

Trabajo Fin de Máster

Análisis y modelación matemática de la red de distribución de agua potable de la ciudad de Macas, Morona Santiago, Ecuador.

Intensificación: *Hidráulica Urbana*

Autor:

BAYRON EFRÉN PARRA SAMANIEGO

Tutor:

DR. JAVIER SORIANO OLIVARES

FEBRERO, 2020



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma



Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto

Título del TFM en español: Análisis y modelación matemática de la red de distribución de agua potable de la ciudad de Macas, Morona Santiago, Ecuador.

Título del TFM en inglés: Analysis and mathematical modeling of the drinking water distribution network of the city of Macas, Morona Santiago, Ecuador.

Título del TFM en Valenciano: Anàlisi i modelació matemàtica de la xarxa de distribució d'aigua potable de la ciutat de Macas, Morona Santiago, Equador.

Alumno: BAYRON EFREN PARRA SAMANIEGO.

Tutor: DR. JAVIER SORIANO OLIVARES

Cotutor/es:

Director experimental:

Fecha de Lectura: FEBRERO, 2020

Resumen

En español

El presente trabajo tiene como objetivo principal la realización del modelo matemático de la red de abastecimiento de agua de la ciudad de Macas, Morona Santiago, Ecuador; para posteriormente realizar un análisis actual de la red, evaluando las principales variables hidráulicas del sistema (presiones, caudales, velocidades, y pérdidas unitarias) con la finalidad de proponer mejoras al sistema capaces de optimizar el funcionamiento de la red, especialmente en lo que se refiere a las pérdidas de agua.

Se parte de información proporcionada por el Departamento de Gestión de Agua Potable y Alcantarillado (DGAPA) del cantón Morona. Esta información corresponde básicamente a planos de la red en formato CAD, plano catastral y el catastro de usuarios del año 2017. Así como también, datos de caudales inyectados al sistema, valores de caudales a la salida de depósitos y presiones en ciertos puntos de la red.

El método de asignación de consumos se lo plantea mediante el conteo de viviendas, esta metodología es factible debido a que la zona de estudio corresponde a la de una ciudad pequeña con una población estimada de 33,757 habitantes y con un total de 7,011 abonados. Se propone además, dentro del método de asignación de consumos, identificar y ubicar los grandes consumidores en los nodos correspondientes ya que se cuenta con un catastro detallado de los mismos (consumo y dirección), todo esto con la finalidad de aproximarse de la mejor forma a lo que sucede en la realidad.

La esqueletización de la red se ha realizado mediante el uso y depuración de planos CAD en las que se encontraban datos de tuberías, longitudes y diámetros. Al faltar de información topográfica la misma ha sido obtenida de medios digitales y mediante el procesamiento de la ésta se ha llegado a la asignación de las distintas cotas en los nudos de la red. El modelo ha sido realizado mediante el software EPANET 2.0 el cual es de libre acceso y de amplia difusión.

Las fugas se han modelado dentro del sistema como emisores, realizando procesos iterativos para ajustar el caudal medio medido a la salida de las plantas con el caudal



simulado en el software. Para la fase de calibración se cuenta con valores de presión en cinco puntos de la ciudad, tomados durante un día, cada dos horas. La calibración ha sido realizada mediante la variación del factor de demanda (FD) que cuenta EPANET 2.0 dentro de sus opciones hidráulicas, procurando en todo momento que las presiones simuladas, así como los caudales registrados a la salida de los depósitos se asemejen en medida de lo posible a los reales.

Una vez realizado el modelo se ha identificado que el principal problema son las sobrepresiones, las cuales están directamente ligadas a las fugas. Las propuestas de mejora se enfocan en reducir las mismas y poder así reducir también parte de las pérdidas reales del sistema.

Al carecer de sectorización, se propone la creación de 14 sectores, aprovechando los niveles de terreno y la topología de la red. Mediante la reconexión, instalación de tramos nuevos de tubería y la instalación de 24 válvulas reductoras de presión se logra una reducción en las presiones del sistema, consiguiendo así que el 92.27% de los nodos se encuentren con presiones dentro del rango de 10 mca y 50 mca como lo estipula la normativa ecuatoriana. Estas acciones, permiten al final, que exista un ahorro económico de aproximadamente \$ 122,650 dólares americanos.

En valenciano

El present treball té com a objectiu principal la realització del model matemàtic de la xarxa de proveïment d'aigua de la ciutat de Macas, Morona Santiago, Equador; per a posteriorment realitzar una anàlisi actual de la xarxa, avaluant les principals variables hidràuliques del sistema (pressions, cabals, velocitats, i pèrdues unitàries) amb la finalitat de proposar millores al sistema capaços d'optimitzar el funcionament de la xarxa, especialment pel que fa a les pèrdues d'aigua.

Es parteix d'informació proporcionada pel Departament de Gestió d'Aigua Potable i Clavegueram (DGAPA) del cantó Morona. Aquesta informació correspon bàsicament a plans de la xarxa en format CAD, pla cadastral i el cadastre d'usuaris de l'any 2017. Així com també, dades de cabals injectats al sistema, valors de cabals a l'eixida de depòsits i pressions en certs punts de la xarxa.

El mètode d'assignació de consums li ho planteja mitjançant el comptatge d'habitatges, aquesta metodologia és factible pel fet que la zona d'estudi correspon a la d'una ciutat xicoteta amb una població estimada de 33,757 habitants i amb un total de 7,011 abonats. Es proposa a més, dins del mètode d'assignació de consums, identificar i situar els grans consumidors en els nodes corresponents ja que es compta amb un cadastre detallat dels mateixos (consum i direcció), tot això amb la finalitat d'aproximar-se de la millor forma al que succeeix en la realitat.

La la xarxa s'ha realitzat mitjançant l'ús i depuració de plans CAD en les quals es trobaven dades de canonades, longituds i diàmetres. En mancar d'informació topogràfica la mateixa ha sigut obtinguda de mitjans digitals i mitjançant el processament de l'aquesta s'ha arribat a l'assignació de les diferents cotes en els nusos de la xarxa. El model ha sigut realitzat mitjançant el programari EPANET 2.0 el qual és de lliure accés i d'àmplia difusió.



Les fugides s'han modelat dins del sistema com a emissors, realitzant processos iteratius per a ajustar el cabal mitjà mesurat a l'eixida de les plantes amb el cabal simulat en el programari. Per a la fase de calibratge es compta amb valors de pressió en cinc punts de la ciutat, presos durant un dia, cada dues hores. El calibratge ha sigut realitzada mitjançant la variació del factor de demanda (FD) que compta EPANET 2.0 dins de les seues opcions hidràuliques, procurant en tot moment que les pressions simulades, així com els cabals registrats a l'eixida dels depòsits s'assemblen en mesura del possible als reals.

