

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



**MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO**  
**DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE, APLICANDO EL SOFTWARE**  
**EPANET, EN EL SECTOR VELA DE LA CIUDAD DE TARIJA**

Por:

**MARIO ALBERTO BENITEZ LAUREANO**

Proyecto presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"**, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

**SEMESTRE I – 2022**

**TARIJA – BOLIVIA**

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

**MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO**  
**DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE, APLICANDO EL SOFTWARE**  
**EPANET, EN EL SECTOR VELA DE LA CIUDAD DE TARIJA**

Por:

**MARIO ALBERTO BENITEZ LAUREANO**

**SEMESTRE I – 2022**

**TARIJA – BOLIVIA**

VºBº

---

M.Sc.Ing. Jose Navia Ojeda  
Sanchez  
DECANO FAC. DE CS. TEC.

---

M.Sc.Ing. Marlene Simons  
VICEDECANA FAC. DE CS. TEC.

**TRIBUNAL:**

---

M.Sc.Ing. Loza Velez Juan Carlos

---

M.Sc.Ing. Ricaldi Torrez Oscar

---

M.Sc.Ing. Lozano Velasquez Moises

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi familia, especialmente a mis padres Mario y Melina, por su apoyo incondicional durante mi formación académica, les estaré eternamente agradecido por la educación y valores que me inculcaron, ver el esfuerzo que hacen a diario para que no me falte nada, me conmueve y me hace sentir una persona muy afortunada, de tenerlos como padres, ¡son como un gran regalo de la vida!.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a Dios por permitirme estar presente hoy aquí y guiarme a lo largo de todo este camino.

A mis padres, por hacer posible este proceso de mi formación académica.

A mis hermanos, incondicionales en los momentos de alegrías y tristezas.

A los docentes de la FCyT, por guiarme y brindarme su conocimiento y guiarme a culminar la carrera.

A la Cooperativa de Servicios de Agua y Alcantarillado de Tarija (COSAALT Ltda.), por todo su apoyo y tiempo brindado, a través de la Ing. Noira Higuera Fernández, que con su predisposición a colaborar, efectivizaron la realización de este trabajo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| 1. CAPÍTULO I: ANÁLISIS DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN ..... | 1  |
| 1.1. Introducción .....                                     | 1  |
| 1.2. Ubicación Geográfica.....                              | 2  |
| 1.2.1. Descripción Específica del Área de Estudio.....      | 2  |
| 1.2.1.1. Ubicación del Estudio.....                         | 2  |
| 1.2.1.2. Vías de Acceso.....                                | 4  |
| 1.3. Descripción del Problema .....                         | 5  |
| 1.3.1. Planteamiento del Problema .....                     | 5  |
| 1.3.2. Formulación del Problema.....                        | 5  |
| 1.3.3. Sistematización del Problema.....                    | 6  |
| 1.4. Objetivos .....  | 6  |
| 1.4.1. Objetivo General.....                                | 6  |
| 1.4.2. Objetivos Específicos .....                          | 6  |
| 1.5. Hipótesis.....   | 7  |
| 1.6. Justificación del tema .....                           | 7  |
| 1.6.1. Justificación Teórica.....                           | 7  |
| 1.6.2. Justificación Práctica .....                         | 8  |
| 1.6.3. Justificación Metodológica.....                      | 8  |
| 2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....                         | 9  |
| 2.1. Marco Histórico.....                                   | 9  |
| 2.1.1. Antecedentes de Investigación .....                  | 9  |
| 2.1.1.1. A Nivel Internacional.....                         | 9  |
| 2.1.1.2. A Nivel Local.....                                 | 12 |
| 2.2. Marco Conceptual .....                                 | 13 |
| 2.2.1. Redes de Distribución.....                           | 13 |
| 2.2.2. Definición.....                                      | 13 |
| 2.2.3. Tipos de Redes.....                                  | 14 |
| 2.2.3.1. Red Abierta o Ramificada.....                      | 14 |
| 2.2.3.2. Red cerrada o Anillada .....                       | 14 |
| 2.2.3.3. Red mixta o Combinada .....                        | 14 |

