

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CLORO
EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE
DEL BARRIO CATEDRAL**

ELABORADO POR:

FERNANDO RAÚL PAVEZ AGUIRRE

TUTOR:

ING. JOEL PACO SARZURI

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

Julio de 2019

Tarija – Bolivia

El tribunal calificador del presente trabajo. No se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

DEDICATORIA:

La presente Tesis de Grado está dedicada a mis Padres, Esposa e Hijas que siempre me impulsaron a seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS:

A mis catedráticos, familiares y amigos, que me dieron su apoyo en este proyecto.

A todas las personas que directa o indirectamente colaboraron en la realización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

CAPÍTULO I GENERALIDADES.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. INTRODUCCIÓN.....	1
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.5. METAS.....	5
1.6. MATERIALES.....	5
1.7. METODOLOGÍA.....	5
CAPÍTULO II BASES CONCEPTUALES.....	7
2.1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	7
2.1.1. AGUA POTABLE.....	7
2.1.2. CAUDAL.....	7
2.1.3. DOTACIÓN.....	7
2.1.4. PRESIONES.....	7
2.1.5. SISTEMAS DE AGUA POTABLE.....	10
2.1.6. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.....	11
2.1.7. RED DE ADUCCIÓN.....	11
2.1.8. CIRCUITO.....	11
2.1.9. RED DE DISTRIBUCIÓN.....	12
2.1.10. TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	17
2.2. NORMAS TÉCNICAS.....	19
2.2.1. POBLACIÓN DEL PROYECTO.....	19
2.2.2. POBLACIÓN ACTUAL.....	19
2.2.3. MÉTODO DE CÁLCULO.....	20
2.2.4. CONSUMO DE AGUA.....	21
2.2.5. CAUDAL DE DISEÑO.....	22
2.2.6. CALIDAD DE AGUA.....	23
2.2.7. DISEÑO DE REDES.....	24
2.2.8. PRESIONES EN LA RED.....	24
2.2.9. DIÁMETROS.....	24
2.2.10. VELOCIDAD.....	25
2.2.11. UBICACIÓN.....	25
2.2.12. DESINFECCIÓN DE AGUAS.....	25
2.2.13. CLORACIÓN.....	26
2.3. MEDIDORES DE CAUDAL.....	28
2.3.1. MACROMEDIDORES.....	28
2.3.2. MICROMEDIDORES.....	30
2.3.3. MEDIDORES PROPORCIONALES.....	36

2.3.4.	CALIBRACIÓN DEL MEDIDOR PROPORCIONAL.....	38
2.4.	CALIDAD DE AGUA.....	42
2.4.1.	PROCESO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA	43
2.4.2.	MÉTODOS DE CLORACIÓN.....	47
2.5.	MEDIDORES DE CLORO.....	49
2.5.1.	EVALUACIÓN DE CLORO RESIDUAL MÉTODO DPD.....	51
2.6.	TOMA DE MUESTRAS.....	56
2.6.1.	SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	56
2.6.2.	CLASIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	57
2.6.3.	MÉTODO DE MUESTREO.....	57
2.6.4.	PUNTOS DE MUESTREO.....	57
2.6.5.	PROCEDIMIENTO DE TOMA DE MUESTRAS.....	57
2.6.6.	FRECUENCIA DE MUESTREO.....	58
2.6.7.	PUNTOS DE MUESTREO.....	59
2.6.8.	UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREOS.....	60
2.6.9.	TOMA DE MUESTRAS.....	60
2.7.	SOFTWARE DE APLICACIÓN.....	60
2.7.1.	COMPONENTES FÍSICOS.....	61
2.7.2.	COMPONENTES NO FÍSICOS.....	68
2.7.3.	EL ENTORNO DE TRABAJO.....	70
2.7.4.	EL ESQUEMA DE LA RED.....	78
2.7.5.	PREFERENCIAS DEL PROGRAMA.....	82
2.7.6.	MANIPULACIÓN DE OBJETOS.....	84
2.7.7.	SELECCIÓN DE OBJETOS.....	87
2.7.8.	EDICIÓN DE LOS OBJETOS VISIBLES.....	88
2.7.9.	EDICIÓN DE LOS OBJETOS NO VISIBLES.....	93
2.7.10.	COPIAR Y PEGAR OBJETOS.....	98
2.7.11.	BORRAR UN OBJETO.....	98
2.7.12.	MOVER UN OBJETO.....	98
2.7.13.	SELECCIONAR UN GRUPO DE OBJETOS.....	99
2.7.14.	EDITAR UN GRUPO DE OBJETOS.....	99
2.7.15.	ANÁLISIS DE UN SISTEMA.....	101
2.8.	MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA.....	110
2.8.1.	EQUIPO DE MEDICIÓN.....	110
2.8.2.	DETERMINACIÓN DE LA REACCIÓN DEL CLORO CON EL VOLUMEN DE AGUA, COEFICIENTE KB.....	111
2.8.3.	MEDICIÓN EN LA RED PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE DECAIMIENTO TOTAL.....	112
2.8.4.	CALIBRACIÓN DEL MODELO DE CALIDAD DE AGUA.....	114
CAPÍTULO III APLICACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO Y DE CONCENTRACIONES.....		118
3.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	118
3.1.1.	UBICACIÓN.....	118
3.1.2.	POBLACIÓN ACTUAL.....	119
3.2.	APLICACIÓN DEL MODELO.....	119
3.2.1	DATOS DE LA RED.....	120
3.3.	HIPÓTESIS I.....	128

