

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



**DISEÑO Y SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE AGUA
POTABLE SECTOR TOMATITAS DE LA CIUDAD DE TARIJA**

Por:

YAMIL YOBANI ACOSTA SORUCO

SEMESTRE I - 2023

TARIJA – BOLIVIA

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

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE AGUA
POTABLE SECTOR TOMATITAS DE LA CIUDAD DE TARIJA”**

Por:

YAMIL YOBANI ACOSTA SORUCO

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

SEMESTRE I - 2023

TARIJA-BOLIVIA

Dedicatoria:

A mi madre María quien con su amor, paciencia y esfuerzo me ha permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y perseverancia, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

INDICE

CAPÍTULO I: GENERALIDADES.

1.1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2.	ANTECEDENTES.....	2
1.3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.4.	OBJETIVOS.....	4
1.4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	4
1.4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.5.	JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.....	4
1.6.	HIPÓTESIS.....	5
1.7.	MARCO METODOLÓGICO.....	6
1.7.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	6
1.7.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.7.3.	UNIVERSO DE TRABAJO Y MUESTRA.....	7
1.8.	VARIABLES.....	7
1.9.	METODOLOGÍA.....	9
1.10.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	10
1.11.	ANÁLISIS DE DATOS.....	11

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.

2.1.	MARCO HISTÓRICO.....	12
2.2.	MARCO LEGAL Y/O NORMATIVO.....	13
2.3.	MARCO REFERENCIAL.....	14
2.4.	MARCO CONCEPTUAL.....	18
2.4.1.	CONCEPTOS BÁSICOS.....	18

2.4.2.	RED DE DISTRIBUCIÓN.....	20
2.5.	TIPOS DE REDES.....	21
2.5.1.	RED ABIERTA O RAMIFICADA.....	21
2.5.2.	RED CERRADA O ANILLADA.....	22
2.6.	FORMAS DE DISTRIBUCIÓN.....	23
2.6.1.	DISTRIBUCIÓN POR GRAVEDAD.....	23
2.6.2.	DISTRIBUCIÓN POR BOMBEO DIRECTO A LA RED.....	23
2.6.3.	DISEÑO DE REDES.....	24
2.7.	CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN.....	26
2.7.1.	CAUDAL DE DISEÑO.....	26
2.7.2.	PRESIONES DE SERVICIO.....	27
2.7.3.	VELOCIDADES.....	27
2.7.4.	DIÁMETROS.....	27
2.7.5.	UBICACIÓN DE LAS TUBERÍAS.....	28
2.7.6.	MATERIALES.....	28

CAPÍTULO III: MODELACIÓN EN EPANET.

3.1.	INTRODUCCIÓN.....	29
3.2.	ESCENARIO I.....	29
3.2.1.	POBLACIÓN ACTUAL.....	33
3.3.	ESCENARIO II.....	33
3.4.	OBTENCIÓN DE LOS CAUDALES DE CADA FUENTE DE AGUA DEL SECTOR TOMATITAS.....	33
3.5.	ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL.....	37
3.5.1.	SECTOR 17 CONSUMOS MENSUALES.....	38
3.6.	CAUDALES AFORADOS EN EL SECTOR 17.....	41
3.6.1.	GALERÍA FILTRANTE DEL RÍO ERQUIZ.....	41
3.6.2.	POZO LOS ÁLAMOS.....	42
3.7.	ESCENARIO DE SIMULACIÓN I SECTOR 17: CONDICIONES ACTUALES. 44	
3.7.1.	ASIGNACIÓN DE DEMANDAS.....	44

