

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



**COMPARACIÓN DE MÉTODOS COMPUTACIONALES
PARA EL DISEÑO DE REDES DE AGUA POTABLE SEGÚN
LA NB-689 APLICADO AL SISTEMA DE AGUA POTABLE
“CHIRIMOYAL - YACUIBA”**

POR:

HUGO RAFAEL PERALTA VEGA

SEMESTRE I - 2025

TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA:

Dedico este trabajo a mis padres, Wilder Peralta y Elia Vega, maestros de vocación y de vida, quienes con amor y sacrificio cimentaron cada paso de mi camino; y a mi hermano, Paúl Peralta Vega, cuya inspiración —a pesar de la distancia— me enseñó el valor silencioso de la perseverancia.

A ustedes, todo mi cariño, gratitud y respeto.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1.	Antecedentes	1
1.2.	Planteamiento del problema	3
1.3.	Objetivos	3
1.3.1.	Objetivo general	3
1.3.2.	Objetivos específicos	3
1.4.	Hipótesis	4
1.5.	Justificación	4
1.6.	Alcance del estudio	5
1.6.1.	Alcance temático	5
1.6.2.	Alcance geográfico	5
1.6.3.	Alcance temporal	5

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1.	Servicio de Agua Potable	6
2.2.	Componentes de un sistema de agua potable	6
2.2.1.	Obra de toma	6
2.2.2.	Aducción de agua	7
2.2.2.1.	Aducción por gravedad	7
2.2.2.2.	Aducción por bombeo	7
2.2.3.	Planta potabilizadora	8
2.2.4.	Tanque de almacenamiento y regulación	9
2.2.5.	Red de distribución	9
2.2.5.1.	Red de distribución abierta	10
2.2.5.2.	Red de distribución cerrada o mallada	10
2.2.5.3.	Red mixta o combinada	10
2.3.	Formas de distribución	11
2.3.1.	Por gravedad	11
2.3.2.	Distribución por bombeo directo a la red	11
2.4.	Elementos de una red	12
2.4.1.	Tubería	12

2.4.2.	Piezas especiales.....	14
2.4.3.	Válvulas.....	14
2.4.3.1.	Válvulas de compuerta.....	15
2.4.3.2.	Válvulas de mariposa.....	15
2.4.3.3.	Válvulas para admisión y expulsión de aire.....	15
2.4.3.4.	Válvulas de retención.....	16
2.5.	Hidráulica aplicada al diseño de redes	17
2.5.1.	Ecuación de la continuidad.....	17
2.5.2.	Ecuación de Bernoulli	19
2.5.3.	Ecuaciones de pérdidas de Carga.....	20
2.5.4.	Ecuación de Darcy Weisbach.....	21
2.5.5.	Ecuación de Hazen-Williams.....	22
2.5.6.	Pérdidas de carga locales.....	23
2.6.	Norma Boliviana de Diseño de Sistemas de Agua Potable (NB 689)	23
2.6.1.	Introducción.....	23
2.6.2.	Parámetros básicos de diseño	24
2.6.2.1.	El período de diseño	24
2.6.2.2.	Población de proyecto (<i>Pf</i>).....	25
a)	Métodos de cálculo.....	25
2.6.2.3.	Dotación media diaria (<i>Do</i>).....	26
2.6.2.4.	Dotación futura de agua (<i>Df</i>).....	26
2.6.2.5.	Caudales de diseño.....	27
a)	Caudal medio diario (<i>Qmd</i>)	27
b)	Caudal máximo diario (<i>Qmaxd</i>)	27
c)	Caudal máximo horario (<i>Qmaxh</i>)	28
d)	Caudales de instituciones.....	28
2.6.3.	Aducción.....	29
2.6.3.1.	Caudal de diseño (bombeo) (<i>Qb</i>)	29
2.6.3.2.	Presiones	30
a)	Presión estática	30
b)	Presión dinámica.....	30
c)	Gradiente hidráulica (L.G.H.).....	30
2.6.3.3.	Velocidades	31
2.6.3.4.	Profundidad de instalación de tubería	31
2.6.4.	Redes de Distribución.....	31
2.6.4.1.	Caudales de diseño.....	31
a)	Método del número de familias	32
2.6.4.2.	Presiones de servicio	32
2.6.4.3.	Velocidades	32