Una vegada realitzat el model s'ha identificat que el principal problema són les sobrepressions, les quals estan directament lligades a les fugides. Les propostes de millora s'enfoquen a reduir les mateixes i poder així reduir també part de les pèrdues reals del sistema.

En mancar de sectorització, es proposa la creació de 14 sectors, aprofitant els nivells de terreny i la topologia de la xarxa. Mitjançant la connexió, instal·lació de trams nous de canonada i la instal·lació de 24 vàlvules reductores de pressió s'aconsegueix una reducció en les pressions del sistema, aconseguint així que el 92.27% dels nodes es troben amb pressions dins del rang de 10 mca i 50 mca com ho estipula la normativa equatoriana. Aquestes accions, permeten al final, que existisca un estalvi econòmic d'aproximadament \$ 122,650 dòlars americans.

En inglés

The main objective of the present work is to carry out the mathematical model of the water supply network of the city of Macas, Morona Santiago, Ecuador; to later carry out a current analysis of the network, evaluating the main hydraulic variables of the system (pressures, flows, velocity, and unit losses) in order to propose improvements to the system capable of optimizing the operation of the network, especially with regard to water losses.

This is based on information provided by the Department of Drinking Water and Sewerage Management (DGAPA) of the canton of Morona. This information basically corresponds to maps of the network in CAD format, a cadastral drawing and the cadastre of users for the year 2017. As well as data on flows injected into the system, flow values at the outlet of tanks and pressures at certain points of the network.

The consumption allocation method is proposed by means of counting homes. This methodology is feasible because the study area corresponds to that of a small city with an estimated population of 33,757 inhabitants and a total of 7,011 customers. It is also proposed, within the consumption allocation method, to identify and locate the large consumers in the corresponding nodes since there is a detailed cadastre of them (consumption and address), all this with the purpose of approaching in the best way what happens in reality.

The skeletonisation of the network has been carried out by using and debugging CAD drawings in which there was data on pipes, lengths and diameters. As there is no topographical information, it has been obtained from digital means and by processing it, the different levels have been assigned to the network nodes. The model has been made using EPANET 2.0 software, which is freely accessible and widely distributed.



The leaks have been modelled within the system as emitters, carrying out iterative processes to adjust the average flow measured at the output of the plants with the flow simulated in the software. For the calibration phase, there are pressure values at five points in the city, taken during one day, every two hours. The calibration has been carried out by means of the variation of the demand factor (FD) that EPANET 2.0 counts within its hydraulic options, trying at all times that the simulated pressures, as well as the flows registered at the exit of the tanks are as similar as possible to the real ones.

Once the model has been made, it has been identified that the main problem is over-pressure, which is directly linked to leaks. The proposals for improvement are focused on reducing them and thus also reducing part of the real losses in the system.

As there is no sectorization, the creation of 14 sectors is proposed, taking advantage of the land levels and the topology of the network. By reconnecting, installing new sections of piping and installing 24 pressure reducing valves, a reduction in the system pressures is achieved, so that 92.27% of the nodes are within the range of 10 mca and 50 mca as stipulated by Ecuadorian regulations. These actions, allow in the end, that there is an economic saving of approximately \$ 122,650 USD.

Palabras clave español: Macas, Epanet, Modelo matemático, Agua potable.

Palabras clave valenciano: Macas, Epanet, Model matemàtic, Aigua potable.

Palabras clave inglés: Macas, Epanet, Mathematical modeling, Drinking water.





Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por todas las bondades que me ha regalado a lo largo de mi vida. A mi familia, especialmente a mis padres que han sido para mí el pilar fundamental de mi desarrollo como ser humano y como profesional.

Agradezco de manera muy cordial, a la municipalidad del cantón Morona, de manera especial a los técnicos del Departamento de Gestión de Agua Potable y Alcantarillado, quienes han estado siempre dispuestos a colaborar y a apoyar el desarrollo del presente trabajo.

Finalmente, agradezco a la Universidad Politécnica de Valencia, a todos sus profesores, quienes me han enseñado todo cuanto han podido sin ningún tipo de recelo y han guiado mi formación para cumplir una meta importante en mi vida. Agradezco especialmente a mi tutor, Dr. Javier Soriano, por su tiempo y dedicación.





CONTENIDO:

ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
1 INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	2
1.1 INTRODUCCIÓN	2
1.2 ANTECEDENTES.....	3
1.3 OBJETIVOS	4
2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	6
2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	6
2.2 CLIMATOLOGÍA	7
2.3 TOPOGRAFÍA	8
2.4 DEMOGRAFÍA	11
3 ELEMENTOS DEL SISTEMA	15
3.1 CAPTACIÓN.....	16
3.1.1 Captación San Isidro.....	16
3.1.2 Captación Jimbitono.....	18
3.2 PLANTAS DE TRATAMIENTO	20
3.2.1 PTAP San Isidro.....	20
3.2.2 PTAP Jimbitono.....	21
3.3 DEPÓSITOS	22
3.4 RED DE DISTRIBUCIÓN.....	24
3.4.1 Configuración de la Red.....	24
3.4.2 Tuberías.....	24
3.4.3 Válvulas.....	25
3.4.4 Acometidas	26
4 BALANCE HÍDRICO	28
4.1 VOLUMEN INYECTADO.....	28
4.2 VOLUMEN CATASTRADO	29
4.3 VOLUMEN REGISTRADO.....	29
4.4 BALANCE HÍDRICO TÉCNICO	30
4.4.1 Caudal inyectado, registrado e incontrolado (Q , Q_r , Q_i)	31
4.4.2 Caudal incontrolado consumido y no medido por carencia de contador de una acometida autorizada (Q_{icca}).....	31
4.4.3 Caudal incontrolado consumido y no medido por carencia de contador de una acometida ilegal (Q_{icci}).....	32
4.4.4 Caudal incontrolado consumido y registrado por error de medida (Q_{ice}).....	35
4.4.5 Resumen y análisis del balance hídrico técnico	35
4.5 BALANCE HÍDRICO IWA.....	38
5 MODELO MATEMÁTICO	44
5.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	45
5.1.1 Plano actual de la red	45
5.1.2 Topografía	47
5.1.3 Catastro de usuarios.....	51
5.1.4 Volúmenes inyectados.....	53
5.1.5 Patrón de demanda.....	53
5.2 ESQUELETIZACIÓN DE LA RED	57
5.2.1 Trazado de la red en AutoCAD	57
5.2.2 Importación de la red en Epanet 2.0	59
5.2.3 Asignación de elevaciones. WaterCAD	61
5.2.4 Ubicación de embalses y depósitos	66
5.3 ASIGNACIÓN DE CONSUMOS, FUGAS Y PATRÓN DE DEMANDA.....	67
5.3.1 Asignación de consumos.....	67



