

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



**“MODELACIÓN FLUIDODINÁMICA DE UN REACTOR BIOLÓGICO DE LODOS
ACTIVADOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE
SAN BLAS”**

Por:

FARFÁN ORTEGA ROBERTO NEVER

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

SEMESTRE II- 2024

TARIJA – BOLIVIA

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

**“MODELACIÓN FLUIDODINÁMICA DE UN REACTOR BIOLÓGICO DE LODOS
ACTIVADOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE
SAN BLAS”**

Por:

FARFÁN ORTEGA ROBERTO NEVER

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

SEMESTRE II- GESTION 2024

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA:

A Dios, por ser mi guía, fortaleza y fuente infinita de inspiración en cada paso de este camino. A mi madre, por ser el pilar inquebrantable en mi vida, por sus enseñanzas llenas de amor y por motivarme a dar siempre lo mejor de mí.

A mis mentores, cuya visión y liderazgo han dejado una huella en mi desarrollo, guiándome hacia nuevas alturas. Como dijo Marie Curie: *"Nada en la vida debe ser temido, solo comprendido. Ahora es el momento de comprender más, para temer menos."* Este logro es un reflejo de ese aprendizaje continuo y decidido.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes de investigación.....	2
1.2.1 Antecedentes internacionales.....	2
1.3 Alcance	4
1.4 Delimitación temporal	4
1.5 Delimitación espacial.....	5
1.6 Planteamiento del problema.....	5
1.6.1 Formulación del problema	5
1.6.2 Pregunta de investigación general	5
1.6.3 Preguntas de investigación.....	6
1.7 Justificación.	6
1.8 Objetivos.	7
1.8.1 Objetivo general.....	7
1.8.2 Objetivos específicos.	7
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	9
2.1 Marco conceptual.....	9
2.1.1 Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)	9
2.1.2 Sistema de lodos activados	10
2.1.2.1 Componentes de sistema de lodos activados.....	10
2.1.3 Reactor biológico	12
2.1.3.1 Tipos de flujo.....	12
2.1.3.1.1 Flujo completamente mezclado	12
2.1.3.1.2 Flujo de pistón.....	12

2.1.3.1.3 Flujo disperso.....	12
2.1.4 Partes de un reactor.....	13
2.1.4.1 Zona de aireación.....	13
2.1.4.2 Sistema de mezcla	13
2.1.4.3 Entrada y salida	13
2.1.5 Sistema de aireación	14
2.1.5.1 Difusor de aire de burbuja fina	14
2.1.5.2 Sopladores	15
2.2 Modelación fluidodinámica CFD	15
2.2.1 Introducción	15
2.2.2 Que es CFD.....	16
2.2.3 Aplicaciones del software Flow simulation.....	17
2.2.4 Objetivos del CFD en su aplicación.....	17
2.2.5 Principios fundamentales en la dinámica de fluidos.....	17
2.2.5.1 Ecuaciones (CFD).....	18
2.2.5.1.1 Ley de la conservación de la masa (continuidad):.....	18
2.2.5.1.2 Ley de conservación del momento (ecuaciones de Navier-Stokes).....	18
2.2.5.1.3 Ley de conservación de la energía	19
2.3 Variables operacionales	20
2.3.1 Velocidad	20
2.3.2 Reynolds	21
2.3.2.1 Número de reynolds para una tubería.....	21
2.3.2.2 Número de reynolds para un canal o área rectangular (como un reactor).....	22
2.3.3 Ecuación de Bernoulli.....	22
2.3.4 Presión estática.....	23

2.3.5	Presión dinámica.....	24
2.3.6	Presión total	24
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO		26
3.1	Descripción de la planta de tratamiento de aguas residuales	26
3.2	Ubicación y capacidad de la PTAR	26
3.2.1	Ubicación geográfica	26
3.2.2	Capacidad de tratamiento.....	27
3.2.3	Procesos y componentes principales de la planta	28
3.3	Descripción del reactor biológico	29
3.3.1	Características geométricas.....	32
3.3.2	Sistema de aireación y difusión	33
3.3.2.1	Sistema de aireación	36
3.4	Parámetros hidráulicos de operación	38
3.4.1	Velocidad del afluente de agua residual	38
3.4.2	Velocidad del caudal de recirculación	39
3.4.3	Velocidad de aire del sistema de difusores	40
3.4.4	Caudal de aire del sistema de difusores	41
3.4.5	Velocidad promedio dentro del reactor.....	41
3.4.6	Presión total	42
CAPITULO IV MODELO FLUIDODINÁMICO DEL REACTOR BIOLÓGICO		44
4.1	Modelación geométrica en SolidWorks 2022.....	44
4.1.1	Modelo geométrico de sistema de difusores.....	49
4.1.1.1	Difusores.....	49
4.2	SolidWorks (Flow Simulation).....	52
4.3	Especificaciones técnicas del ordenador.....	57