2.6.4.4.	Diámetros mínimos	32
2.6.4.5.	Válvulas	33
a)	Válvulas de control.....	33
b)	Válvulas de retención	33
2.7.	Conceptos previos a la Modelación	33
2.7.1.	Modelación hidráulica	33
2.7.2.	Tipos de Modelos Hidráulicos	33
2.7.2.1.	Modelos operacionales o de diseño	33
a)	Estáticos o de flujo permanente	34
b)	Dinámicos o de flujo no permanente	34
2.7.3.	Etapas de modelación de Diseño	34
2.7.3.1.	Determinar el tipo de problemas a resolver.....	34
2.7.3.2.	Recopilación de Información	35
2.7.3.3.	Topología de la red.....	35
a)	Nodos.....	35
b)	Depósitos o tanques de almacenamiento	35
c)	Fuentes de abastecimiento	35
d)	Tuberías	36
e)	Bombas	36
f)	Válvulas.....	36
2.7.3.4.	Asignación de demanda	37
2.7.4.	Principales softwares	37
2.7.4.1.	EPANET.....	38
a)	Capacidades para la confección de Modelos Hidráulicos.....	38
2.7.4.2.	WaterCAD	39
a)	Capacidades para la confección de Modelos Hidráulicos.....	40
2.7.4.3.	AquasystemS PRO	40
a)	Propósito del uso de AquasystemS PRO	41
b)	Metodología de diseño hidráulico con AquasystemS PRO	41
c)	Aplicaciones del método en AquasystemS PRO	41

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1.	Método.....	42
3.2.	Tipo de Investigación	42
3.3.	Nivel de Investigación	42
3.4.	Enfoque	42

3.5.	Delimitación del Estudio	43
3.5.1.	Ubicación geográfica	43
3.5.2.	Descripción Fisiográfica	44
3.5.3.	Descripción hidrográfica	44
3.5.4.	Geomorfológicamente	45
3.5.5.	Clima	45
3.5.6.	Población del Área del Proyecto	45
3.5.6.1.	Tamaño Promedio de las Familias	46
3.5.6.2.	Estabilidad Poblacional	46
3.6.	Información inicial	46
3.6.1.	Topografía	46
3.6.2.	Población	47
3.6.3.	Instituciones	47
3.6.4.	Dotación	48
3.6.5.	Softwares	48

CAPÍTULO IV: DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1.	Información general	49
4.2.	Parámetros de diseño	49
4.2.1.	Definición del periodo de diseño (T)	49
4.2.2.	Cálculo de la Población del proyecto (P_f)	49
4.2.3.	Dotación media diaria (D_o)	50
4.2.4.	Dotación futura de agua (D_f)	50
4.2.5.	Consumo medio diario anual (Q_{md})	50
4.2.6.	Consumo máximo diario (Q_{maxd})	50
4.2.7.	Consumo máximo horario (Q_{maxh})	51
4.2.8.	Cálculo caudal unitario (Q_u)	51
4.2.9.	Caudales de instituciones (Q_e)	51
4.2.10.	Caudal de bombeo (Q_b)	52
4.3.	Proceso de simulación	52
4.3.1.	Definición del objetivo de simulación	52
4.3.2.	Preparación de datos topográficos	52
4.3.2.1.	Topografía	53
4.3.3.	Aplicación WaterCAD	57
4.3.3.1.	Aducción	57
a)	Configuración	57
b)	Construcción topológica	59