5.3.2	<i>Fugas</i>	72
5.3.3	<i>Introducción del patrón de demanda</i>	74
5.4	MODELO MATEMÁTICO.....	75
5.5	REAJUSTE DE COEFICIENTE EMISOR.....	78
5.6	CALIBRACIÓN DEL MODELO.....	78
6	DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL, ANÁLISIS Y RESULTADOS	91
6.1	PRESIONES.....	91
6.2	VELOCIDADES.....	94
6.3	CAUDALES.....	96
6.4	PÉRDIDAS UNITARIAS.....	97
6.5	ANÁLISIS DE PLIEGO TARIFARIO Y COSTE DEL AGUA EN EL SISTEMA.....	98
7	PROPUESTAS DE MEJORA	102
7.1	SECTORIZACIÓN.....	102
7.1.1	<i>Niveles de terreno similares</i>	103
7.1.2	<i>Zonas topológicamente posibles de sectorizar</i>	103
7.1.3	<i>Reconexiones o conexiones nuevas</i>	104
7.2	VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN (VRP).....	113
7.3	REEMPLAZO DE TUBERÍAS DEBIDO A PÉRDIDAS UNITARIAS.....	117
7.4	CONTROL ACTIVO DE FUGAS.....	119
7.5	RENDIMIENTO DEL SISTEMA.....	120
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	123
8.1	CONCLUSIONES.....	123
8.2	RECOMENDACIONES.....	124
9	BIBLIOGRAFÍA	126
10	ANEJOS	129
10.1	ANEJO 1. CONTEO DE VIVIENDAS POR MANZANAS.....	129
10.2	ANEJO 2. CONTEO DE ACOMETIDAS ESPECIALES.....	143
10.3	ANEJO 3. RESUMEN ASIGNACIÓN CAUDALES.....	145
10.4	ANEJO 4. SECTORIZACIÓN. VÁLVULAS DE OPERACIÓN, CIERRE Y REDUCTORAS DE PRESIÓN. ...	148

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Crecimiento demográfico de las poblaciones.....	12
Tabla 2.	Información geográfica captación San Isidro.....	16
Tabla 3.	Información geográfica captación Jimbitono.....	19
Tabla 4.	Ubicación geográfica de depósitos del sistema.....	23
Tabla 5.	Diámetros y longitudes de tuberías.....	24
Tabla 6.	Longitudes de tuberías agrupadas por diámetro.....	25
Tabla 7.	Materiales y longitudes de tuberías.....	25
Tabla 8.	Volúmenes inyectados por planta año 2017.....	28
Tabla 9.	Volumen catastrado año 2017.....	29
Tabla 10.	Volumen registrado año 2017.....	30
Tabla 11.	Caudal inyectado, registrado e incontrolado año 2017.....	31
Tabla 12.	Determinación del caudal Qicca año 2017.....	32
Tabla 13.	Tabla de pérdidas comerciales para sistemas en países en vías de desarrollo.....	33
Tabla 14.	Cálculo del caudal de agua facturada año 2017.....	34
Tabla 15.	Cálculo de caudal por acometidas ilegales año 2017.....	34



Tabla 16. Cálculo de caudal producto de subcontaje de contadores año 2017.	35
Tabla 17. Resumen cálculo de balance hídrico técnico 2017.	36
Tabla 18. Rango y calificación del sistema en función del balance hídrico técnico. [13]	37
Tabla 19. Resumen general de caudales del sistema año 2017.....	37
Tabla 20. Resumen específico de caudales en el sistema año 2017.	38
Tabla 21. Resúmenes caudales del balance hídrico IWA.....	39
Tabla 22. Balance hídrico IWA.....	40
Tabla 23. Calificación IWA del sistema en función de su IFE.....	42
Tabla 24. Resumen de catastro de acometidas.	51
Tabla 25. Resumen de catastro de acometidas habilitadas.	52
Tabla 26. Resumen de catastro de acometidas especiales.	52
Tabla 27. Volúmenes inyectados al sistema 2017.	53
Tabla 28. Medidas de caudales a la salida de depósito R2.	54
Tabla 29. Coeficientes de modulación horarios.	56
Tabla 30. Número de abonados de acuerdo al tipo de acometida.....	69
Tabla 31. Extracto de proceso de conteo de viviendas por manzana.....	69
Tabla 32. Extracto del proceso de conteo de acometidas especiales.	70
Tabla 33. Proceso de asignación de caudales a los nodos de la red.....	71
Tabla 34. Cálculo inicial del coeficiente emisor.....	73
Tabla 35. Iteraciones para determinación del coeficiente emisor.....	73
Tabla 36. Caudales a la salida del depósito R2. 250 mm y 350 mm.	79
Tabla 37. Presiones en la red.	80
Tabla 38. Proceso iterativo para determinación de factor de demanda.	85
Tabla 39. Presiones en los nodos. Hora valle y punta.	93
Tabla 40. Velocidades en la red. Hora valle y punta.	95
Tabla 41. Pliego tarifario 2017.....	99
Tabla 42. Estudio de coste de m ³ de agua	99
Tabla 43. Volúmenes de agua y costes en el sistema calibrado.....	100
Tabla 44. VRP propuestas para la red de Macas.	113
Tabla 45. Presiones en nodos horas valle y punta. Sistema con mejoras.	116
Tabla 46. Tuberías a reemplazar.....	117
Tabla 47. Resumen tuberías a reemplazar.	117
Tabla 48. Comparación de caudales. Sistema sin mejoras y con mejoras.	121
Tabla 49. Ahorro económico del sistema con mejoras.	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa político del cantón Morona.	6
Figura 2. Zona de estudio. Macas, Proaño y San Isidro	7
Figura 3. Pisos climáticos del cantón Morona. [1].....	8
Figura 4. Topografía del cantón Morona. [1].....	9
Figura 5. Topografía de la zona de estudio. ArcMap.	10
Figura 6. Emplazamiento del sistema. Vista periférica.	11
Figura 7. Crecimiento poblacional de Macas y su conurbación.	12
Figura 8. Actividades económicas de la población del cantón Morona. [1].....	13
Figura 9. Esquema general del sistema de abastecimiento de Macas.....	15
Figura 10. Captación Río Quebrada.	17
Figura 11. Esquema de conducción San Isidro.....	17