4.4	Configuración de la malla.....	57
4.4.1	Generación de mallado de los difusores de aire.....	59
4.4.2	Configuración de Condiciones de Contorno.....	59
CAPITULO V RESULTADOS Y ANÁLISIS.....		62
5.1	Análisis del cualitativo.....	62
5.1.1	Resultados y análisis de la Simulación CFD (velocidad)	62
5.1.1.1	Sección del modelo 3D de la velocidad.....	62
5.1.1.2	Trayectorias del flujo de la velocidad.....	63
5.1.2	Resultado y análisis de la simulación CFD (presión)	65
5.1.2.1	Sección del modelo 3D de la presión	65
5.2	Análisis cuantitativo.....	66
5.2.1	Análisis del perfil de velocidad.....	66
5.2.2	Análisis del perfil de presión	69
5.2.3	Perfil de velocidad de la tubería de ingreso y de salida.....	72
5.2.4	Superficies tridimensionales	74
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		79
6.1	Conclusiones	79
6.2	Recomendaciones	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		82
ANEXO 1.....		84
INFORMACION PROPORCIONADA POR LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE SAN BLAS		85
.....		85
ANEXO 2.....		97
INFORMACIÓN OBTENIDA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE SAN BLAS (CAUDALES DEL AFLUENTE)		98

ANEXO 3.....	101
INFORMACIÓN OBTENIDA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE SAN BLAS (CAUDALES DE RECIRCULACIÓN).....	102
ANEXO 4.....	105
ESTADISTICA DESCRIPTIVA DE LOS DATOS RECOPIADOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE LA PTAR DE SAN BLAS	106
ANEXO 5.....	107
VALORES DE VELOCIDADES A DIFERENTES NIVELES DE ALTURAS	108
ANEXO 6.....	109
VALORES DE VELOCIDADES DEL PERFIL DE LA TUBERIA DEL AFLUENTE Y EFLUENTE Y CALCULO DE CAUDAL.....	110
ANEXO 7.....	111
SIMULACIÓN DE FLUJO DE SOLIDWORKS INFORME DEL PROYECTO.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Procesos generales de tratamiento de aguas residuales	9
Tabla 2. Ubicación (U.T.M.) de la PTAR de San Blas.....	27
Tabla 3. Procesos y componentes de la PTAR de San Luis	28
Tabla 4. Dimensiones del reactor.....	32
Tabla 5. Geometría del canal de distribución	33
Tabla 6. Características del difusor de aire	33
Tabla 7. Características del soplador de aire	37
Tabla 8 características del equipo computacional	57
Tabla 9. Condiciones de borde introducidos al software	59
Tabla 10. Condiciones iniciales introducidos al software	60
Tabla 11.Parametro de funcionamiento del difusor.....	69
Tabla 12 Comparación del caudal simulado con él. caudal registrado.....	73
Tabla 13. Comparación de caudal simulado del afluente y el efluente	74
Tabla 14. Rangos típicos de velocidad de salida del aire en difusores de burbuja fina.....	80
Tabla 15. Criterio sobre zonas muertas.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del sistema de lodos activados	11
Figura 2. Difusor de aire de burbuja fina	14
Figura 3. Soplador de aire marca REPICKY	15
Figura 4. Dinámica de fluidos computacionales.....	16
Figura 5. Ubicación geográfica, zona de San Blas	27
Figura 6. Diagrama esquemático de las unidades presentes en la PTAR	29
Figura 7. Reactor biológico de la Planta de Tratamiento de San Blas.....	29
Figura 8. Reactor Biológico de la PTAR de San Blas	30
Figura 9. Tuberías de ingreso, para el suministro de aire al reactor	30
Figura 10. Tuberías el de afluente y recirculación.....	31
Figura 11. Levantamiento de datos, geometría del reactor	31
Figura 12. Reactor biológico, geometría interna	32