3.7.2.	DATOS DE LAS FUENTES.....	44
3.8.	RESULTADOS DE LA MODELACIÓN DE LA RED EN LAS CONDICIONES	
	ACTUALES. 48	
3.9.	SECTOR 27 CONSUMOS MENSUALES.....	51
3.10.	CAUDALES AFORADOS EN EL SECTOR 27.....	53
3.10.1.	POZO TOMATAS C.....	53
3.10.2.	POZO EL BOSQUECILLO.....	54
3.11.	ESCENARIO DE SIMULACIÓN I SECTOR 27: CONDICIONES ACTUALES.	
	55	
3.11.1.	ASIGNACIÓN DE DEMANDAS.....	55
3.11.2.	DATOS DE LAS FUENTES.....	56
3.12.	RESULTADOS DE LA MODELACIÓN DE LA RED EN LAS CONDICIONES	
	ACTUALES. 59	
3.13.	ZONA OBRAJES.....	62
3.13.1.	CÁLCULO DE LA POBLACIÓN.....	62
3.13.2.	POBLACIÓN FUTURA (P_f).....	62
3.13.3.	DOTACIÓN FUTURA (D_f).....	63
3.13.4.	CAUDAL MEDIO DIARIO (Q_{md}).....	64
3.13.5.	CAUDAL MÁXIMO DIARIO ($Q_{max. d}$).....	64
3.13.6.	CAUDAL MÁXIMO HORARIO ($Q_{max. h}$).....	64
3.14.	ESCENARIO DE SIMULACIÓN II SECTOR 17: CONDICIONES FUTURAS.	
	67	
3.14.1.	CÁLCULO DE LA POBLACIÓN Y CAUDAL DE DISEÑO.....	67
3.14.2.	POBLACIÓN FUTURA (P_f).....	67
3.14.3.	DOTACIÓN FUTURA (D_f).....	68
3.14.4.	CAUDAL MEDIO DIARIO (Q_{md}).....	68
3.14.5.	CAUDAL MÁXIMO DIARIO ($Q_{max. d}$).....	68
3.14.6.	CAUDAL MÁXIMO HORARIO ($Q_{max. h}$).....	68
3.15.	RESULTADOS DE LA MODELACIÓN DE LA RED EN LAS CONDICIONES	
	FUTURAS SECTOR 17.....	72
3.16.	ESCENARIO DE SIMULACIÓN II SECTOR 27: CONDICIONES FUTURAS.	

3.16.1.	CÁLCULO DE LA POBLACIÓN Y CAUDAL DE DISEÑO.....	75
3.16.2.	POBLACIÓN FUTURA (P_f).....	75
3.16.3.	DOTACIÓN FUTURA.....	76
3.16.4.	CAUDAL MEDIO DIARIO (Q_{md}).....	76
3.16.5.	CAUDAL MÁXIMO DIARIO ($Q_{max. d}$).....	76
3.16.6.	CAUDAL MÁXIMO HORARIO ($Q_{max. h}$).....	76
3.17.	RESULTADOS DE LA MODELACIÓN DE LA RED EN LAS CONDICIONES FUTURAS SECTOR 27.....	79
3.18.	COMPORTAMIENTO DE LA RED ANTE DIFERENTES ESTADOS DE CARGA.....	84
3.19.	RESPUESTA DE LA RED ANTE LA ROTURA DE UNA TUBERÍA.....	90
3.20.	SIMULACIÓN EN PERIODO EXTENDIDO.....	97

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1.	CONCLUSIONES.....	103
4.2.	RECOMENDACIONES.....	105
	BIBLIOGRAFÍA.....	107

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Matriz de la operacionalización de variables.....	8
Tabla 2. Planilla de observación PCE-TDS 100HS.....	11
Tabla 3. Valores del coeficiente K de simultaneidad.....	25
Tabla 4. Volumen de agua producido por el pozo Tomatas C.....	33
Tabla 5. Población del sector 17.....	38
Tabla 6. Consumos Mensuales de los usuarios del sector 17, en m ³ /mes.....	38
Tabla 7. Cálculo de la dotación media diaria (l/h-d).....	39
Tabla 8. Coeficiente de caudal máximo horario K2.....	40
Tabla 9. Caudales Aforados galería filtrante del río Erquiz.....	41
Tabla 10. Caudales aforados pozo los Álamos.....	42
Tabla 11. Datos de las fuentes zona 17.....	44
Tabla 12. Curva de comportamiento galería filtrante del río Erquiz bomba de 25HP.	45
Tabla 13. Curva de Rendimiento Pozo Los Álamos Bomba de 15 HP.....	46
Tabla 14. Población del sector 27.....	51
Tabla 15. Consumos mensuales de los usuarios del sector 27.....	51
Tabla 16. Cálculo de la dotación media diaria (L/h-d).....	52
Tabla 17. Caudales aforados pozo Tomatas C.....	53
Tabla 18. Caudales aforados pozo el bosquecillo.....	54
Tabla 19. Caudales de consumo.....	56
Tabla 20. Datos del pozo Tomatas C.....	56
Tabla 21. Datos de rendimiento de la bomba de 10 HP.....	57

