

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
DPTO. DE HIDRÁULICAS Y OBRAS SANITARIAS**



**"MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE AGUA  
POTABLE DEL BARRIO GERMAN BUSCH DE LA CIUDAD  
DE TARIJA MEDIANTE EL SOFTWARE EPANET"**

**Por:**

**SERGIO HUANCA CONDORI**

Proyecto de Grado a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el grado académico de licenciatura en Ingeniería Civil

**SEMESTRE – I/2021**

**Tarija – Bolivia**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
DPTO. DE HIDRÁULICAS Y OBRAS SANITARIAS**

**"MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE AGUA  
POTABLE DEL BARRIO GERMAN BUSCH DE LA CIUDAD  
DE TARIJA MEDIANTE EL SOFTWARE EPANET"**

**Por:**

**SERGIO HUANCA CONDORI**

**SEMESTRE – I/2021**

**Tarija – Bolivia**

**Vo.Bo.**

.....

M.Sc. Ing. Ernesto Roberto Álvarez Gozalvez

**DECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

.....

M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

**VICEDECANA FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**TRIBUNAL:**

.....

**M.Sc. Ing. Oscar Ricaldi Torrez**

.....

**M.Sc. Ing. Juan Carlos Loza Velez**

.....

**M.Sc. Ing. Nelson Rodríguez Lezana**

El docente y tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas del presente tarbajo, siendo éstas responsabilidad del autor.

**Dedicatoria:**

El presente proyecto está dedicado a Dios a mis padres Juan Huanca Alvares y Benita Condori Pacheco, también a mis hermanos, amigos por su ayuda y apoyo constante.

**Agradecimiento:**

Agradecer a Jehová por cuidarme en cada momento en esta pandemia, por darme la fortaleza para seguir y cumplir este proyecto de grado tan anhelado.

Así como también agradecer a mi docente guía de proyecto de grado en la parte de ingeniería y en la parte de la motivación.

A mis docentes tribunales que me ayudaron con el material bibliográfico, la orientación, recomendaciones y consejos que me brindaron.

A todos mis amigos que me apoyaron en la elaboración de este trabajo.

**ÍNDICE**  
**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

	Página
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
1.2.1. Planteamiento del problema .....	2
1.2.2. Sistematización del problema .....	3
1.3. OBJETIVOS .....	3
1.3.1. Objetivo General .....	3
1.3.2. Objetivos Específicos .....	3
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	4
1.4.1. Justificación Teórica .....	4
1.4.2. Justificación Metodológica .....	5
1.4.3. Justificación Práctica .....	5
1.5. HIPÓTESIS .....	5

**CAPÍTULO II**  
**FUNDAMENTO TEÓRICO**

2.1. ANTECEDENTES SOBRE EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO .....	7
2.1.1. Definición de simulación .....	7
2.1.2. Definición de modelo hidráulico .....	7
2.1.3. Componentes de una red .....	7
2.2. TIPOS DE SIMULACIONES .....	12

2.2.1.	Simulación estacionaria.....	13
2.2.2.	Simulación-periodo extendido.....	13
2.3.	CONSTRUCCIÓN DE MODELO HIDRÁULICO .....	14
2.3.1.	Mapas electrónicos y registros .....	14
2.3.2.	Esqueletización.....	15
2.3.3.	Consumo de agua.....	18
2.3.4.	Ubicación de medición de presión y caudal .....	21
2.3.5.	Multiplicador de demanda .....	22
2.4.	CALIBRACIÓN DE MODELO HIDRÁULICO.....	23
2.5.	VALIDACIÓN DE MODELO HIDRÁULICO .....	27
2.6.	INTRODUCCIÓN A EPANET.....	27
2.6.1.	Qué es EPANET.....	27
2.6.2.	Capacidades para la confección de modelos hidráulicos.....	28
2.7.	EL MODELO DE LA RED.....	29
2.7.1.	Componentes físicos.....	29
2.7.2.	Componentes no físicos.....	39
2.7.3.	El modelo de la simulación hidráulica .....	44
2.8.	EL ENTORNO DE TRABAJO DE EPANET .....	45
2.8.1.	Introducción.....	45
2.8.2.	La barra de menús.....	46
2.8.3.	Las barras de herramientas .....	50



2.8.4.	La barra de estado.....	51
2.8.5.	El esquema de la red.....	52
2.8.6.	El visor de datos .....	52
2.8.7.	El visor del esquema.....	53
2.8.8.	El Editor de Propiedades .....	54
2.9.	EL ENTORNO DEL PROYECTO.....	55
2.9.1.	Abrir y cerrar archivos del proyecto.....	55
2.9.2.	Valores por defecto del proyecto.....	56
2.9.3.	Datos de calibración .....	59
2.9.4.	El resumen del proyecto .....	60
2.10.	EL ESQUEMA DE LA RED.....	60
2.10.1.	Seleccionar el modo de presentar el esquema .....	60
2.10.2.	Establecer las dimensiones del área de dibujo.....	61
2.10.3.	Utilizar un mapa de fondo .....	63
2.10.4.	Acercar o alejar el esquema.....	64
2.10.5.	Desplazar el esquema .....	65
2.10.6.	Buscar un objeto .....	66
2.10.7.	Las leyendas del esquema.....	67
2.10.8.	Vista general del esquema .....	69
2.11.	ANÁLISIS DE LA RED.....	70
2.11.1.	Opciones de cálculo.....	70

