidades en la sección 2.	38
Tabla: 4: Velocidades en la sección 3	38
Tabla: 5: Velocidades en sección 4.	38
Tabla: 6:Velocidades en sección 5.	39
Tabla: 7: Velocidades en sección del canal de entrada con una transición.	39
Tabla: 8:Velocidades en la sección del canal de entrada principal.	40
Tabla: 9:Caudales medios mensuales.	65
Tabla: 10:Velocidades lecturadas con el molinete electromagnético OTT MF pro.....	74
Tabla: 11:Velocidades lecturadas en la simulación con un caudal 93 l/s.....	76
Tabla: 12: Análisis comparativo.....	78
Tabla: 13: Velocidades en secciones de control del desarenador optimizado.....	89
Tabla: 14: Velocidades en secciones de control del desarenador actual.	91
Tabla: 15: Análisis comparativo de velocidades.	93
Tabla: 16: Velocidad de sedimentación de partículas de arena.....	97
Tabla: 17: Datos topográficos lecturadas.	100
Tabla: 18: Velocidades en canal de entrada.	114
Tabla: 19: Velocidades en canal de entrada con transición.....	115
Tabla: 20: Velocidades en la entrada a la zona de sedimentación.....	116
Tabla: 21: Velocidades en zona media de sedimentación.	117
Tabla: 22: Velocidades en zona de salida de sedimentación.....	118
Tabla: 23: Velocidades de secciones de control.....	120
Tabla: 24: Velocidades de las secciones de control.	122
Tabla: 25: Velocidades en las secciones de control del diseño optimizado.	123
Tabla: 26: Velocidades en desarenador, nuevo diseño.....	125
Tabla: 27: Porcentaje de variación en estructura actual vs estructura optimizada.	127
Tabla: 28: Porcentaje de variación en estructura con nuevo diseño vs estructura actual.....	129
Tabla: 29: Cronograma de actividades.	131
Tabla: 30: Cómputos métricos de desarenador.....	132

Tabla: 31: Ítem 1.	133
Tabla: 32: Ítem 2.	134
Tabla: 33: Ítem 3.	135
Tabla: 34: Ítem 4.	136
Tabla: 35: Ítem 5.	137
Tabla: 36: Ítem 6.	138
Tabla: 37: Ítem 7.	139
Tabla: 38: Ítem 8.	140
Tabla: 39: Ítem 9.	141
Tabla: 40: Ítem 10.	142
Tabla: 41: Ítem 11.	143
Tabla: 42: Ítem 12.	144
Tabla: 43: Presupuesto general.....	145