3.4. HIPÓTESIS II.....	154
3.5. HIPÓTESIS III.....	172
CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	176
4.1. CONCLUSIONES.....	176
4.2. RECOMENDACIONES.....	177
BIBLIOGRAFÍA.....	179
ANEXO.....	181

ÍNDICE TABLAS

Tabla 2.1. Recomendaciones de Métodos de Cálculo por Población.....	21
Tabla 2.2. Dotación media por Zonas.....	21
Tabla 2.3. Periodo de diseño recomendado por población.....	23
Tabla 2.4. Especificaciones Medidor Woltman.....	29
Tabla 2.5. Especificaciones del Medidor.....	31
Tabla 2.6. Especificaciones del Medidor Marca Schlumberger.....	34
Tabla 2.7. Especificaciones analizadores de cloro.....	50
Tabla 2.8. Especificaciones Medidor de Cloro.....	53
Tabla 2.9. Procedimiento toma de muestras.....	58
Tabla 2.10. Frecuencia de muestreo.....	59
Tabla 2.11. Fórmulas de pérdida de carga para tubería llena.....	65
Tabla 2.12. Coeficientes de rugosidad para tubería nueva.....	66
Tabla 2.13. Coeficientes de Pérdidas Menores.....	68
Tabla 2.14. Modulaciones.....	70
Tabla 2.15. Modulaciones.....	70
Tabla 2.16. Menú de archivo.....	72
Tabla 2.17. Menú edición.....	73
Tabla 2.18. Menú ver.....	73
Tabla 2.19. Menú de proyecto.....	74
Tabla 2.20. Menú de Informes.....	74
Tabla 2.21. Menú de Ventanas.....	75
Tabla 2.22. Menú Ayuda.....	75
Tabla 2.23. Preferencias de programa.....	83
Tabla 2.24. Propiedades de los Nudos de Caudal.....	89
Tabla 2.25. Propiedades de los Depósitos.....	90
Tabla 2.26. Propiedades de las Tuberías.....	91
Tabla 2.27. Propiedades de las Válvulas.....	92
Tabla 2.28. Propiedades de los Rótulos.....	93
Tabla 2.29. Editor de Comportamiento.....	94
Tabla 2.30. Editor de Curvas de Comportamiento.....	95
Tabla 2.31 Editor de Demandas.....	97
Tabla 2.32. Decaimiento Total.....	113
Tabla 2.33 Coeficiente de transferencia de masa.....	114
Tabla 2.34. Coeficiente de reacción con la pared.....	115
Tabla 3.1. Resumen de datos de los nudos y demanda base.....	121
Tabla 3.2. Datos de Tubería.....	122
Tabla 3.3. Dimensiones del tanque de almacenamiento del Barrio Catedral.....	123
Tabla 3.4. Datos del tanque de almacenamiento del Barrio Catedral.....	123
Tabla 3.5. Opciones Hidráulicas.....	124
Tabla 3.6 Opciones de Calidad.....	124
Tabla 3.7. Concentración de cloro en la obra de Toma.....	125
Tabla 3.8. Tabla de ajuste de concentración.....	126
Tabla 3.9. Tabla de parámetros del decaimiento total de Cloro.....	126

