

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



**“MODELACIÓN Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA  
RED DE AGUA POTABLE EN PERIODO EXTENDIDO Y  
ESTÁTICO BARRIOS LAS VELAS-SAN SALVADOR”**

**Por:**

**YAMILA YELEN GUTIERREZ OSORIO**

Proyecto de grado presentado a consideración de la Universidad Autónoma  
“Juan Misael Saracho” como requisito para optar el grado académico de  
Licenciatura en Ingeniería Civil.

**SEMESTRE II - 2019**

**TARIJA – BOLIVIA**

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

**“MODELACIÓN Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO  
DE LA RED DE AGUA POTABLE EN PERIODO  
EXTENDIDO Y ESTÁTICO BARRIOS LAS VELAS-SAN  
SALVADOR”**

**Por:**

**YAMILA YELEN GUTIERREZ OSORIO**

**SEMESTRE II - 2019**

**TARIJA – BOLIVIA**

### **Dedicatoria:**

A mi padre, ya que es mi pilar fundamental y apoyo en mi formación académica, por ser la motivación que me ha permitido llegar a cumplir este objetivo y sobre todo por todo el amor que día a día me brinda.

A mis hermanos (Griselda, Vanesa, Lenin y Elian), que han sido mi ejemplo y lucha para alcanzar mis metas.

A mi sobrina que por medio de su alegría me motiva a seguir adelante.

A todas las personas que hicieron posible este trabajo.

### **Agradecimiento:**

A Dios principalmente por ser quien en toda mi vida me encomendado para no desmayar en todas mis acciones.

A la Universidad Juan Misael Saracho por ser la que formo en mí una persona de valores de conocimientos científicos y de solidaridad hacia los demás.

A todas las personas que colaboraron de cualquier manera para la culminación de este trabajo

## INDICE GENERAL

### CAPÍTULO I

#### CONSIDERACIONES GENERALES

1.1	INTRODUCCIÓN .....	1
1.2	IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	2
1.3	JUSTIFICACIÓN .....	3
1.3.1	ACADÉMICA .....	3
1.3.2	TÉCNICA .....	3
1.3.3	SOCIAL .....	3
1.4	OBJETIVOS .....	4
1.4.1	OBJETIVO GENERAL .....	4
1.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.5	ALCANCE DEL PROYECTO.....	4

### CAPÍTULO II

#### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1	EL AGUA .....	6
2.1.1	AGUA POTABLE .....	6
2.2	CONSUMO DE AGUA POTABLE.....	7
2.2.1	TIPOS DE CONSUMO .....	7
2.2.1.1	CONSUMO DOMÉSTICO .....	7
2.2.1.2	CONSUMO COMERCIAL E INDUSTRIAL.....	8
2.2.1.3	CONSUMO PÚBLICO.....	8
2.2.1.4	PÉRDIDAS .....	8
2.3	OBRAS DE CAPTACIÓN .....	8
2.3.1	TIPOS DE CAPTACIÓN .....	9
2.4	ESTACIÓN DE BOMBEO.....	10
2.5	RED DE DISTRIBUCIÓN .....	11
2.5.1	RED DE DISTRIBUCIÓN ABIERTA.....	12
2.5.2	RED DE DISTRIBUCIÓN CERRADA .....	12
2.5.3	RED MIXTA O COMBINADA .....	12
2.6	FORMAS DE DISTRIBUCIÓN.....	12