c)	Edición de datos.....	65
d)	Representación elementos más complejos.....	66
e)	Validación del Modelo y Cálculo Hidráulico.....	75
f)	Análisis de Resultados Iniciales y Ajuste del Diseño (proceso de diseño iterativo).....	76
I.	Ajuste de la Curva Característica de la Bomba mediante Curva del Sistema	77
g)	Creación de escenarios	80
h)	Resultados.....	82
4.3.3.2.	Red de distribución	88
a)	Construcción topológica y configuración	89
b)	Creación de secciones de la red	90
c)	Asignación de demandas	90
d)	Edición y configuración masiva de los elementos.....	94
e)	Análisis de Resultados Iniciales y Ajuste del Diseño (proceso de diseño iterativo).....	96
f)	Resultados.....	97
I.	Presión dinámica mínima (P.D. min.) y velocidades	97
II.	Presión estática máxima (P.E. máx.)	105
4.3.4.	Aplicación EPANET.....	109
4.3.4.1.	Aducción	109
a)	Configuración	109
b)	Construcción topológica	109
c)	Edición de datos.....	115
d)	Representación elementos más complejos.....	117
e)	Análisis de Resultados Iniciales y Ajuste del Diseño (proceso de diseño iterativo).....	121
f)	Validación del Modelo y Cálculo Hidráulico.....	122
g)	Creación de escenarios	122
h)	Resultados.....	123
4.3.4.2.	Red de distribución	128
a)	Construcción topológica y configuración	128
b)	Creación de secciones de la red	129
c)	Asignación de demandas	130
d)	Edición y configuración masiva de los elementos.....	130
e)	Análisis de Resultados Iniciales y Ajuste del Diseño (proceso de diseño iterativo).....	131
f)	Resultados.....	132
I.	Presión dinámica mínima (P.D. min.) y velocidades	132
II.	Presión estática máxima	137
4.3.5.	Aplicación AquasystemS PRO	141
4.3.5.1.	Aducción	141
a)	Configuración	141
b)	Construcción topológica	141
c)	Edición de datos.....	147

d)	Representación elementos más complejos.....	151
e)	Validación del Modelo y Cálculo Hidráulico.....	153
f)	Análisis de Resultados Iniciales y Ajuste del Diseño (proceso de diseño iterativo)	155
g)	Creación de escenarios	157
h)	Resultados.....	157
4.3.5.2.	Red de distribución	159
a)	Construcción topológica y configuración	159
b)	Creación de secciones de la red	160
c)	Asignación de demandas	161
d)	Edición y configuración masiva de los elementos.....	162
e)	Análisis de Resultados Iniciales y Ajuste del Diseño (proceso de diseño iterativo)	162
f)	Resultados.....	162
I.	Presión dinámica mínima (P.D. min.) y velocidades	162
II.	Presión estática máxima	163

CAPÍTULO V: ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

5.1.	Análisis de manejo y Operación.....	166
5.2.	Análisis de resultados de simulación de Aducción	173
5.3.	Análisis de resultados de la Red de Distribución	176
5.4.	Análisis numérico de resultados modelación aducción	179
5.5.	Análisis numérico de resultados modelación red de distribución	181
5.6.	Hallazgos y Principios para la Buena Práctica de la Modelación Hidráulica	184
5.6.1.	Principio de Precisión: Influencia de los Diámetros Internos Reales y Temperatura del Agua	185
5.6.2.	Principio de Simulación Dinámica: La Superioridad del Análisis en Período Extendido (EPS)	185
5.6.3.	Principio de Claridad Conceptual: La Distinción entre Presiones Dinámicas y Estáticas Reportadas por los Softwares	186
5.6.4.	Principio de Granularidad: La Ubicación Precisa de las Demandas	187
5.6.5.	Principio de Criticidad Real: La Identificación del Verdadero Punto Crítico	187
5.6.6.	Principio de Simulación Adaptable: La Verificación de Requisitos Normativos Específicos	188
5.6.7.	Principio de Consistencia Lógica: Coherencia entre Topología y Demandas en Simulaciones de Período Extendido (EPS).....	189
5.6.8.	Principio de Configuración Explícita: El Estado Inicial de los Elementos de Control	190

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones 192

6.2. Validación de la Hipótesis 193

6.3. Recomendaciones 194

BIBLIOGRAFÍA197

WEBGRAFÍA198

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO “A”. Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) Pozo Gobernación 2015