Tabla 22. Dotación media diaria.....	63
Tabla 23. Valores del coeficiente K2.....	64
Tabla 24. Elevación y caudal en cada nudo de la red de Obrajes.....	65
Tabla 25. Ambientes de la unidad educativa Nazaria Ignacia March.....	69
Tabla 26. Dotaciones comerciales, públicas.....	70
Tabla 27. Caudales de consumo sector 17, situación futura.....	71
Tabla 28. Comparación de diámetros de la red.....	72
Tabla 29. Dotaciones comerciales.....	77
Tabla 30. Caudales de consumo sector 27, situación futura.....	78
Tabla 31. Datos de rendimiento de la bomba de 15 HP.....	79
Tabla 32. Peso específico del agua a la presión atmosférica.....	81
Tabla 33. Datos Curva de Modulación.....	97
Tabla 34. Presiones en el Nudo 285 bajo diferentes estados de carga.....	100
Tabla 35. Componentes de EPANET.....	168
Tabla 36. Valor a introducir en la propiedad Consigna.....	176

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Disposición de los sensores, método V.....	11
Figura 2. Sistema de agua potable y alcantarillado sanitario.....	20
Figura 3. Esquema de una red abierta o ramificada.....	21
Figura 4. Esquema de una red cerrada o anillada.....	22
Figura 5. Esquema de distribución por gravedad.....	23
Figura 6. Distribución por bombeo.....	24
Figura 7. Plano de la red, situación actual.....	30
Figura 8. Diámetros de tuberías.....	32
Figura 9. Nomenclatura en tuberías.....	32
Figura 10. Pozo Tomatas C.....	35
Figura 11. Aforo de caudal pozo Tomatas C.....	36
Figura 12. Caudalímetro por ultrasonido PCE-TDS 100HS.....	37
Figura 13. Variaciones horarias de consumo galería filtrante del río Erquiz.....	41
Figura 14. Aforo de caudal en la galería filtrante del río Erquiz.....	42
Figura 15. Variaciones horarias de consumos pozo los Álamos.....	43
Figura 16. Aforo de caudal en el pozo los Álamos.....	43
Figura 17. Curva de rendimiento bomba de 25 HP.....	45
Figura 18. Curva de rendimiento bomba de 15 HP.....	46
Figura 19. Pozo los Álamos.....	47
Figura 20. Resultados de la simulación zona los Álamos.....	48
Figura 21. Resultado de la simulación presiones y velocidades (ampliación 2.018).....	

Figura 22. Resultado de la simulación presiones y velocidades (ampliación 2.015).

Figura 23. Variaciones horarias de consumos pozo Tomatas C.....	54
Figura 24. Variaciones horarias de consumos pozo el Bosquecillo.....	55
Figura 25. Curva de rendimiento bomba de 10 HP.....	57
Figura 26. Pozo Tomatas C.....	58
Figura 27. Resultados de la simulación, presiones y velocidades.....	59
Figura 28. Resultado de la simulación, presiones y velocidades Tomatitas.....	60
Figura 29. Resultado de la simulación, presiones y velocidades (urbanización el callejón de la Victoria).....	61
Figura 30. Zona de Obrajes.....	62
Figura 31. Resultados de la simulación zona Obrajes.....	66
Figura 32. Unidad educativa Nazaria Ignacia March.....	69
Figura 33. Resultado de la simulación presiones y Velocidades (ampliación 2.018) situación futura.....	73
Figura 34. Resultado de la simulación presiones y velocidades (ampliación 2.015) situación futura.....	74
Figura 35. Curva de comportamiento bomba Franklin 15 HP.....	80
Figura 36. Resultados de la simulación, presiones y velocidades situación futura (parte 1).....	82
Figura 37. Resultados de la simulación, presiones y velocidades situación futura (parte 2).....	83

Figura 38. Resultados de la simulación, presiones y velocidades situación futura (parte 3).....	84
Figura 39. Presiones (m.c.a.) y velocidades (m/s).....	85
Figura 40. Presiones (m.c.a.) y velocidades (m/s) al 80 % de consumo.....	86
Figura 41. Presiones (m.c.a.) y velocidades (m/s) al 80 % de consumo (continuación de la red).....	87
Figura 42. Presiones (m.c.a.) y velocidades (m/s), 120% del consumo.....	88
Figura 43. Presiones (m.c.a.) y velocidades (m/s) al 120% del consumo (continuación de la red).....	89
Figura 44. Velocidades (m/s) en la red antes de la rotura.....	90
Figura 45. <i>Presión (m.c.a) en la red antes de la rotura de la tubería</i>	91
Figura 46. Distribución de caudales (m/s) antes de la rotura de la tubería.....	92
Figura 47. <i>Distribución de caudales (m/s) después de la rotura de la tubería</i>	93
Figura 48. Presión (m.c.a) en la red después de la rotura de la tubería.....	94
Figura 49. <i>Presión (m.c.a) en la red aumentando los diámetros en las tuberías 276 y 283</i>	95
Figura 50. Simulación entre las 9:35 am y 10:35 am (presiones).....	99
Figura 51. Simulación a las 9:45 am hora de mayor consumo (velocidades).....	101
Figura 52. Simulación a las 9:45 am hora de mayor consumo (presiones).....	102
Figura 53. Componentes Físicos de una Red.....	167
Figura 54. Tipo de Válvulas.....	173
Figura 55. Curvas Característica para una Válvula de Propósito General.....	176
Figura 56. Entorno de Trabajo EPANET.....	2