|   |    |
|---|----|
| 2.2.4. Formas de distribución .....                         | 15 |
| 2.2.4.1. Distribución por Gravedad.....                     | 15 |
| 2.2.4.2. Distribución por Bombeo.....                       | 16 |
| 2.2.4.2.1. Bombeo Directo a la Red .....                    | 16 |
| 2.2.4.2.2. Bombeo Directo a la Red con Almacenamiento ..... | 16 |
| 2.2.5. Componentes de una Red .....                         | 16 |
| 2.2.5.1. Tuberías .....                                     | 16 |
| 2.2.5.2. Piezas especiales .....                            | 17 |
| 2.2.5.3. Válvulas .....                                     | 18 |
| 2.2.5.4. Tanques de distribución .....                      | 18 |
| 2.2.5.4.1. Tanques Superficiales .....                      | 19 |
| 2.2.5.4.2. Tanques Elevados.....                            | 20 |
| 2.2.5.5. Tomas Domiciliarias.....                           | 20 |
| 2.2.5.6. Bombas .....                                       | 20 |
| 2.2.6. Parámetros Básicos de Diseño.....                    | 22 |
| 2.2.6.1. Población del Proyecto .....                       | 22 |
| 2.2.6.1.1. Población Inicial.....                           | 23 |
| 2.2.6.1.2. Población Futura .....                           | 23 |
| 2.2.6.1.3. Métodos de Cálculo de Población.....             | 23 |
| 2.2.6.2. Área de Proyecto.....                              | 24 |
| 2.2.6.3. Consumo de Agua.....                               | 24 |
| 2.2.6.3.1. Consumo Doméstico .....                          | 24 |
| 2.2.6.3.2. Consumo Comercial e Industrial.....              | 25 |
| 2.2.6.3.3. Consumo Público .....                            | 25 |
| 2.2.6.4. Dotación Media Diaria.....                         | 25 |
| 2.2.6.5. Dotación Futura de Agua .....                      | 26 |
| 2.2.6.6. Caudales De Diseño.....                            | 27 |
| 2.2.6.6.1. Caudal Medio Diario.....                         | 27 |
| 2.2.6.6.2. Caudal Máximo Diario.....                        | 27 |
| 2.2.6.6.3. Caudal Máximo Horario .....                      | 28 |
| 2.2.6.7. Determinación de Caudales en Redes Cerradas.....   | 28 |

|  |    |
|--|----|
| 2.2.6.7.1. Método de Área Unitaria.....                                  | 28 |
| 2.2.6.7.2. Método de Densidad Poblacional.....                           | 29 |
| 2.2.6.7.3. Método de longitud unitaria.....                              | 29 |
| 2.2.6.7.4. Método de la Repartición Media.....                           | 29 |
| 2.2.6.7.5. Método del Número de Familias.....                            | 29 |
| 2.2.6.7.6. Determinación de Caudales en Redes Abiertas .....             | 29 |
| 2.2.6.8. Determinación de Caudal en Piletas Públicas.....                | 30 |
| 2.2.6.9. Delimitación de Zonas de Presión .....                          | 30 |
| 2.2.6.10. Trazado de la Red .....  | 31 |
| 2.2.6.11. Presiones de Servicio .....                                    | 31 |
| 2.2.6.12. Velocidades.....   | 32 |
| 2.2.6.13. Diámetros Mínimos .....  | 32 |
| 2.2.6.14. Análisis Hidráulico .....                                      | 32 |
| 2.2.6.14.1. Diseño Hidráulico en Redes Abiertas .....                    | 32 |
| 2.2.6.14.2. Diseño Hidráulico de Redes Cerradas.....                     | 33 |
| 2.2.6.15. Estaciones De Bombeo .....                                     | 34 |
| 2.2.6.15.1. Clasificación de las Estaciones de Bombeo .....              | 34 |
| 2.2.6.15.2. Capacidad de la Estación de Bombeo .....                     | 34 |
| 2.2.6.15.3. Número de Horas de Bombeo .....                              | 35 |
| Principios Hidráulicos empleados por EPANET.....                         | 35 |
| 2.2.6.16. Ecuación de Continuidad en Nudos.....                          | 35 |
| 2.2.6.17. Pérdidas de Energía o Carga por el Rozamiento en el Tubo ..... | 36 |
| 2.2.6.17.1. Fórmula Darcy-Weisbach .....                                 | 36 |
| 2.2.6.17.2. Fórmula Hazen-Williams .....                                 | 38 |
| 2.2.6.17.3. Fórmula de Manning.....                                      | 39 |
| 2.2.6.17.4. Ecuación de Pérdida Localizada .....                         | 40 |
| 2.2.7. Modelación Hidráulica .....                                       | 41 |
| 2.2.8. Introducción.....   | 41 |
| 2.2.9. Importancia de un Modelo Hidráulico.....                          | 41 |
| 2.2.10. Softwares Utilizados Para Modelación Hidráulica.....             | 42 |
| 2.2.11. Software EPANET .....  | 43 |