Figura 12. Captación casa de máquinas HIDROABANICO.....	18
Figura 13. Esquema de conducción Jimbitono.....	19
Figura 14. Vertedero de llegada PTAP San Isidro.....	20
Figura 15. Vista panorámica de PTAP San Isidro.....	21
Figura 16. Vista panorámica de PTAP Jimbitono.....	22
Figura 17. Filtro a gravedad y presurizado PTAP Jimbitono.....	22
Figura 18. Depósito R2. 2,000 m ³	23
Figura 19. Válvulas a la llegada del depósito R2.....	26
Figura 20. Componentes del balance hídrico técnico. [10].....	30
Figura 21. Balance hídrico técnico 2017.....	36
Figura 22. Resumen general de caudales del sistema 2017.....	37
Figura 23. Resumen específico de caudales del sistema 2017.....	38
Figura 24. Parte del plano AutoCAD del sistema actual de la red de Macas. Original.....	45
Figura 25. Parte del plano AutoCAD del sistema actual de la red de Macas. Modificado.....	46
Figura 26. Plano AutoCAD del sistema actual de la red de Macas. Modificado.....	46
Figura 27. Izq: Límite del área del sistema de agua potable. Der: Generación de puntos en Google Earth Pro.....	47
Figura 28. Características de los puntos de Google Earth Pro.....	48
Figura 29. Aplicativo para la obtención de elevaciones de Google Earth Pro.....	48
Figura 30. Elevaciones obtenidas a partir de GPS Visualizer.....	49
Figura 31. Izq: Puntos importados en ArcMap. Der: Puntos proyectados a coordenadas UTM en ArcMap.....	49
Figura 32. Coordenadas UTM del sistema de agua de Macas.....	50
Figura 33. Curvas de nivel generadas en AutoCAD Civil 3D.....	51
Figura 34. Variación horaria de caudal. Caudalímetro 250 mm.....	55
Figura 35. Variación horaria de caudal. Caudalímetro 350 mm.....	55
Figura 36. Curva de consumo.....	56
Figura 37. Patrón de demanda horario.....	57
Figura 38. Trazado de la red en AutoCAD.....	58
Figura 39. Entorno gráfico extensión CADARED.....	59
Figura 40. Entorno gráfico extensión CADARED. Opciones.....	59
Figura 41. Plano importado a Epanet 2.0.....	60
Figura 42. Plano importado a Epanet 2.0 con diámetros.....	61
Figura 43. Entorno WaterCAD. Importación de Epanet.....	62
Figura 44. Red en WaterCAD.....	62
Figura 45. Proceso de importación de curvas de nivel a WaterCAD. Background.....	63
Figura 46. Curvas de nivel importadas como background.....	63
Figura 47. Importación de curvas de nivel WaterCAD. TRex.....	64
Figura 48. Asignación de cotas a los nodos de la red con TRex.....	64
Figura 49. Proceso de exportación de WaterCAD a Epanet.....	65
Figura 50. Red en Epanet con elevaciones en los nodos.....	65
Figura 51. Ubicación de embalses y depósitos en red de Epanet.....	66
Figura 52. Vista en planta de manzanas de la ciudad de Macas.....	67
Figura 53. Vista en planta de manzana tipo de la ciudad de Macas.....	68
Figura 54. Red en Epanet con demanda base en los nodos.....	72
Figura 55. Patrón de demanda calculado.....	74
Figura 56. Patrón de demanda de Macas en Epanet.....	74
Figura 57. Modelo matemático de la red Macas.....	75
Figura 58. Caudal a la salida de la PTAP de San Isidro. Modelo inicial.....	76
Figura 59. Caudal a la salida de la PTAP de Jimbitono. Modelo inicial.....	76
Figura 60. Caudal a la salida de la PTAP de San Isidro. Modelo modificado.....	77
Figura 61. Caudal a la salida de la PTAP de Jimbitono. Modelo modificado.....	78



Figura 62. Caudales depósito R2. Tubería 250 mm.	81
Figura 63. Caudales depósito R2. Tubería 350 mm.	81
Figura 64. Presión en el nodo N154. Simulado y observado.	82
Figura 65. Presión en el nodo N267. Simulado y observado.	82
Figura 66. Presión en el nodo N90. Simulado y observado.	82
Figura 67. Presión en el nodo N191. Simulado y observado.	83
Figura 68. Presión en el nodo N232. Simulado y observado.	83
Figura 69. Caudales depósito R2. Tubería 250 mm. FD calibrado.	87
Figura 70. Caudales depósito R2. Tubería 350 mm. FD calibrado.	87
Figura 71. Presión en el nodo N154. Simulado y observado. FD calibrado.	88
Figura 72. Presión en el nodo N267. Simulado y observado. FD calibrado.	88
Figura 73. Presión en el nodo N90. Simulado y observado. FD calibrado.	88
Figura 74. Presión en el nodo N191. Simulado y observado. FD calibrado.	89
Figura 75. Presión en el nodo N232. Simulado y observado. FD calibrado.	89
Figura 76. Izq: Presiones hora punta. Der: Presiones hora valle.	92
Figura 77. Presiones en los nodos. Hora valle y punta.	93
Figura 78. Izq: Velocidades hora valle. Der: Velocidades hora punta.	94
Figura 79. Velocidades en la red. Hora valle y punta.	95
Figura 80. Izq: Caudales en la red. Der: Diámetro de la red.	96
Figura 81. Pérdidas unitarias en la red.	97
Figura 82. Frecuencia de pérdidas unitarias en la red.	98
Figura 83. Volúmenes de agua y costes en el sistema calibrado.	100
Figura 84. Mapa de contorno de elevaciones del terreno.	103
Figura 85. Reconexiones centro norte de la ciudad de Macas.	104
Figura 86. Reconexión sur de la ciudad. Sector 13.	105
Figura 87. Extensión de red sur de la ciudad. Sector 13.	106
Figura 88. Extensión de red de 160 mm. Sector 14.	107
Figura 89. Extensiones de red norte de la ciudad. Sector 5.	108
Figura 90. Extensiones de red Proaño. Sector 2.	108
Figura 91. Reconexión de tuberías arteriales. Proaño.	109
Figura 92. Producción PTAP San Isidro. (Sin conexión)	110
Figura 93. Producción PTAP Jimbitono. (Sin conexión)	110
Figura 94. Producción PTAP San Isidro. (Conexión)	111
Figura 95. Producción PTAP Jimbitono. (Conexión)	111
Figura 96. Propuesta de sectorización de la red de Macas.	112
Figura 97. Presiones hora valle. Sistema con mejoras.	114
Figura 98. Presiones hora punta. Sistema con mejoras.	115
Figura 99. Presiones en nodos horas valle y punta. Sistema con mejoras.	116
Figura 100. Porcentaje de nodos con presiones dentro de la normativa.	116
Figura 101. Pérdidas unitarias con tuberías reemplazadas.	118
Figura 102. Gráfico de frecuencia de distribución de pérdidas unitarias en la red.	119



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS



1 INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN

El agua es un bien escaso, pero sumamente necesario para la vida en general. Alrededor del mundo acceder a ella se torna cada vez más difícil, mucho más si se trata de agua segura para el ser humano. Nuestros ecosistemas, las sociedades y la economía en general dependen de ella, por lo que tener conciencia de su valor es vital para preservarla.

A cualquier escala, la gestión del recurso hídrico, es necesaria para suministrarla de manera eficiente. Ya sea en el área rural o en las grandes ciudades es tarea de todos, y especialmente de los gobiernos, garantizar que el agua llegue a al ser humano en cantidad y calidad adecuadas. Es por eso, que contar con un modelo matemático del sistema de distribución de agua se vuelve una ventaja primordial para cualquier gestor y constituye una herramienta valiosa para la toma de decisiones referente a la distribución del recurso.