2.11.2. Ejecutar una simulación.....	70
2.11.3. Resolución de problemas.....	71
2.12. PRESENTACIÓN DE RESULTADO .....	73
2.12.1. Presentación de resultados sobre el esquema .....	73
2.12.2. Presentación de resultados mediante gráficas .....	75
2.12.3. Presentación de resultados mediante tablas.....	78
2.12.4. Informes especiales.....	82

### CAPÍTULO III

#### APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE LAS FALENCIAS DEL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	88
3.1.1. Informe de las falencias del suministro de agua en la zona de estudio por parte de las personas locales.....	88
3.1.2. Informe de las falencias del suministro de agua en la zona de estudio por parte de la empresa COSAALT.....	89
3.2. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	89
3.3. INFORMACIÓN DE LA RED.....	90
3.3.1. Antecedentes de la zona de estudio .....	90
3.3.2. Clasificación de la red .....	90
3.4. ELEMENTOS DE LA RED .....	91
3.4.1. Tubería.....	91
3.4.2. Válvulas.....	94

3.4.3.	Tanque .....	94
3.4.4.	Bomba.....	95
3.4.5.	Propiedades de los Nudos.....	96
3.5.	SECTORIZACIÓN DE LA RED .....	99
3.6.	MEDICIÓN DE LA DOTACIÓN DEL TANQUE.....	100
3.6.1.	Ubicación del tanque .....	100
3.6.2.	Dimensiones del tanque.....	101
3.6.3.	Medición del tanque .....	101
3.7.	MEDICIÓN DE PRESIÓN HORARIA PUNTUAL.....	103
3.7.1.	Ubicación de los puntos de medición.....	103
3.7.2.	Aspecto generales de tomar en cuenta en la medición .....	105
3.7.3.	Medición de Presión .....	106
3.8.	INSTRUMENTOS Y EQUIPOS A SER UTILIZADOS .....	106
3.9.	APLICACIÓN DE LA CALIBRACIÓN .....	109
3.9.1.	Macro Calibración .....	109
3.9.2.	Micro Calibración.....	110
3.10.	SIMULACIÓN DE LA RED EN ESTADO REAL .....	118
3.10.1.	Parámetro de Simulación.....	119
3.10.2.	Resultados de la Simulación.....	120
3.10.3.	Análisis de Simulación .....	120
3.11.	SIMULACIÓN DE LA RED EN PROYECCIÓN FUTURA.....	121
3.11.1.	Parámetros de Simulación .....	122

3.11.2. Resultados de Simulación.....	129
3.11.3. Análisis de Simulación.....	129

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES.....	131
4.2. RECOMENDACIONES.....	132

### BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

#### ANEXOS:

- ANEXOS A: Registro-lecturación del nivel de agua del Tanque
- ANEXOS B: Curva de descarga del Tanque
- ANEXOS C: Registro de lecturación de Manómetro
- ANEXOS D: Curva de Modulación diurna a nivel día
- ANEXOS E: Informe de resultados de modelación en estado Real
- ANEXOS F: Informe de resultados de modelación en Proyección Futura

#### PLANOS

- PLANO 1: Tanque de Almacenamiento
- PLANO 2: Sistema de Red Actual
- PLANO 3: Sistema de Red Futura
- PLANO 4: Ubicación de equipos de medición

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Accesorios.....	12
Figura 2.2 Mapas Digitales de COSAALT.....	14
Figura 2.3 Una red totalmente enlazada.....	16
Figura 2.4 Esqueletización mínima.....	16
Figura 2.5 Esqueletización moderada.....	17
Figura 2.6 Esqueletización máxima.....	18
Figura 2.7 Ilustración del Método del Área.....	20