|   |    |
|---|----|
| 2.2.11.1. Que es EPANET .....                                   | 43 |
| 2.2.11.2. Descripción del Software Utilizado .....              | 44 |
| 2.2.11.3. Aplicaciones del Software EPANET 2.0vE.....           | 45 |
| 2.2.11.4. Limitaciones del Software EPANET .....                | 46 |
| 2.2.11.5. Componentes físicos .....                             | 46 |
| 2.2.11.5.1. Nudos .....   | 46 |
| 2.2.11.5.2. Embalses .....                                      | 47 |
| 2.2.11.5.3. Depósitos.....                                      | 48 |
| 2.2.11.5.4. Tuberías.....                                       | 48 |
| 2.2.11.5.5. Bombas.....   | 50 |
| 2.2.11.5.6. Válvulas.....                                       | 50 |
| 2.2.11.5.7. Las Válvulas Reductororas de Presión .....          | 51 |
| 2.2.11.5.8. Las Válvulas Sostenedoras de Presión .....          | 51 |
| 2.2.11.5.9. Las Válvulas de Rotura de Carga.....                | 52 |
| 2.2.11.5.10. Las Válvulas Limitadoras de Caudal .....           | 52 |
| 2.2.11.5.11. Las Válvulas de Regulación.....                    | 52 |
| 2.2.11.6. Pérdidas Menores.....                                 | 52 |
| 2.2.11.7. Componentes No Físicos .....                          | 53 |
| 2.2.11.7.1. Curvas de Comportamiento.....                       | 53 |
| 2.2.11.7.2. Curvas Características de Bombeo.....               | 53 |
| 2.3. Marco Normativo .....                                      | 55 |
| 2.3.1. Normas Bolivianas (Abastecimiento de Agua Potable) ..... | 55 |
| 2.3.2. Normas Extranjeras .....                                 | 56 |
| 3. CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....                       | 57 |
| 3.1. Tipo de Investigación .....                                | 57 |
| 3.2. Estudio de Caso.....                                       | 57 |
| 3.3. Diseño de Investigación .....                              | 58 |
| 3.4. Universo de Trabajo y Muestra .....                        | 58 |
| 3.5. Variables.....   | 58 |
| 3.5.1. Variable Independiente.....                              | 58 |
| 3.5.2. Variable Dependiente 1 .....                             | 59 |

|  |    |
|--|----|
| 3.5.3. Variable Dependiente 2 .....  | 59 |
| 3.6. Instrumentos.....   | 59 |
| 3.7. Operacionalización de las Variables .....   | 60 |
| 4. CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....  | 61 |
| 5. CAPÍTULO V: ANÁLISIS, DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....  | 63 |
| 5.1. Resustado 1. – Modelación del comportamiento hidráulico actual de la red de agua potable aplicando el software EPANET. .... | 63 |
| 5.1.1. Diagnóstico Actual de la redes San Salvador y Urb. Vela, Tarija.....  | 63 |
| 5.1.1.1. Catastro de Usuarios de la Red de Agua Potable.....   | 63 |
| 5.1.1.2. Información del plano Catastral.....  | 65 |
| 5.1.1.3. Información Topográfica .....   | 66 |
| 5.1.1.4. Fuentes de Abastecimiento .....   | 66 |
| 5.1.1.4.1. Pozo 1: Vela .....  | 66 |
| 5.1.1.4.2. Pozo 2: San Salvador .....  | 67 |
| 5.1.1.4.3. Almacenamiento: Tanque Elevado .....  | 69 |
| 5.1.1.5. Usos y Demandas Actuales.....   | 69 |
| 5.1.1.6. Aforos de Caudales.....   | 70 |
| 5.1.1.6.1. Datos del Aforo de Caudal.....  | 70 |
| 5.1.1.7. Estimación de Parámetros de Diseño.....   | 72 |
| 5.1.1.7.1. Dotaciones Medias Diarias .....   | 72 |
| 5.1.1.7.2. Información Demográfica .....   | 73 |
| 5.1.1.8. Dotación Futura de agua potable .....   | 74 |
| 5.1.1.8.1. Cálculo de Caudales.....  | 75 |
| 5.1.1.8.2. Adopción de Coeficientes K1 (máximo diario) y K2 (máximo horario) .....   | 76 |
| 5.1.1.8.3. Curva de Modulación.....  | 78 |
| 5.1.1.8.4. Análisis del Aforo de Caudal y la Curva de Modulación .....   | 78 |
| 5.1.1.9. Introducción de Datos al Modelo Hidráulico .....  | 79 |
| 5.1.1.9.1. Creación del Modelo en Civil 3d .....   | 79 |
| 5.1.1.9.2. Creación del Modelo de Base en EPANET .....   | 79 |
| 5.1.1.9.3. Descripción del Modelo Base .....   | 80 |
| 5.1.1.9.4. Representación de Pozo Profundo .....   | 81 |