Tabla 3.10. Tabla de parámetros del decaimiento total de Cloro.....	126
Tabla 3.11. Tabla de parámetros del decaimiento total de Cloro.....	127
Tabla 3.12. Parámetros de Reacción.....	127
Tabla 3.13. Parámetros de tiempo.....	128
Tabla 3.14. Patrones.....	129
Tabla 3.15. Medida de cloro residual en el punto 15.....	133
Tabla 3.16. Medida de cloro residual en el punto 36.....	134
Tabla 3.17. Medida de cloro residual en el punto 41.....	136
Tabla 3.18. Estadísticas de Calibración para Químico.....	138
Tabla 3.19. Multiplicadores.....	154
Tabla 3.20. Estadísticas de Calibración para Químico.....	155
Tabla 3.21. Cálculo de población futura.....	172
Tabla 3.22. Datos de la Hipótesis III.....	174

ii ÍNDICE FIGURAS

Figura 2.1. Manómetro Analógico.....	10
Figura 2.2. Red de distribución de Agua Potable.....	11
Figura 2.3. Red Tipo mallado.....	13
Figura 2.4. Redes ramificadas con espina de pez.....	15
Figura 2.5. Red ramificada en paralelo.....	16
Figura 2.6. Tanque Enterrado (subterráneos).....	17
Figura 2.7. Tanques Semienterrados.....	18
Figura 2.8. Tanques Semienterrados.....	18
Figura 2.9. Tanques Apoyados en el suelo (de superficie).....	18
Figura 2.10. Tanques Elevados (por encima del nivel del techo).....	19
Figura 2.11. Macromedidor Woltman.....	28
Figura 2.12. Micromedidor Marca Lao.....	30
Figura 2.13. Micromedidor Marca Schlumberger.....	33
Figura 2.14. Paso 1 Construcción de medidores proporcionales.....	36
Figura 2.15. Paso 2 Construcción de medidores proporcionales.....	37
Figura 2.16. Paso 3 Construcción de medidores proporcionales.....	37
Figura 2.17. Paso 4 Construcción de medidores proporcionales.....	37
Figura 2.18. Paso 5 Construcción de medidores proporcionales.....	38
Figura 2.19. Esquema del Circuito Hidráulico Cerrado.....	39
Figura 2.20. Proceso de tratamiento.....	43
Figura 2.21. Proceso de floculación.....	44
Figura 2.22. Laguna de decantación.....	44
Figura 2.23. Tipos de Filtros (filtro de carbón).....	46
Figura 2.24. Equipo de desinfección (mediante gas cloro).....	47
Figura 2.25. Equipo de desinfección por gravedad.....	47
Figura 2.26. Equipo de desinfección automático.....	48
Figura 2.27. Esquema de desinfección automático por carga constante.....	48
Figura 2.28. Esquema de desinfección por tubo Venturi.....	49
Figura 2.29. Medidor portátil.....	52
Figura 2.30. Equipo de medición de cloro residual.....	54
Figura 2.31. Componentes Físicos de Un Sistema de Distribución de Agua.....	62
Figura 2.32. Curva de Cubicación de Un Depósito.....	69
Figura 2.33. El Entorno de Trabajo de Epanet.....	71
Figura 2.34. El Visor de Datos.....	79
Figura 2.35. El Visor de Esquema.....	80
Figura 2.36. El Editor de Propiedades.....	81
Figura 2.37. Preferencias Generales.....	83
Figura 2.38. Preferencias de Formato.....	84
Figura 2.39. Editor de Curvas de Comportamiento.....	94
Figura 2.40. Editor de Curvas de Modulación.....	96
Figura 2.41. Editor de Demandas.....	97