El trabajo de fin de máster, “Análisis y modelación matemática de la red de distribución de agua potable de la ciudad de Macas, Morona Santiago, Ecuador”, presenta de manera clara los pasos seguidos para la obtención de un modelo matemático de un sistema de agua de una ciudad pequeña. El software en el que se desarrolla es Epanet, el cual es de libre acceso y ampliamente difundido. Con este trabajo, además de ser un requisito académico, se pretende proporcionar a la municipalidad del cantón Morona, una herramienta que sirva de punto de partida para el desarrollo de mejores modelos, más completos y precisos, que les permita gestionar de mejor manera su red de distribución ya que actualmente carecen de modelo alguno.

La estructura de este trabajo presenta en primera instancia una breve descripción de la zona en la que se enmarca el modelo. Luego, se describen los componentes principales con los que cuenta la red de distribución, para después abordar, en función de los datos proporcionados, el balance hídrico del sistema. A continuación, partiendo de información primaria (planos de la red de distribución, catastro de usuarios, plano catastral de la ciudad, mediciones de caudal, etc.), se presenta la metodología utilizada para la elaboración del modelo matemático.

Posteriormente, con el modelo construido, se realizan una serie de análisis de los principales parámetros hidráulicos de la red como son: velocidades, caudales, presiones y pérdidas unitarias. Se realiza también, una calibración básica del modelo, tratando de ajustarse a medida de lo posible a lo que sucede en la realidad, usando para esto datos de campo tomados por la municipalidad en su afán de contribuir a la realización de este trabajo.

Finalmente, una vez con el modelo calibrado se presentan propuestas de mejora del sistema, dejando ver que con acciones sencillas y apoyados en una herramienta digital, como es el modelo en Epanet, se pueden llegar a soluciones que permitan el ahorro de agua y por consiguiente al ahorro de recursos económicos los cuales pueden ser utilizados para la implementación de las mismas mejoras.



1.2 ANTECEDENTES

La ciudad de Macas se encuentra ubicada en la región amazónica, al suroeste del Ecuador. Es la capital del cantón Morona y de la provincia de Morona Santiago siendo su principal urbe y la más poblada. Al encontrarse en los flancos orientales de la cordillera de los Andes, a una altitud promedio de 1,100 msnm posee un clima tropical propio de las zonas amazónicas con una temperatura media de 20 °C. [1]

Aunque fundada en el año de 1563, su desarrollo empezó a surgir a finales del siglo pasado, siendo el comercio, la agricultura y la ganadería sus principales actividades económicas. Además, dadas las condiciones naturales, sectores como el turístico se han ido desarrollando paralelamente. [1] [2]

El cantón Morona se divide en nueve parroquias (refiérase a “parroquia” como el territorio dentro de la división administrativa municipal del Ecuador), de las cuales seis son rurales y tres urbanas: Macas, Proaño y San Isidro. Estas dos últimas, por su cercanía con la capital cantonal conforman el conglomerado urbano de la ciudad de Macas. [3]

De acuerdo al censo del año **2010** realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), la ciudad de Macas cuenta con una población de 19,176 habitantes. No obstante, es importante referirse a la conurbación de Macas, dado que el sistema de agua potable abarca toda esta zona. Mentada conurbación incluye las dos parroquias urbanas, y posee en total una población de **22,551** habitantes. [4]

En cuanto al suministro de agua potable, el INEC ha categorizado al sistema de la ciudad como bueno, principalmente por la cobertura que presta. Para el año 2010, el mismo abarcaba al **94.46%** de la población. Sin embargo, el crecimiento de los últimos diez años ha hecho que la ciudad cada vez necesite de un ampliado y mejor sistema de servicios básicos entre ellos el de agua potable. [4]

En la actualidad, el sistema de agua como el de saneamiento se gestionan directamente por la administración Municipal, a través del Departamento de Gestión de Agua Potable y Alcantarillado (DGAPA), el cual, en términos de agua potable es el encargado de todos los procesos involucrados, desde la captación hasta la distribución domiciliaria.

La información con la que se cuenta para la realización del presente trabajo es la proporcionada por el DGAPA y en síntesis es la siguiente:

- Plano de la red de distribución del sistema de agua potable de la ciudad de Macas en formato CAD.
- Plano catastral de la ciudad de Macas y las parroquias urbanas de Proaño y San Isidro en formato CAD.
- Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Morona (PDYOT) del año 2014.
- Volúmenes mensuales de caudales inyectados y registrados del año 2017.
- Registro del catastro de consumo mensual medidos a través de contadores mecánicos de todo el sistema del año 2017.



- Mediciones de caudal a la salida de una de las dos plantas potabilizadoras de la ciudad, medidos cada seis horas. Datos del año 2018.
- Datos de caudales medidos a la salida del principal punto de almacenamiento de la ciudad, tomados cada hora por un lapso de tres días. Dos entre semana y uno de fin de semana.
- Presiones en ciertos sectores del sistema medidos cada dos horas durante un día de control establecido.

Dicha información, ha sido entregada de forma directa y forma parte del punto de partida, para el desarrollo y modelación del sistema presentado en este trabajo.

1.3 OBJETIVOS

En términos generales, los objetivos que se persiguen con el presente trabajo son los siguientes:

- Obtener datos que permitan caracterizar el abastecimiento: información referente a caudales de inyección al sistema, datos que permitan elaborar un patrón de consumo representativo del consumo de los usuarios del abastecimiento, información de redes instaladas (diámetros, longitudes, materiales, etc.), registro de consumo de usuarios, distribución catastral de las viviendas, etc.
- Realización de un balance hídrico del sistema de abastecimiento, de tal forma que se pueda establecer en cuanto a su gestión el estado actual del y que a su vez correspondan a datos de partida para la elaboración del modelo matemático de la red.
- Elaboración del modelo matemático de la red, ajustándolo a la carga hidráulica actual. Intentando representar de la mejor manera la caracterización física de la misma.
- Calibración básica del modelo en función de los caudales inyectados y de presiones tomadas en puntos específicos de la red. Usando para esto la información de campo prestada por la DGAPA de la ciudad de Macas.
- Análisis del funcionamiento actual del sistema, basado en el modelo matemático de la red en su estado original.
- Propuestas de mejora del sistema, enfocado dado sea el caso en renovación o aumento de tuberías. Control y manejo de la presión en la red, etc.
- Definición de sectores, con la finalidad de tener un mejor control de la red. La cual permita a su vez realizar una mejor gestión del abastecimiento en general.



CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio corresponde a un área ubicada en la región amazónica del Ecuador, en los flancos orientales de la cordillera de los Andes, la cual por su naturaleza de selva tropical es una zona rica en recursos hídricos. Además, al estar dentro de las estribaciones de los Andes, presta a la ciudad y al sistema en general la facilidad de conducir el agua por gravedad a las áreas pobladas que comúnmente se encuentran ubicadas en medio de valles. [5]

2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El sistema se encuentra ubicado en Ecuador, en la provincia de Morona Santiago, abarcando las parroquias urbanas de Macas, Proaño y San Isidro. Con una altitud media de 1,100 msnm la ciudad de Macas se encuentra en un valle rodeado por los ríos Upano y Jurumbaino, los cuales hacen de límites naturales (ver figura 1). [1]

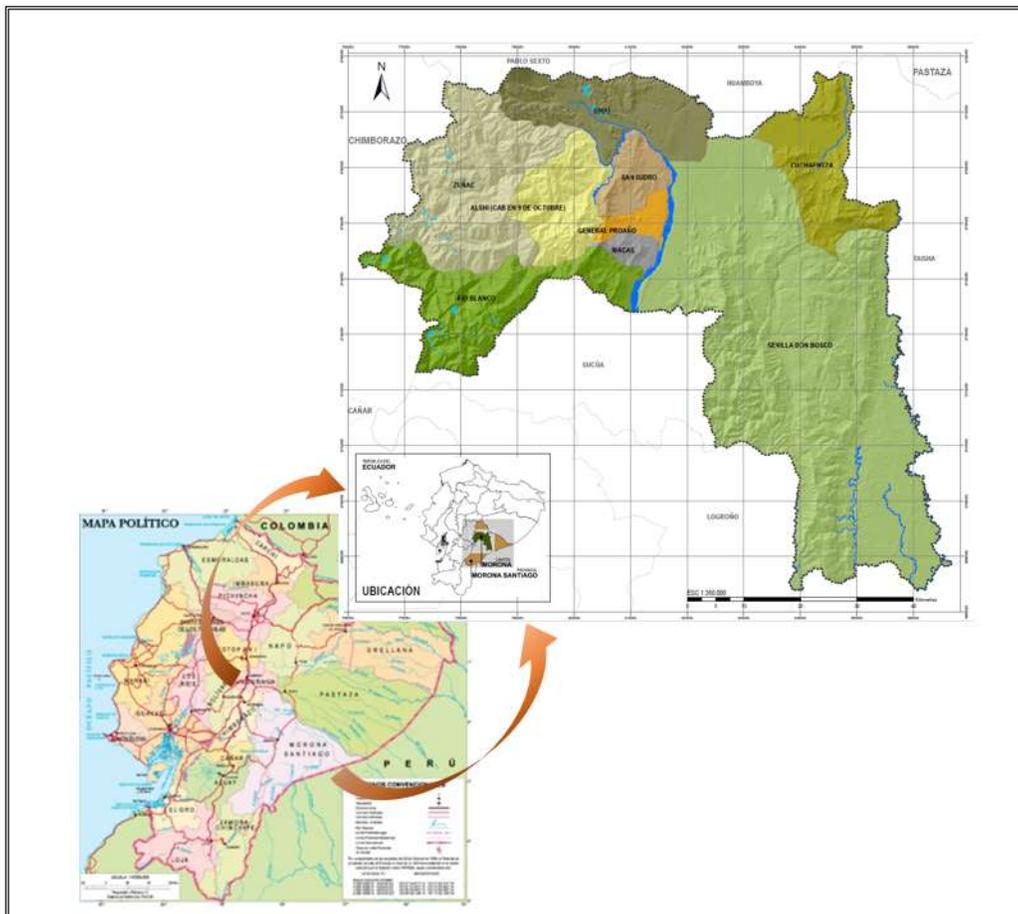


Figura 1. Mapa político del cantón Morona.

El cantón limita de la siguiente manera:

- Al norte con los cantones de Huamboya y Pablo Sexto.
- Al este con el cantón Taisha.
- Al sur con los cantones de Sucúa, Logroño y Tiwintza.
- Al oeste con la provincia de Chimborazo.

La zona de estudio corresponde a las parroquias centrales del cantón en donde el suministro de agua potable es suplido por la municipalidad a través del departamento correspondiente.

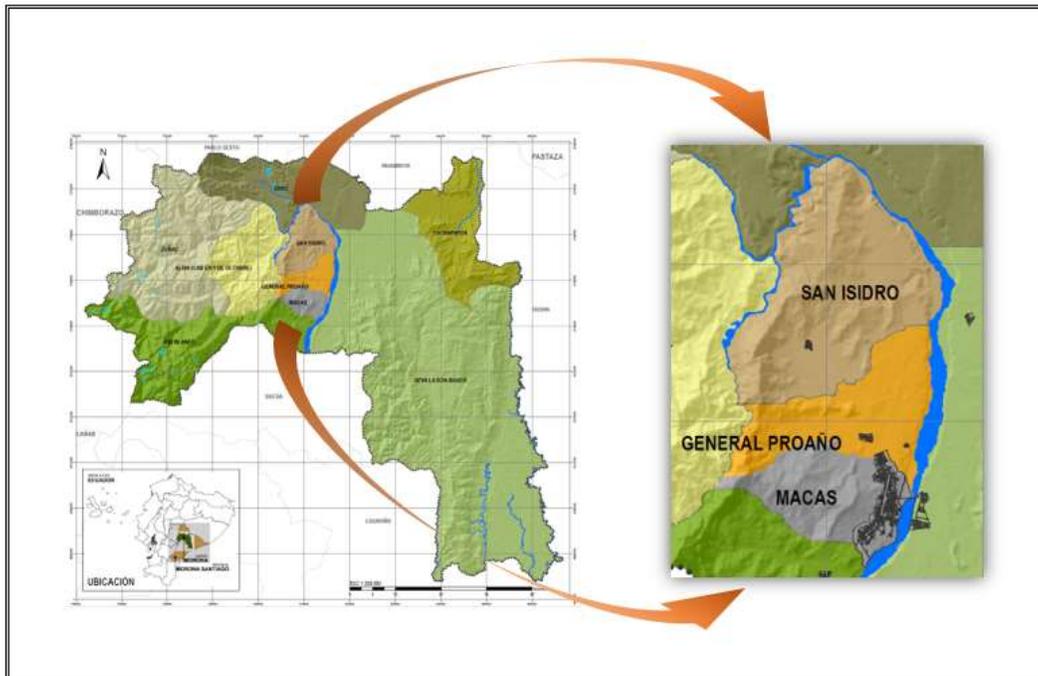


Figura 2. Zona de estudio. Macas, Proaño y San Isidro

2.2 CLIMATOLOGÍA

Al encontrarse dentro de la región amazónica, en términos generales el cantón Morona posee un clima tropical lluvioso. No obstante, el estar en las estribaciones de la cordillera de los Andes hacen que incluso dentro de un espacio pequeño de territorio la climatología varíe notablemente.