ANEXO “B”. Tablas Simulación Red de Distribución AquasystemS PRO

ANEXO “C”. Tablas Simulación WaterCAD

ANEXO “D”. Tablas Simulación EPANET

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.2.1: Aducción por gravedad.	7
Figura 2.2.2: Aducción por bombeo.	8
Figura 2.2.3 Tanque de almacenamiento y regulación.	9
Figura 2.2.4: Tipos distribución de acuerdo son su topología.	10
Figura 2.3.1: Tanque de almacenamiento elevado.	11
Figura 2.3.2: Distribución por bombeo.	12
Figura 2.4.1: Tubería de diferentes materiales.	13
Figura 2.4.2: Piezas especiales con unión brida.	14
Figura 2.4.3: Válvula compuerta y mariposa.	15
Figura 2.4.4: Válvula de doble propósito.	16
Figura 2.4.5: Válvulas Check.	17
Figura 2.5.1: Conservación de la masa en la dinámica de los fluidos.	18
Figura 2.5.2: Esquema Teorema de Bernoulli.	19
Figura 2.6.1: Cargas estática y dinámica de la línea de conducción.	30
Figura 2.7.1: Representación Topológica de una red de agua potable.	37
Figura 3.5.1: Ubicación geográfica contexto nacional.	43
Figura 3.5.2: Ubicación geográfica contexto municipal.	44
Figura 4.3.1: Aducción Chirimoyal.	63
Figura 4.3.2 : Diagrama pozo profundo Chirimoyal.	68
Figura 4.3.3: Esquema configuración bomba.	70
Figura 4.3.4: Esquema configuración tanque elevado.	73
Figura 4.3.5: Cálculo curva perdida de carga de una válvula compuerta de 3 pulgadas de diámetro para un rango de caudal definido.	74
Figura 4.3.6: Red de distribución Chirimoyal.	89
Figura 4.3.7: Esquema configuración pozo y bomba.	119
Figura 4.3.8: Esquema configuración Tanque elevado.	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.4.1: Tubería PVC clase 12 (120m.c.a.).....	13
Tabla 2.6.1: Período de diseño (años).	24
Tabla 2.6.2: Aplicación de los métodos de cálculo para estimación de la población futura.	25
Tabla 2.6.3: Dotación media diaria (l/Hab/d).....	26
Tabla 2.6.4: Valores para el coeficiente K_2	28
Tabla 2.6.5: Cuadro de dotaciones comerciales, públicas. Valores referenciales.....	29
Tabla 3.5.1: Población diferenciada por sexo.....	45
Tabla 3.5.2 Número de familias.	46
Tabla 3.6.1: Población Beneficiaria.	47
Tabla 3.6.2: Estudiantes U.E. Chirimoyal.....	47
Tabla 4.3.1: Resultados aducción WaterCAD.	87
Tabla 4.3.2: Resultados de La tubería principal de la red (WaterCAD).....	107
Tabla 4.3.3: Resultados Ramal N°1 (WaterCAD).....	107
Tabla 4.3.4: Resultados Ramal N°2 (WaterCAD).....	108
Tabla 4.3.5: Resultados Conexión domiciliaria (WaterCAD).....	108
Tabla 4.3.6: Resultados Aducción EPANET.	128
Tabla 4.3.7: Resultados de La tubería principal de la red (EPANET).....	139
Tabla 4.3.8: Resultados Ramal N°1 (EPANET).....	139
Tabla 4.3.9: Resultados Ramal N°2 (EPANET).....	140
Tabla 4.3.10: Resultados Conexión domiciliaria (EPANET).....	140
Tabla 4.3.11: Tabla de importación Puntos para construcción Topológica.	142
Tabla 4.3.12: Resultados Aducción AquasystemS PRO.....	159
Tabla 4.3.13: Resultados de La tubería principal de la red (AquasystemS PRO).....	164
Tabla 4.3.14: Resultados Ramal N° 1 (AquasystemS PRO).	164
Tabla 4.3.15: Resultados Ramal N° 2 (AquasystemS PRO).	165

Tabla 5.1.1: Matriz comparativa de Manejo de Softwares.	167
Tabla 5.2.1: Matriz comparativa de Resultados de simulación de Aducción.	173
Tabla 5.3.1: Matriz comparativa Red de Distribución.	176
Tabla 5.4.1: Comparación de resultados Aducción.	180
Tabla 5.5.1: Comparación resultados Tubería Principal.....	182
Tabla 5.5.2: Comparación resultados Ramal N°1.	182
Tabla 5.5.3: Comparación resultados Ramal N°2.	183