|  |     |
|--|-----|
| 5.1.1.9.5. Asignando Bombas a los Pozos .....  | 81  |
| 5.1.1.9.6. Asignando el Tanque Elevado de Almacenamiento .....   | 83  |
| 5.1.1.9.7. Ingreso de Caudales de Consumo o Demanda Base a los Nodos .....   | 83  |
| 5.1.1.9.8. Asignación de Diámetros y Coeficientes de Rugosidad a Tuberías .....  | 83  |
| 5.1.1.9.9. Asignación de Curvas de Modulación de la Demanda. ....  | 84  |
| 5.1.2. Modelacion 1: Evaluación Inicial de la Red Mediante EPANET .....  | 85  |
| 5.1.2.1. Comparación de los resultados de la modelacion en EPANET y el cálculo con métodos tradicionales .....   | 86  |
| 5.1.2.2. Comparación de caudales por el método de número de familias y método probabilísticos en ramales con menos de 30 conexiones en la red sector Vela..... | 87  |
| 5.2. Resultados 2: Identificación de los factores que hacen al comportamiento hidráulico deficiente, de la actual red de agua potable sector Vela.....         | 88  |
| 5.2.1. Resultado del diagnóstico de acuerdo al Modelo hidráulico de la Red de Agua Potable Actual.....   | 89  |
| 5.2.1.1. Presión .....   | 89  |
| 5.2.1.2. Velocidades.....  | 91  |
| 5.3. Resultado 3. - Alternativas de solución para las deficiencias hidráulicas encontradas en la red de agua potable según la NB-689.....                      | 93  |
| 5.3.1.1. 1er Alternativa .....   | 94  |
| 5.3.1.2. 2da Alternativa.....  | 95  |
| 5.3.1.3. 3er Alternativa .....   | 96  |
| 5.3.1.4. 4ta. Alternativa.....   | 97  |
| 5.4. Resultado 4. – Modelación de escenarios del funcionamiento hidráulico de la red bajo distintas condiciones de demanda y suministro.....                   | 98  |
| 5.4.1. Escenario de modelación 1. – Rotura de Tubería.....   | 98  |
| 5.4.1.1. Rotura de tubería 1.....  | 99  |
| 5.4.1.2. Rotura de tubería 2.....  | 100 |
| 5.4.1.3. Rotura de tubería 3.....  | 101 |
| 5.4.1.4. Rotura de tubería 4.....  | 102 |
| 5.4.2. Escenario de modelación 2. –Regulación en el tanque de reserva .....  | 104 |
| 5.4.3. Escenario de modelación 3. – Estados de Carga .....   | 105 |