2.6.1	DISTRIBUCIÓN POR GRAVEDAD .....	13
2.6.2	DISTRIBUCIÓN POR BOMBEO DIRECTO A LA RED .....	13
2.7	VARIACIONES DE CONSUMO .....	13
2.7.1	DOTACIÓN MEDIA DIARIA.....	13
2.7.2	COEFICIENTE DE CONSUMO MÁXIMO DIARIO (K <sub>1</sub> ):.....	14
2.7.3	COEFICIENTE DE CONSUMO MÁXIMO HORARIO (K <sub>2</sub> ): .....	15
2.7.4	CONSUMO MEDIO DIARIO ANUAL (Q <sub>MD</sub> ).....	16
2.7.5	CONSUMO MÁXIMO DIARIO.....	16
2.7.6	CONSUMO MÁXIMO HORARIO .....	16
2.7.7	CURVA DE CONSUMO DIARIO .....	17
2.8	PRESIONES DE SERVICIO.....	18
2.9	VELOCIDADES.....	18
2.10	CURVA DE CONSUMO HORARIO .....	19
2.11	PATRONES DE CONSUMO.....	19
2.11.1	FACTOR DE VARIACIÓN HORARIA .....	19
2.12	MEDIDORES DE CAUDAL .....	20
2.12.1	TIPOS DE MEDIDORES DE CAUDAL.....	20
2.12.1.1	MACRO MEDIDOR .....	20
2.12.1.2	MICRO MEDIDOR.....	20
2.12.1.3	MEDIDOR DE AGUA VOLUMÉTRICO .....	21
2.12.1.4	MEDIDOR DE AGUA DE VELOCIDAD .....	23
2.12.1.5	MEDIDOR DE CHORRO ÚNICO .....	23
2.12.1.6	MEDIDOR DE CHORRO MÚLTIPLE .....	24
2.12.2	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN DE CAUDAL.....	24
2.13	MODELO DE SIMULACIÓN .....	25
2.13.1	MODELACIÓN ESTÁTICA.....	26
2.13.2	MODELACIÓN EN PERÍODO EXTENDIDO .....	26
2.14	EL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE TARIJA .....	26
2.14.1	ANTECEDENTES.....	26
2.14.2	COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE .....	27

## **CAPÍTULO III**

### **PROGRAMA WATERCAD**

3.1	INTRODUCCIÓN .....	29
3.2	CARACTERÍSTICAS DEL PROGRAMA WATERCAD .....	30
3.2.1	EVALUAR LA CAPACIDAD DE FLUJO DE FUEGO .....	30
3.2.2	ANALIZAR LA CRITICIDAD DE TUBERÍAS Y VÁLVULAS.....	30
3.2.3	CONSTRUIR Y GESTIONAR MODELOS HIDRÁULICOS.....	31
3.2.4	DISEÑO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA.....	31
3.2.5	DESARROLLAR PLANES DE LAVADO .....	31
3.2.6	IDENTIFICAR LA PERDIDA DE AGUA .....	31
3.2.7	ADMINISTRAR EL USO DE LA ENERGÍA.....	31
3.3	METODO DE LA GRADIENTE .....	32
3.4	DESCRIPCIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO WATERCAD .....	37
3.4.1	PARTES DE UN MODELO HIDRÁULICO.....	38
3.4.2	TIPOS DE MODELOS HIDRÁULICOS.....	38
3.4.3	MODELAMIENTO DE LA RED .....	39
3.4.4	ETAPAS DEL MODELAMIENTO .....	39
3.4.5	ANÁLISIS Y SIMULACIÓN.....	40
3.5	COMPONENTES FÍSICOS DE LA RED.....	40
3.5.1	NUDOS .....	40
3.5.2	EMBALSES.....	41
3.5.3	DEPÓSITOS .....	41
3.5.4	TUBERIAS .....	41
3.5.5	VÁLVULAS .....	42
3.6	ELEMENTO COSTUMER METER (MEDIDOR DE CLIENTE) .....	42

## **CAPÍTULO IV**

### **MEMORIA TÉCNICA**

4.1	UBICACIÓN .....	43
4.1.1	UBICACIÓN POLÍTICA .....	43
4.1.2	UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	44
4.2	INFORMACIÓN GENERAL DE LOS BARRIOS.....	47

4.3	METODOLOGÍA UTILIZADA.....	49
4.4	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	50
4.5	CONDICIONES GENERALES SOBRE LA MODELACIÓN .....	50
4.6	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	51
4.7	PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN .....	51
4.8	PASOS PARA EL INICIO DEL MODELO .....	52
4.8.1	CONFIGURACIÓN DEL MODELO.....	52
4.8.2	CREACIÓN TOPOLÓGICA DE LA RED .....	54
4.8.3	INGRESO DE INFORMACIÓN DE LA RED .....	55
4.9	PLANOS DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE EN ESTUDIO .....	56
4.10	APLICACIÓN DEL PROYECTO.....	58
4.10.1	BARRIO SAN SALVADOR.....	58
4.10.1.1	MODELACIÓN ESTÁTICA.....	58
4.10.1.2	MODELACIÓN EN PERÍODO EXTENDIDO .....	70
4.10.1.3	CALIBRACIÓN DEL MODELO .....	88
4.10.1.4	SIMULACION DE ESCENARIO FICTICIO SAN SALVADOR .....	93
4.10.1.5	ANÁLISIS DE ESCENARIOS .....	98
4.10.1.6	DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE CAUDAL MÁXIMO DIARIO (K1). .....	99
4.10.1.7	DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CAUDAL MÁXIMO HORARIO (K2).....	99
4.10.2	BARRIO LAS VELAS .....	101
4.10.2.1	MODELACIÓN ESTÁTICA.....	101
4.10.2.1	MODELACIÓN EN PERÍODO EXTENDIDO .....	114
4.10.2.2	CALIBRACIÓN DEL MODELO .....	127
4.10.2.3	SIMULACIÓN DE ESCENARIO LAS VELAS .....	132
4.10.2.4	ANÁLISIS DE ESCENARIOS .....	137
4.10.2.5	DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE CAUDAL MÁXIMO DIARIO (K1). .....	139
4.10.2.6	DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CAUDAL MÁXIMO HORARIO (K2).....	139



## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	CONCLUSIONES .....	141
5.2	RECOMENDACIONES.....	147
	BIBLIOGRAFIA .....	148

## INDICE DE TABLAS

TABLA 2. 1 DOTACIÓN MEDIA DIARIA (L/HAB/D) .....	14
TABLA 2. 2 VALORES PARA EL COEFICIENTE K2 .....	15
TABLA 2. 3 PRESIONES DE SERVICIO.....	18
TABLA 2. 4 FUENTES SUPERFICIALES Y SUB SUPERFICIALES DE EN TARIJA.....	28
TABLA 2. 5 LAS FUENTES ACTUALES PARA LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE.....	28
TABLA 4. 1 COORDENADAS DE UBICACIÓN DEL BARRIO SAN SALVADOR.....	44
TABLA 4. 2 COORDENADAS DE UBICACIÓN DEL BARRIO LAS VELAS .....	44
TABLA 4. 3 COORDENADAS DE UBICACIÓN UTM PSAD 56 POZO SAN SALVADOR .....	47
TABLA 4. 4 DATOS DE BOMBA SAN SALVADOR.....	47
TABLA 4. 5 COORDENADAS DE UBICACIÓN UTM PSAD 56 POZO LAS VELAS .....	48
TABLA 4. 6 DATOS DE BOMBA LAS VELAS .....	48
TABLA 4. 7 PUNTOS DE MEDICIÓN BARRIO SAN SALVADOR .....	70
TABLA 4. 8 CAUDALES MENSUALES Y PRODUCCIÓN ANUAL SAN SALVADOR .....	71
TABLA 4. 9 MICRO MEDICIONES HORARIAS LUNES 21 DE ENERO DE 2019 .....	72
TABLA 4. 10 MICRO MEDICIONES HORARIAS MIÉRCOLES 23 DE ENERO DE 2019 .....	73
TABLA 4. 11 MICRO MEDICIONES HORARIAS VIERNES 25 DE ENERO DE 2019 .....	74
TABLA 4. 12 MICRO MEDICIONES HORARIAS DOMINGO 27 DE ENERO DE 2019.....	75
TABLA 4. 13 MICRO MEDICIONES HORARIAS MARTES 29 DE ENERO DE 2019.....	76
TABLA 4. 14 MICRO MEDICIONES HORARIAS JUEVES 31 DE ENERO DE 2019.....	77
TABLA 4. 15 MICRO MEDICIONES HORARIAS SÁBADO 2 DE FEBRERO DE 2019 .....	78
TABLA 4. 16 FACTOR DE VARIACIÓN HORARIA SAN SALVADOR.....	79
TABLA 4. 17 RESUMEN DE RESULTADOS PERÍODO EXTENDIDO SAN SALVADOR.....	86
TABLA 4. 18 CALIBRACIÓN CAUDAL OBSERVADO Y CAUDAL SIMULADO CASA 1.....	88
TABLA 4. 19 CALIBRACIÓN CAUDAL OBSERVADO Y CAUDAL SIMULADO CASA 2.....	89
TABLA 4. 20 CALIBRACIÓN CAUDAL OBSERVADO Y CAUDAL SIMULADO CASA 3.....	90
TABLA 4. 21 CAUDAL PROMEDIO OBSERVADO DE CASA 1, CASA 2 Y CASA 3. ....	91
TABLA 4. 22 CAUDAL PROMEDIO SIMULADO POR CASA EN NUDOS J-33, J-7 Y J-20.....	92
TABLA 4. 23 DATOS DE BOMBA LAS VELAS .....	102
TABLA 4. 24 CAUDALES MENSUALES Y PRODUCCIÓN ANUAL LAS VELAS.....	114
TABLA 4. 25 PUNTOS DE MEDICIÓN BARRIO LAS VELAS.....	115
TABLA 4. 26 MICRO MEDICIONES HORARIAS LUNES 4 DE FEBRERO DE 2019.....	116
TABLA 4. 27 MICRO MEDICIONES HORARIAS MIÉRCOLES 6 DE FEBRERO DE 2019.....	117
TABLA 4. 28 MICRO MEDICIONES HORARIAS VIERNES 8 DE FEBRERO DE 2019.....	118
TABLA 4. 29 MICRO MEDICIONES HORARIAS DOMINGO 10 DE FEBRERO DE 2019. ....	119