En cuanto a la ciudad de Macas y sus centros poblados, de acuerdo al Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), el clima de la ciudad de Macas se encasilla dentro de la categoría de: tropical mega térmico húmedo. Con temperaturas que oscilan entre los 20 y 28 grados centígrados y, cuyas precipitaciones medias varían entre los 2,000 y 4,000 milímetros anuales. [1]

En el mapa que se muestra a continuación se pueden observar los distintos tipos de clima que existen en el cantón, y la predominancia del tropical mega térmico húmedo en las parroquias de Macas, Proaño y San Isidro, zona en la cual se enfoca el presente trabajo.

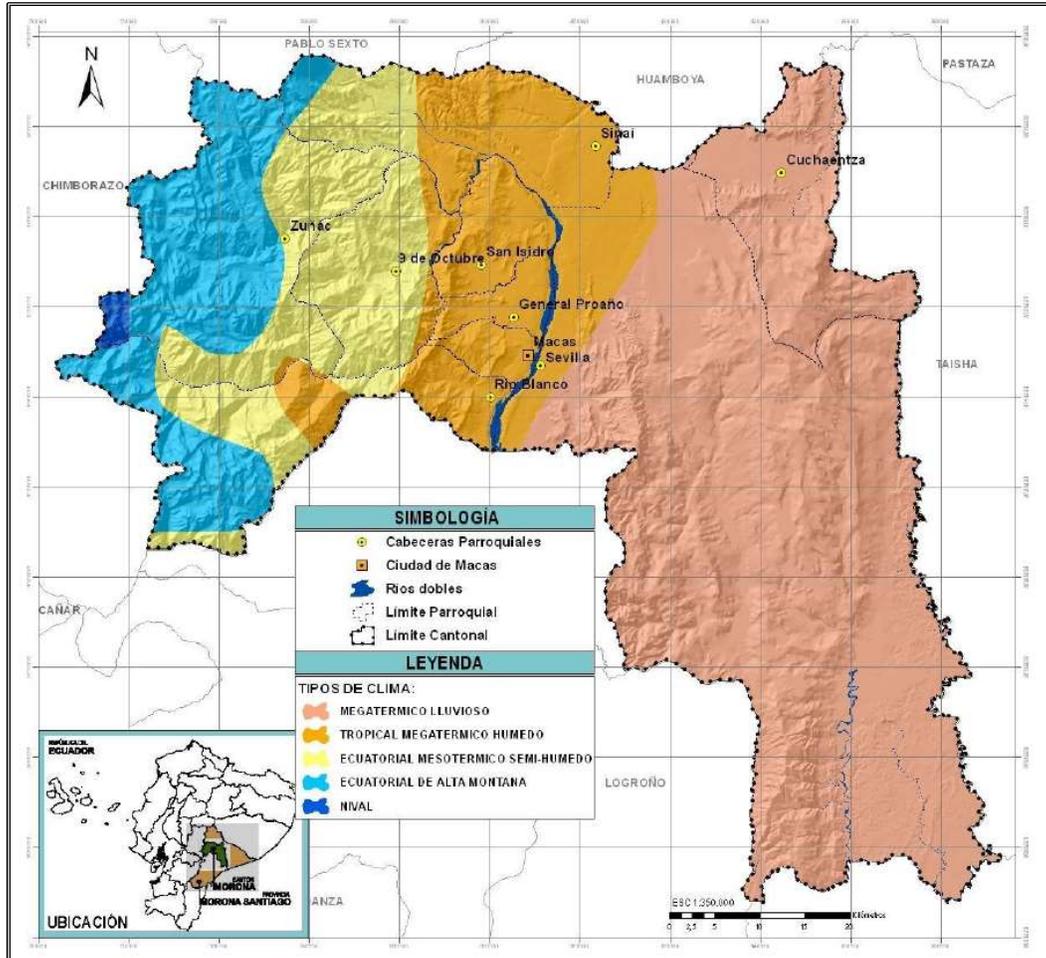


Figura 3. Pisos climáticos del cantón Morona. [1]

De estas características climatológicas se derivan otras como la humedad relativa, la cual se encuentra alrededor del 87%. Esta es mayor entre los meses lluviosos de abril y agosto de acuerdo a fuentes del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). De igual forma, según cifras oficiales de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE), los vientos hasta 500 metros de altura tienen una velocidad media de 3.72 m/s en todo el cantón. Valores registrados en la estación meteorológica del aeropuerto de la ciudad de Macas. [6]

2.3 TOPOGRAFÍA

Ecuador presenta tres unidades de relieve bien definidas: una llanura costera hacia el Océano Pacífico, la región central del país atravesada por la Cordillera de los Andes y

una vasta llanura amazónica en el oriente ecuatoriano. Estas tres denominadas regiones, dan una particular topografía a dichas zonas.

La región amazónica comienza en las colinas que se encuentran en la parte oriental de la Cordillera de los Andes que descienden paulatinamente hasta extenderse por un extenso territorio que forma parte de la cuenca del Amazonas, de ahí su nombre.

El cantón Morona, y por ende la ciudad de Macas se encuentra dentro de esta región y las características de su relieve corresponden en términos globales a las de una gran llanura junto a las ramificaciones bajas de los Andes. De acuerdo al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Morona (PDYOT), en el cantón se han identificado alturas que van desde los 150 msnm hasta los 5,250 msnm. [1]

El sistema de agua de Macas se encuentra en la elevación predominante de pie de monte la cual oscila entre los 600 msnm y los 1,300 msnm. En la figura 4 se puede observar las distintas unidades de relieve del cantón.