|  |     |
|--|-----|
| 5.4.3.1. Demandas al 50% .....   | 105 |
| 5.4.3.2. Demandas al 80% .....   | 106 |
| 5.4.3.3. Demandas al 150% .....  | 108 |
| 5.4.4. Escenario de modelación 4. - Diámetros .....  | 109 |
| 5.4.5. Escenario de modelación 5. – Periodo Extendido .....  | 111 |
| 5.5. Resultado 5. – Propuestas de esquemas hidráulicos cada 10 años, en función al escenario proyectado al año 2040..... | 115 |
| 5.5.1. Modelación con una Proyección de la Red al Año 2030.....  | 115 |
| 5.5.1.1.1. Análisis de Oferta y Demanda. ....  | 117 |
| 5.5.1.1.2. Usos y Demandas Futuro .....  | 117 |
| 5.5.1.1.3. Caudal Unitario. ....   | 118 |
| 5.5.2. Modelación con una Proyección de la Red al Año 2040.....  | 122 |
| 5.5.2.1. Análisis de oferta y demanda.....   | 122 |
| 6. CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....  | 126 |
| 6.1. CONCLUSIONES .....  | 126 |
| 6.2. RECOMENDACIONES .....   | 129 |
| BIBLIOGRAFÍA   |     |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|   |     |
|---|-----|
| ANEXO 1. TABLA DE CONSUMOS .....  | 132 |
| Consumos durante el año 2018 por cada usuario. Urb. Vela.....                     | 132 |
| ANEXO 2. CALCULO DE DOTACIONES URB. VELA. ....                                    | 135 |
| Dotación Media Diaria Uso Doméstico.....  | 135 |
| ANEXO 3. CAUDAL DEMANDA POR NODO.....   | 137 |
| ANEXO 4. INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA.....   | 139 |
| ANEXO 5. INFORMACIÓN CATASTRAL .....  | 140 |
| ANEXO 6. DATOS AFOROS DE CAUDALES Y CURVA DE MODULACIÓN.....                      | 141 |
| ANEXO 7. INFORMACIÓN DEMOGRÁFICA .....  | 142 |
| Diseño de Población Futura.....   | 142 |
| ANEXO 8. MODELACIÓN HIDRÁULICA .....  | 143 |
| Resultado 1: Modelación del compotamiento actual de la red .....                  | 143 |
| Resultado 1: Resolución manual con métodos tradicionales Urb. Vela.....           | 148 |
| Resultado 1: Resolución manual con métodos tradicionales San Salvador .....       | 150 |
| Resultado 1: Comparación de caudales método probabilístico .....                  | 152 |
| Resultado 2:Identificación de deficiencias (Modelos de Presión y Velocidad) ..... | 154 |
| Resultado 3: Alternativas de solución .....                                       | 160 |
| Resultado 4: Escenario de modelación 1 (EPANET).....                              | 166 |
| Escenario de modelación 2: Nivel piezometrico del Tanque (EPANET) .....           | 186 |
| Esceanrio de modelación 3: Estados de Carga (EPANET) .....                        | 193 |
| Escenario de modelación 4:Diámetros (EPANET) .....                                | 201 |
| Escenario de modelación 5: Periodo Extendido (EPANET) .....                       | 209 |
| ANEXO 9. MODELACIÓN FUTURA (19-30) FICHEROS.....                                  | 240 |
| ANEXO 10. MODELACIÓN FUTURA (30-40) FICHEROS.....                                 | 256 |
| ANEXO 11. CAUDALÍMETRO PCE-TDS 100HS.....   | 272 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Aplicación de métodos de cálculo para la estimación de la población futura.....   | 24 |
| Tabla 2. Dotación media diaria (l/hab-d) .....   | 26 |
| Tabla 3. Valores del coeficiente K2 .....  | 28 |
| Tabla 4. Rugosidad absoluta (Ks) para diferentes materiales. ....  | 38 |
| Tabla 5. <i>Valores Coeficiente de Rugosidad Hazen-Williams (C)</i> .....  | 39 |
| Tabla 6. <i>Comparación de Ecuaciones de Fricción</i> .....  | 40 |
| Tabla 7. Datos obtenidos del Catastro de usuarios de agua potable (Urb. Vela) .....  | 64 |
| Tabla 8. Datos obtenidos del Catastro de usuarios de agua potable (San Salvador).....  | 64 |
| Tabla 9. Propiedades de las tuberías sector Vela .....   | 65 |
| Tabla 10. Cotas de nivel San Salvador Y Urb. Vela .....  | 66 |
| Tabla 11. Características del Pozo Vela.....   | 67 |
| Tabla 12. Características del Pozo San Salvador .....  | 68 |
| Tabla 13. Características del Tanque Vela.....   | 69 |
| Tabla 14. Tipologías de usuarios y puntos de consumo Urb. Vela.....  | 69 |
| Tabla 15. Tipologías de usuarios y puntos de consumo San Salvador .....  | 69 |
| Tabla 16. Comparación de consumos medios diarios de los resultados obtenidos con la Norma Boliviana y Reglamento Nacional de Instalaciones Domiciliarias. .... | 72 |
| Tabla 17. Cuadro de dotaciones domésticas, comerciales, públicas .....   | 73 |
| Tabla 18. Población actual y futura Urb. Vela .....  | 74 |
| Tabla 19. Población actual y futura San Salvador.....  | 74 |
| Tabla 20. Dotación Futura.....   | 74 |
| Tabla 21. Caudales medios domésticos y no domésticos San Salvador .....  | 75 |
| Tabla 22. Caudales medios domésticos y no domésticos Urb. Vela.....  | 75 |
| Tabla 23. Caudal unitario San Salvador .....   | 77 |
| Tabla 24. Caudal unitario Urb. Vela .....  | 77 |
| Tabla 25. Comparación de presiones San Salvador .....  | 86 |
| Tabla 26. Comparación de presiones San Salvador .....  | 86 |
| Tabla 27. Comparación de métodos San Salvador.....   | 87 |