TABLA 4. 30 MICRO MEDICIONES HORARIAS MARTES 12 DE FEBRERO DE 2019 .....	120
TABLA 4. 31 MICRO MEDICIONES HORARIAS JUEVES 14 DE FEBRERO DE 2019 .....	121
TABLA 4. 32 MICRO MEDICIONES HORARIAS SÁBADO 16 DE FEBRERO DE 2019 .....	122
TABLA 4. 33 FACTOR DE VARIACIÓN HORARIA LAS VELAS.....	123
TABLA 4. 34 CALIBRACIÓN CAUDAL OBSERVADO Y CAUDAL SIMULADO CASA 4.....	127
TABLA 4. 35 CALIBRACIÓN CAUDAL OBSERVADO Y CAUDAL SIMULADO CASA 5.....	128
TABLA 4. 36 CALIBRACIÓN CAUDAL OBSERVADO Y CAUDAL SIMULADO CASA 6.....	129
TABLA 4. 37 CAUDAL PROMEDIO OBSERVADO DE CASA 4, CASA 5 Y CASA 6. ....	130
TABLA 4. 38 CAUDAL PROMEDIO SIMULADO POR CASA EN NUDOS J-55, J-59 Y J-63.....	131

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2. 1 EL AGUA EN EL PLANETA .....	6
FIGURA 2. 2 OBRA DE CAPTACIÓN.....	9
FIGURA 2. 3 ESQUEMA DE ACUÍFEROS Y POZOS DE CAPTACIÓN.....	10
FIGURA 2. 4 ESQUEMA DE ESTACIÓN DE BOMBEO .....	11
FIGURA 2. 5 FORMAS DE DISTRIBUCIÓN .....	12
FIGURA 2. 6 CURVA DE CONSUMO DIARIO TÍPICA .....	17
FIGURA 2. 7 MACROMEDIDOR.....	21
FIGURA 2. 8 MICROMEDIDOR .....	21
FIGURA 2. 9 MEDIDOR VOLUMÉTRICO .....	22
FIGURA 2. 10 CURVA DE EXACTITUD DEL MEDIDOR VOLUMÉTRICO.....	22
FIGURA 2. 11 MECANISMO DEL MEDIDOR DE CHORRO ÚNICO.....	23
FIGURA 2. 12 MECANISMO DEL MEDIDOR DE CHORRO MÚLTIPLE.....	24
FIGURA 2. 13 MARCAS DE MEDIDORES MÁS COMUNES EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	24
FIGURA 2. 14 MEDIR UN MICRO MEDIDOR DE AGUA POTABLE .....	25
FIGURA 3. 1 PARTE DE UN MODELO. ....	38
FIGURA 3. 2 MODELOS HIDRAÚLICOS.....	38
FIGURA 3. 3 ETAPAS DE MODELAMIENTO.....	39
FIGURA 3. 4 ICONO DE ELEMENTO COSTUMER METER.....	42
FIGURA 4. 1 UBICACIÓN POLÍTICA DE LA ZONA DEL PROYECTO .....	43
FIGURA 4. 2 IMAGEN SATELITAL DE LA UBICACIÓN DEL BARRIO SAN SALVADOR.....	45
FIGURA 4. 3 IMAGEN SATELITAL DE LA UBICACIÓN DEL BARRIO LAS VELAS .....	46
FIGURA 4. 4 SISTEMAS EN ESTUDIO SAN SALVADOR.....	56
FIGURA 4. 5 SISTEMAS EN ESTUDIO LAS VELAS .....	57
FIGURA 4. 6 RÉPLICA DE RED SAN SALVADOR.....	61
FIGURA 4. 7 ELEVACIONES DE LOS NUDOS.....	62
FIGURA 4. 8 LONGITUD DE TUBERÍAS.....	63
FIGURA 4. 9 DIÁMETROS DE TUBERÍAS.....	64
FIGURA 4. 10 VIVIENDAS CON CONEXIÓN RED SAN SALVADOR COSTUMER METER.....	65
FIGURA 4. 11 RESUMEN DE RESULTADOS PERIODO ESTÁTICO SAN SALVADOR .....	66
FIGURA 4. 12 VELOCIDADES OBTENIDAS SAN SALVADOR EN PERIODO ESTÁTICO .....	67
FIGURA 4. 13 CAUDALES PERIODO ESTÁTICO SAN SALVADOR.....	68
FIGURA 4. 14 PRESIONES PERIODO ESTÁTICO SAN SALVADOR.....	69