Figura 13. Difusor de aire de burbuja fina, tipo RG300	34
Figura 14. Distancia de entre difusores, de lado más corto en (mm).....	34
Figura 15. Dimensiones de una parrilla en (mm)	35
Figura 16. Parrilla con 120 difusores	35
Figura 17. Distancias entre parrillas en (mm).....	36
Figura 18. Distancias entre difusores de lado más largo en (mm).....	36
Figura 19. Sala de máquinas, sopladores de aire	37
Figura 20. Medidor de flujo de aire	38
Figura 21. Abrir un nuevo archivo.....	44
Figura 22. Nueva pieza	44
Figura 23. Ventana de inicio de pieza nueva	45
Figura 24. Selección de tipo de vista, para inicio de trazado.....	46
Figura 25. Trazado de dimensiones del reactor	46
Figura 26. Vista 3D del reactor, con tuberías de ingreso.....	47
Figura 27. Vista 3D, con sus dimensiones	48
Figura 28. Reactor con sus dimensiones y tuberías de ingreso y salida	48
Figura 29. Cámara de distribución dentro del reactor.....	49
Figura 30. Modelo geométrico de un difusor, con sus respectivas distancias	50
Figura 31 Visualización parcial de un grupo de difusores.....	50
Figura 32. Modelado geométrico de las parrillas de difusores	51
Figura 33. Vista 3D del reactor con los 360 difusores.....	51
Figura 34. Modelación geométrica del reactor Biológico	52
Figura 35. Habilidad del complemento.....	53
Figura 36. Wizard-Projet Name	53
Figura 37. Wizard - Unit System	54
Figura 38. Wizard - Analysis Type.....	55
Figura 39. Wizard - Default Fluid.....	55
Figura 40. Wizard - Wall Conditions.....	56
Figura 41. Wizard - Initial Conditions.....	57
Figura 42. Nivel de mallado.....	58
Figura 43. Malla del reactor.....	59

Figura 44. Distribución de Velocidades (Cut Plot), vista longitudinalFuente. SolidWorks.....	62
Figura 45. Distribución de velocidad (cut plot), vista transversal	63
Figura 46. Distribución de velocidades, de acuerdo a la trayectoria, vista trasversal frontal.....	63
Figura 47. Distribución de velocidades, de acuerdo a la trayectoria vista longitudinal frontal....	64
Figura 48. Distribución de velocidades, de acuerdo a la trayectoria vista longitudinal posterior	64
Figura 49. Distribución de presiones (cut plot) vista longitudinal.....	65
Figura 50. Distribución de presiones (cut plot) vista transversal	65
Figura 51. Perfil de velocidad a una altura de 0.28m	66
Figura 52. Perfil de velocidad a una altura de 1m	67
Figura 53. Perfil de velocidad a una altura de 2m	67
Figura 54. Perfil de velocidad a una altura de 3m.	68
Figura 55. Perfil de velocidad a una altura de 4m	68
Figura 56. Perfil de presión a una altura de 0.28m	70
Figura 57. Perfil de presión a una altura de 1m	70
Figura 58. Perfil de presión a una altura de 2m	71
Figura 59. Perfil de presión a una altura de 3m	71
Figura 60. Perfil de presión a una altura de 4m	72
Figura 61. Perfil de velocidad del afluente	72
Figura 62. Perfil de velocidad del efluente	73
Figura 63. Modelo isométrico de velocidad 0-0.1m/s	74
Figura 64. Modelo isométrico de velocidad 0.2-0.3m/s	75
Figura 65. Modelo isométrico de velocidad 0.3-0.5m/s	75
Figura 66. Modelo isométrico de velocidad 0.5-1m/s	76
Figura 67. Modelo isométrico de velocidad 1-1.5m/s	76
Figura 68. Modelo isométrico de velocidad 1.5-2m/s	77
Figura 69. Modelo isométrico de velocidad 2-3m/s	77

GLOSARIO DE SÍMBOLOS

ABREVIACIONES

Abreviación	Descripción
UTM	Universal Trasverse Mercator
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
CFD	Computacional Fluid Dynamic
OD	Oxígeno disuelto
EDTP	Estudio de diseño técnico de Preinversión
HTR	Tiempo de retención hidráulica
OMS	Organización mundial de la salud
TECTAR	Tecnología en tratamiento de aguas residuales
GAMT	Gobierno Autónomo Municipal de Tarija
O2	Oxigeno
ODS	Objetivo de Desarrollo Sostenible
ONU	Organización de Naciones Unidas