Figura 2.42. Diálogo para la Edición de Un Grupo de Objetos.....	100
Figura 2.43. Opciones de Hidráulica.....	104
Figura 2.44. Opciones de Calidad.....	106
Figura 2.45. Opciones de Reacciones.....	108
Figura 2.46. Opciones de Tiempo.....	110
Figura 2.47. Curva de decaimiento de cloro.....	111
Figura 3.1. Plano del Barrio Catedral Emplazada la tubería.....	119
Figura 3.2. Plano del Barrio Catedral.....	120
Figura 3.3. Curva de decaimiento de Cloro.....	125
Figura 3.4. Curva de modulación de demanda.....	132
Figura 3.5. Curva de modulación de demanda.....	132
Figura 3.6. Informe de Calibración –Químico.....	138
Figura 3.7. Comparación de valores medios.....	139
Figura 3.8. Tiempo Vs. Evaluación Calidad – Nudo 15.....	140
Figura 3.9. Tiempo Vs. Evaluación Calidad – Nudo 36.....	141
Figura 3.10. Tiempo Vs. Evaluación Calidad – Nudo 41.....	142
Figura 3.11. Curva de evaluación tubería 9,18 y 25.....	143
Figura 3.12. Descenso de Cloro en el punto 15 a hr. 105.....	144
Figura 3.13. Descenso de Cloro en el punto 15 a Hrs. 165.....	145
Figura 3.14. Descenso de Cloro en el punto 15 a Hrs. 225.....	146
Figura 3.15. Descenso de Cloro en el punto 36 a Hrs. 109.....	147
Figura 3.16. Descenso de Cloro en el punto 36 a Hrs. 165.....	148
Figura 3.17. Descenso de Cloro en el punto 36 a Hrs. 225.....	149
Figura 3.18. Descenso de Cloro en el punto 41 a Hrs. 105.....	150
Figura 3.19. Descenso de Cloro en el punto 41 a Hrs. 165.....	151
Figura 3.20. Descenso de Cloro en el punto 41 a Hrs. 225.....	152
Figura 3.21. Porcentaje de reacción del cloro en las tuberías.....	153
Figura 3.22. Curva de Modulación.....	154
Figura 3.23. Informe de Correlación Químico.....	156
Figura 3.24. Evaluación del cloro en el punto 15, 36 y 41.....	157
Figura 3.25. Evaluación del cloro en el punto 15.....	158
Figura 3.26. Evaluación del cloro en el punto 36.....	159
Figura 3.27. Evaluación del cloro en el punto 41.....	160
Figura 3.28. Análisis químico de tres nudos.....	161
Figura 3.29. Decaimiento de cloro desde la planta de tratamiento hasta el punto 15	162
Figura 3.30. Decaimiento de cloro desde la planta de tratamiento hasta el punto 15	163
Figura 3.31. Decaimiento de cloro desde la planta de tratamiento hasta el punto 15	164
Figura 3.32. Decaimiento de cloro desde la planta de tratamiento hasta el punto 36 en la hora 105.....	165
Figura 3.33. Decaimiento de cloro desde la planta de tratamiento hasta el punto 36 en la hora 165.....	166
Figura 3.34. Decaimiento de cloro desde la planta de tratamiento hasta el punto 36 en la hora 225	167

Figura 3.35. Decaimiento de cloro desde la planta de tratamiento hasta el punto 41 en la hora 105.....	168
Figura 3.36. Decaimiento de cloro desde la planta de tratamiento hasta el punto 41 en la hora 165.....	169
Figura 3.37. Decaimiento de cloro desde la planta de tratamiento hasta el punto 41 en la hora 225.....	170
Figura 3.38. Informe del cloro.....	171
Figura 3.39. Informe de cloro Hipótesis III.....	175

ÍNDICE ANEXOS

- Anexo 1a. Planilla de Levantamiento Topográfico
 - Anexo 1b. Gráfica de Calibración de Medidores Proporcionales
 - Anexo 2a. Planillas de Calibración de Medidor Proporcional
 - Anexo 2b. Gráfica de Multiplicadores Entrada –Total Consumo
 - Anexo 3a. Planillas de Micromedición Horaria
 - Anexo 3b. Gráfica de Multiplicadores de Cada Tramo
 - Anexo 4a. Planillas de Medición de Macromedidores-Medidor Proporcional-Presión
 - Anexo 5a. Planilla de Multiplicadores de las Curvas de Modulación de la Demanda
 - Anexo 6. Datos de Campo de Cloro Residual
 - Anexo 7. Datos de Campo de Cloro Residual
 - Anexo 7b. Gráfica de mediciones de Cloro
 - Anexo 8. Métodos de cálculo para la estimación de la población futura
 - Anexo 9. Dotación media diaria (l/hab-d)
 - Anexo 10. Tabla de Unidades de EPANET SI
 - Anexo 11. Tabla de Unidades de EPANET USA
 - Anexo 12. Velocidad de Reacción en la pared
 - Anexo 13. Correlación Reacción en la pared – rugosidad de la tubería
 - Anexo 14. Análisis de Calidad de Agua
 - Anexo 15. Plano Características de la Red
 - Anexo 16. Memoria Fotográfica
-