| Tabla 28. Comparación de métodos San Salvador.....   | 88 |
| Tabla 29. Frecuencia de presiones de la red actual San Salvador .....  | 89 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 30. Frecuencia de presiones de la red actual Urb. Vela .....      | 90  |
| Tabla 31. Frecuencia de velocidades de la red actual San Salvador ..... | 91  |
| Tabla 32. Frecuencia de velocidades de la red actual Urb. Vela.....     | 92  |
| Tabla 33. Tipologías de usuarios y puntos de consumo.....               | 118 |
| Tabla 34. Caudal unitario .....   | 118 |
| Tabla 36. Frecuencia de presiones de la red futura .....                | 119 |
| Tabla 37. Frecuencia de velocidades de la red futura .....              | 121 |
| Tabla 38. Frecuencia de presiones de la red futura .....                | 122 |
| Tabla 39. Frecuencia de velocidades de la red futura .....              | 123 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Sector Vela de la ciudad de Tarija .....                      | 3  |
| Figura 2. Sector San Salvador .....                                     | 3  |
| Figura 3. Sector Urb. Vela. ....  | 4  |
| Figura 4. Vías de acceso al sector Vela (San Salvador-Urb. Vela).....   | 4  |
| Figura 5. Sistema de abastecimiento de agua en localidades urbanas..... | 13 |
| Figura 6. Red abierta .....   | 14 |
| Figura 7. Red cerrada .....   | 15 |
| Figura 8. Distribución por gravedad.....                                | 15 |
| Figura 9. Piezas especiales utilizadas en Sistema de Agua Potable ..... | 17 |
| Figura 10. Tipos de tanques de reserva .....                            | 19 |
| Figura 11. Estación de bombeo .....                                     | 21 |
| Figura 12. Pozo de extracción de agua subterránea .....                 | 22 |
| Figura 14. <i>Continuidad en nudos</i> .....                            | 36 |
| Figura 15. Interfaz de EPANET .....                                     | 44 |
| Figura 16. Componentes físicos de un sistema de distribución .....      | 46 |
| Figura 17. Curvas Características.....                                  | 54 |
| Figura 18. Catastro de clientes San Salvador y Urb. Vela .....          | 63 |
| Figura 19. <i>Catastro del sector Vela</i> .....                        | 65 |
| Figura 20. Estado actual del pozo Vela.....                             | 67 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 21. Estado actual del pozo San Salvador .....                                | 68  |
| Figura 22. Campaña de medición de caudales pozo Vela.....                           | 70  |
| Figura 23. Esquema 1 (EPANET) de la red Vela.....                                   | 79  |
| Figura 24. Configuración de pozos en EPANET San Salvador y Vela .....               | 81  |
| Figura 25. Curva característica de la bomba Pozo San Salvador .....                 | 82  |
| Figura 26. Curva característica de la bomba Pozo Vela.....                          | 82  |
| Figura 27. Esquema y Configuración: Pozo profundo – Bomba .....                     | 83  |
| Figura 28. Cuadro de dialogo para editar tuberías en EPANET .....                   | 84  |
| Figura 29. Ingreso de curva de modulación de la demanda San Salvador .....          | 84  |
| Figura 30. Modelo Hidráulico de la red San Salvador-Urb. Vela.....                  | 85  |
| Figura 31. Mapa de velocidades la red San Salvador-Urb. Vela .....                  | 93  |
| Figura 32. Válvula de regulación de presión a la salida del pozo San Salvador.....  | 94  |
| Figura 33. Gráfico de contorno de presiones Sector Vela.....                        | 95  |
| Figura 34. Válvula de Regulación de Presión San Salvador .....                      | 96  |
| Figura 35. Red de agua potable San Salvador.....                                    | 96  |
| Figura 36. Modelar la Bomba Planta de tratamiento Vela .....                        | 97  |
| Figura 37. Válvula de Regulación de Presión San Salvador .....                      | 98  |
| Figura 38. Rotura tubería 1 (EPANET).....   | 99  |
| Figura 39. Rotura tubería 1 (EPANET).....   | 100 |
| Figura 40. Rotura tubería 2 (EPANET).....   | 100 |
| Figura 41. Rotura tubería 2 (EPANET).....   | 101 |
| Figura 42. Rotura tubería 3 (EPANET).....   | 101 |
| Figura 43. Rotura tubería 3 (EPANET).....   | 102 |
| Figura 44. Rotura tubería 4 (EPANET).....   | 103 |
| Figura 45. Rotura tubería 4 (EPANET).....   | 103 |
| Figura 46. Escenario de modelación 4 nivel piezométrico 0 .....                     | 104 |
| Figura 47. Demandas al 50% (presiones y velocidades) San Salvador-Urb. Vela .....   | 106 |
| Figura 48. Demandas al 80% (presiones y velocidades) San Salvador-Urb. Vela .....   | 107 |
| Figura 49. Demandas al 130% (presiones y velocidades) San Salvador- Urb. Vela ..... | 107 |
| Figura 50. Demandas al 150% (presiones y velocidades) San Salvador-Urb. Vela .....  | 108 |
| Figura 51. Modificación de diámetros 2” San Salvador-Urb. Vela .....                | 109 |