FIGURA 4. 15 CURVA DE VARIACIÓN HORARIA SAN SALVADOR.....	80
FIGURA 4. 16 CURVA VARIACIÓN HORARIA EL MOLINO DE LA CIUDAD DE TARIJA .....	81
FIGURA 4. 17 VARIACIÓN LINEAL CAUDAL OBSERVADO VS SIMULADO CASA 1. ....	89
FIGURA 4. 18 VARIACIÓN LINEAL CAUDAL OBSERVADO VS SIMULADO CASA 2.....	90
FIGURA 4. 19 VARIACIÓN LINEAL CAUDAL OBSERVADO VS SIMULADO CASA 3.....	91
FIGURA 4. 20 VARIACIÓN LINEAL CAUDAL OBSERVADO VS SIMULADO SAN SALVADOR	92
FIGURA 4. 21 RESUMEN DE RESULTADOS SIMULACIÓN 1 SAN SALVADOR .....	96
FIGURA 4. 22 VARIACIONES HORARIAS DE CONSUMO PARA SAN SALVADOR .....	100
FIGURA 4. 23 REPLICA SISTEMA PERIODO ESTÁTICO LAS VELAS.....	105
FIGURA 4. 24 ELEVACIONES EN NUDO PERIODO ESTÁTICO SISTEMA LAS VELAS .....	106
FIGURA 4. 25 LONGITUD DE TUBERÍAS PERIODO ESTÁTICO SISTEMA LAS VELAS .....	107
FIGURA 4. 26 DIÁMETROS DE TUBERÍAS PERIODO ESTÁTICO SISTEMA LAS VELAS .....	108
FIGURA 4. 27 VIVIENDAS CON CONEXION A LA RED PERIODO ESTÁTICO LAS VELAS .....	109
FIGURA 4. 28 VELOCIDADES OBTENIDOS DEL BARRIO LAS VELAS.....	111
FIGURA 4. 29 CAUDALES PERÍODO ESTÁTICO LAS VELAS .....	112
FIGURA 4. 30 PRESIONES PERÍODO ESTÁTICO LAS VELAS .....	113
FIGURA 4. 31 CURVA DE VARIACIÓN HORARIA LAS VELAS .....	124
FIGURA 4. 32 RESUMEN DE RESULTADOS PERIODO EXTENDIDO LAS VELAS .....	125
FIGURA 4. 33 VARIACIÓN LINEAL CAUDAL OBSERVADO VS SIMULADO CASA 4.....	128
FIGURA 4. 34 VARIACIÓN LINEAL CAUDAL OBSERVADO VS SIMULADO CASA 5.....	129
FIGURA 4. 35 VARIACIÓN LINEAL CAUDAL OBSERVADO VS SIMULADO CASA 6.....	130
FIGURA 4. 36 VARIACIÓN LINEAL CAUDAL OBSERVADO VS SIMULADO LAS VELAS .....	131
FIGURA 4. 37 VARIACIONES HORARIAS DE CONSUMO PARA SAN SALVADOR .....	140

## **ANEXOS**

### **ANEXO A**

TABLAS DE MODELACIÓN EN PERÍODO EXTENDIDO SAN SALVADOR

### **ANEXO B**

**SIMULACIÓN DE ESCENARIO FICTICIO SAN SALVADOR**

### **ANEXO C**

TABLAS DE MODELACIÓN EN PERÍODO EXTENDIDO LAS VELAS

### **ANEXO D**

#### **ANEXO D-1**

TABLAS DE SIMULACIÓN DE ESCENARIO FICTICIO LAS VELAS N°1

#### **ANEXO D-2**

TABLAS DE SIMULACIÓN DE ESCENARIO FICTICIO LAS VELAS N°2

### **ANEXO E**

MEMORIA FOTOGRÁFICA

### **ANEXOS F**

PLANO CON AMBOS BARRIOS; SAN ALVADOR Y LAS VELAS