Figura 57. Barra de Menú.....	2
Figura 58. Menú del Archivo.....	3
Figura 59. Menú Edición.....	4
Figura 60. Menú Ver.....	5
Figura 61. Menú Proyecto.....	6
Figura 62. Menú Informe.....	6
Figura 63. Menú Ventana.....	7
Figura 64. Menú Ayuda.....	8
Figura 65. Barra de Herramientas Estándar.....	8
Figura 66. Barra de Herramientas de Esquema.....	9
Figura 67. Esquema de la Red.....	10
Figura 68. Visor de Datos.....	11
Figura 69. <i>Visor de Datos, Pestaña Esquema.</i>	12
Figura 70. Catastro de la Ciudad de Tarija.....	12
Figura 71. Esquema de la Red a Modelar.....	14
Figura 72. Como Crear un Nuevo Proyecto.....	16
Figura 73. Valores por Defecto.....	17
Figura 74. Valores por Defecto, Propiedades.....	18
Figura 75. Valores por Defecto, Opciones Hidráulicas.....	19
Figura 76. Opciones del Esquema.....	19
Figura 77. Barra de Herramientas.....	20
Figura 78. Trazado de la Red en EPANET.....	21
Figura 79. Trazado de la Red con la Ayuda de un Mapa de Fondo.....	22

Figura 80. Visor de Datos, Deposito.....	23
Figura 81. Propiedades del Depósito.....	23
Figura 82. Diferentes Niveles Presentes en el Depósito.....	24
Figura 83. Propiedades de los Nodos.....	24
Figura 84. Propiedades de las Tuberías.....	25
Figura 85. Estado de la Simulación.....	25
Figura 86. Visor de Datos y Esquema.....	26
Figura 87. Simulación Exitosa de la Red.....	27
Figura 88. Resultados en la Tubería (campos sombreados en amarillo).....	28
Figura 89. Selección de la Grafica.....	29
Figura 90. Variación de la Presión en el Nudo 1.....	30
Figura 91. Generar Tablas de Resultados.....	31
Figura 92. Resultados de la Simulación.....	31

ÍNDICE DE ANEXOS.

Anexo 1. Estado actual, Datos Iniciales para la Modelación (Cotas, Longitud y Diámetros) Zona17.....	110
Anexo 2. Consumos Medios Mensuales (datos proporcionados por COSAALT Ltda.), Considerando solo Medidores Domésticos Año 2018.....	118
Anexo 3. Número de Familias por Tramo y Caudal en cada Nudo del Sector 17.....	128
Anexo 4. Número de Familias por Tramo y Caudal, Sector 27 Situación Actual.....	133
Anexo 5. Escenario I Situación Actual: Resultados de la Simulación del Sector 17.....	135
Anexo 6. Escenario I Situación Actual: Resultados de la Simulación del Sector 27.....	141
Anexo 7. Número de Familias por Tramo y Caudal en cada Nudo Zona Obrajes.....	143
Anexo 8. Resultados de la Simulación de la Zona de Obrajes.....	145
Anexo 9. Número de Familias por Tramo y Caudal en cada Nudo Zona 17 Situación Futura.....	147
Anexo 10. Diámetros en las Tuberías Situación Actual y Situación Futura.....	152
Anexo 11. Escenario II Situación Futura: Resultados de la Simulación del Sector 17.	155
Anexo 12. Zona 27 Diámetros en las Tuberías Situación Actual y Situación Futura.....	163
Anexo 13. Escenario II Situación Futura: Resultados de la Simulación del Sector 27.	164
Anexo 14. Programa EPANET.....	166
Anexo 15: MANUAL PRÁCTICO DEL PROGRAMA EPANET.....	179