|  |     |
|--|-----|
| Figura 52. Modificación de diámetros 1 1/2" San Salvador-Urb. Vela .....             | 110 |
| Figura 53. Respuesta de la simulación entre las 9:20am a 11:20am San Salvador.....   | 112 |
| Figura 54. Respuesta de la simulación entre las 11:20am a 13:20am San Salvador.....  | 112 |
| Figura 55. Respuesta de la simulación entre las 13:20pm a 15:20am San Salvador ..... | 113 |
| Figura 56. Respuesta de la simulación entre las 9:20am a 11:20am Urb. Vela .....     | 113 |
| Figura 57. Respuesta de la simulación entre las 13:20pm a 15:20am Urb. Vela .....    | 114 |
| Figura 58. Catastro territorial Sector Vela .....                                    | 116 |
| Figura 59. Esquema futuro de la red (EPANET) .....                                   | 116 |
| Figura 35. Resultados obtenidos de Investigaciones elaboradas en la UAJMS .....      | 119 |
| Figura 60. Modelación de la red al año 2030 (EPANET).....                            | 120 |
| Figura 61. Modelación de la red al año 2040 (EPANET).....                            | 125 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|  |     |
|--|-----|
| Gráfico 1. Curva de consumo Pozo Vela .....                              | 71  |
| Gráfico 2. Curva de consumo Pozo San Salvador.....                       | 71  |
| Gráfico 3. Curva de Modulación.....                                      | 78  |
| Gráfico 4. Frecuencia de presiones de la red actual San Salvador.....    | 89  |
| Gráfico 5. Frecuencia de presiones de la red actual Urb. Vela .....      | 90  |
| Gráfico 6. Frecuencia de velocidades de la red actual San Salvador ..... | 91  |
| Gráfico 7. Frecuencia de velocidades de la red actual Urb. Vela .....    | 92  |
| Gráfico 8. Frecuencia de presiones de la red futura .....                | 120 |
| Gráfico 9. Frecuencia de velocidades de la red futura .....              | 121 |
| Gráfico 10. Frecuencia de presiones de la red futura .....               | 123 |
| Gráfico 11. Frecuencia de presiones de la red futura.....                | 124 |