Figura 2.8 Ilustración del Método Basado en Punto .....	21
Figura 2.9 Esquemas de una red de distribución dividida en Distritos de Medición .....	22
Figura 2.10 Diagrama de flujo del proceso de modelado.....	24
Figura 2.11 Niveles de análisis para calibrar.....	25
Figura 2.12 Flujo de calibración manual .....	26
Figura 2.13 Calibración usando la Línea Piezometrica.....	26
Figura 2.14 Componentes físicos de la red.....	29
Figura 2.15 Ejemplos de Curvas Características de una Bomba.....	40
Figura 2.16 Curva de Rendimiento de una Bomba .....	41
Figura 2.17 Curva de Cubicación de un Depósito.....	42
Figura 2.18 Entorno de trabajo de EPANET .....	46
Figura 2.19 Visor de datos.....	53
Figura 2.20 Visor del Esquema .....	53
Figura 2.21 Editor de propiedades.....	54
Figura 2.22 Página para establecer los Identificativos ID por Defecto .....	58
Figura 2.23 Página para establecer las Propiedades por Defecto.....	59
Figura 2.24 Diálogo para fijar las Dimensiones del Área de Dibujo .....	63
Figura 2.25 Mapa de fondo.....	65
Figura 2.26 Leyendas del esquema.....	68
Figura 2.27 Dialogo del Editor de Leyedas .....	70
Figura 2.28 Vista general del esquema.....	70
Figura 2.29 Consultas sobre el Esquema.....	75
Figura 2.30 Ejemplos de diferentes Tipos de Gráficas.....	78
Figura 2.31 Ejemplo de una Tabla de Nudos de la Red .....	79
Figura 2.32 Entrada al Diálogo de Selección/Opciones de la Tabla .....	80

Figura 2.33 Diálogo de Selección/Opciones de la Tabla.....	81
Figura 2.34 Página de Filtros de diálogo de Selección/Opciones de la Tabla.....	82
Figura 2.35 Extracto de un Informe de Estado.....	83
Figura 2.36 Extracto de un Informe de Energia .....	84
Figura 2.37 Dialogo de Opciones del Informe de Calibración.....	85
Figura 2.38 Ejemplo de un Informe de Calibración .....	86
Figura 3.1 División de encuentra del buen suministro de los usuarios .....	88
Figura 3.2 Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	89
Figura 3.3 Red del sistema de agua potable del barrio German Busch .....	91
Figura 3.4 Tuberías instaladas en la red .....	92
Figura 3.5 Válvulas de la red en el Tanque .....	94
Figura 3.6 Tanque de almacenamiento.....	95
Figura 3.7 Bombas sumergibles .....	97
Figura 3.8 Sectorización de la red .....	100
Figura 3.9 Ubicación del tanque de almacenamiento.....	102
Figura 3.10 Ubicación de los manómetros.....	103
Figura 3.11 Instalación del manómetro en el nudo n25 .....	106
Figura 3.12 Instalación del manómetro en el nudo n1 .....	106
Figura 3.13 Flexometro .....	109
Figura 3.14 Reloj digital en celular .....	110
Figura 3.15 Manómetro .....	110
Figura 3.16 Cinta Teflón .....	111
Figura 3.17 Alicata de Bomba de agua.....	111
Figura 3.18 Llave crecen .....	112
Figura 3.19 Curva de Modulación Semanal .....	116

Figura 3.20 Curva de Modulación Semanal de Valores Extremos.....	116
Figura 3.21 Introducción de Datos de Medidos .....	114
Figura 3.22 Resumen de la Estadística de Calibración para presiones .....	114
Figura 3.23 Correlación de Presiones Observada vs Simulada .....	115
Figura 3.24 Comparación de valores medios de presiones .....	116
Figura 3.25 Presiones Simuladas en los nudos observados.....	116
Figura 3.26 Situación Real de la Red .....	118
Figura 3.27 Mapa de Isolineas – Presiones 10:00 am .....	120
Figura 3.28 Situación futura de la red .....	122
Figura 3.29 Hotel Viña del Sur Cerrado durante la pandemia .....	126
Figura 3.30 Centro de Salud Villa Busch.....	126
Figura 3.31 Construcción del Instituto Tecnológico Simón Bolívar.....	127
Figura 3.32 Vivienda Multifamiliar.....	128
Figura 3.33 Mapa de Isolineas – Presiones 10:00 am .....	130

#### ÍNDICE DE TABLA

Tabla 2.1 Recomendaciones para calibración flujo y presión .....	27
Tabla 2.2 Fórmula de pérdida de carga para tubería llena.....	33
Tabla 2.3 Coeficiente de Rugosidad para Tubería Nueva.....	34
Tabla 2.4 Coeficiente de Pérdida Menores para algunos Accesorios.....	35
Tabla 3.1 Línea y Nudos de la red.....	93
Tabla 3.2 Propiedades de los nudos.....	97
Tabla 3.3 Demanda base de los nudos.....	98
Tabla 3.4 Modelo de planilla de medición .....	102
Tabla 3.5 Modelo de planilla de medición de presiones .....	105

Tabla 3.6 Macro Calibración .....	109
Tabla 3.7 Contenido de Curva de Modulación.....	111
Tabla 3.8 Registro de Presión en el Nudo ID: n25 en (mca).....	113
Tabla 3.9 Registro de Presión en el Nudo ID: n1 en (mca).....	113
Tabla 3.10 Porcentaje de Error entre la presión simulada y la observada.....	117
Tabla 3.11 Dotación media diaria (L/hab-d) .....	123
Tabla 3.12 Distribucion de Caudales a nudos proyección 2040.....	128
Tabla 3.13 Cambio de Diámetros de tuberías para el 2040.....	129