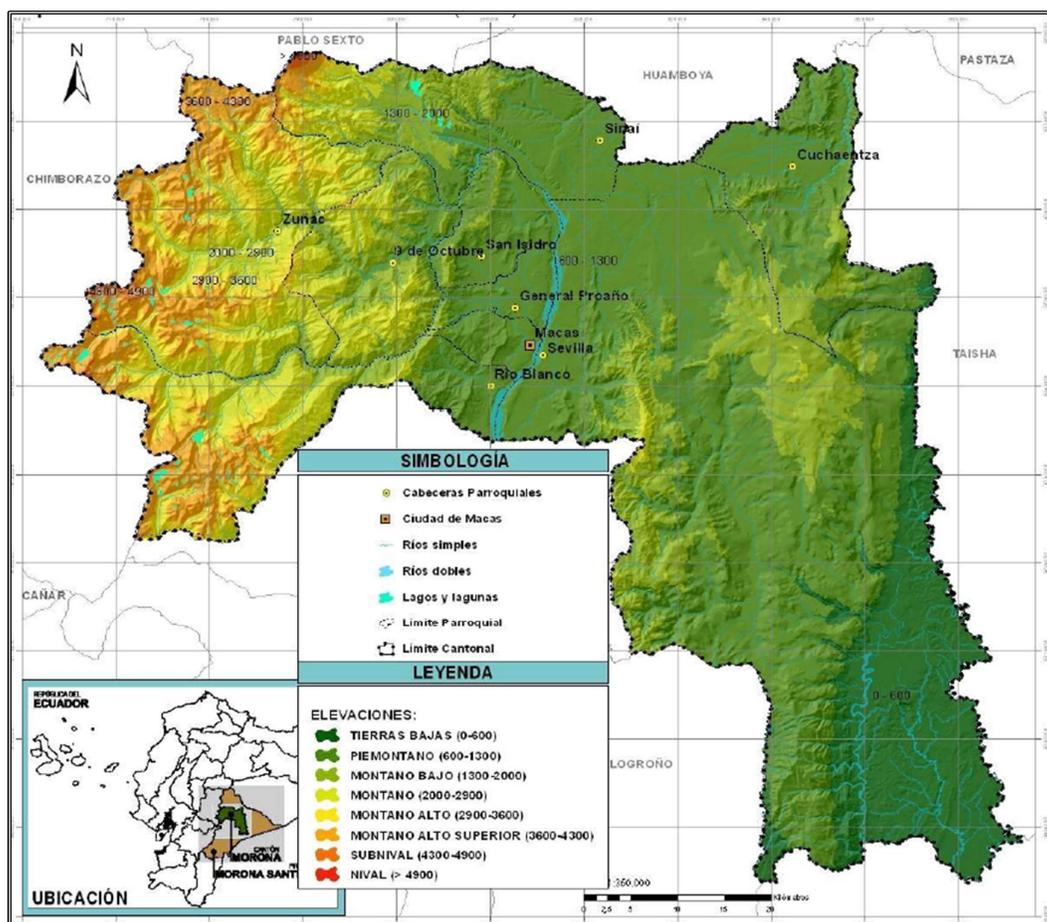


Figura 4. Topografía del cantón Morona. [1]

A continuación, en la figura 5 se presenta una simulación de la topografía de la zona de estudio desarrollada con ArcMap. Puede observarse que las plantas de tratamiento de agua potable se encuentran en las zonas de mayor altitud aprovechando el relieve de la

zona. De esta forma se aprovecha la topografía para conducir y distribuir el agua por gravedad.

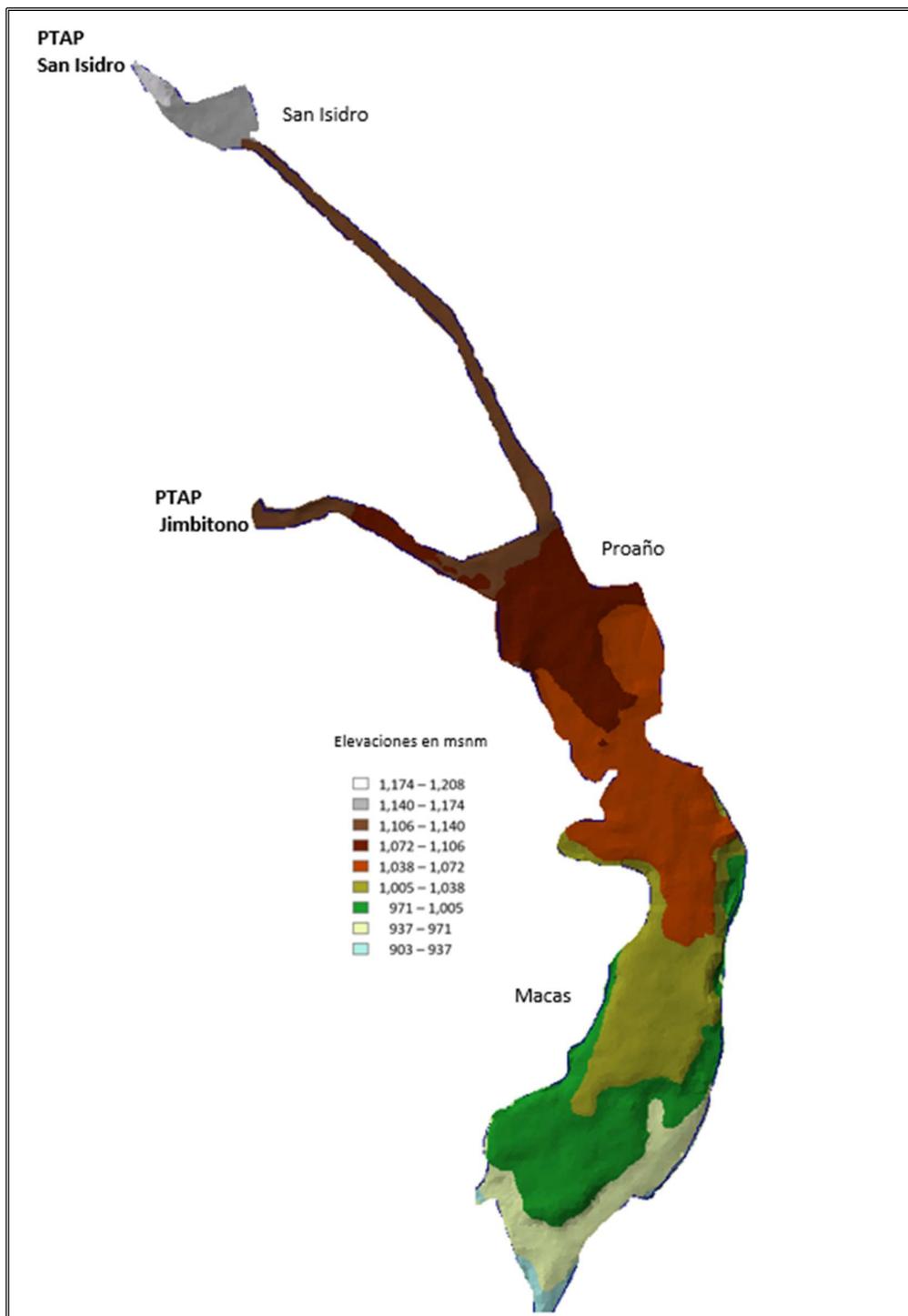


Figura 5. Topografía de la zona de estudio. ArcMap.

De igual forma, en la figura 6 se muestra una imagen generada con Google Earth con la cual se pretende ilustrar la ubicación y el relieve alrededor del sistema.



Figura 6. Emplazamiento del sistema. Vista periférica.

2.4 DEMOGRAFÍA

La región amazónica a pesar de representar el 43% del territorio nacional es la menos poblada. No obstante, la región se encuentra en constante crecimiento especialmente debido a la apertura de nuevas vías de acceso a zonas que antes se encontraban poco comunicadas. [7]

De acuerdo a cifras oficiales del censo poblacional realizado por el INEC en el año 2010, en total las parroquias de Macas, Proaño y San Isidro poseían una población de **22,551** habitantes. Con las respectivas tasas de crecimiento poblacional y, mediante el método de crecimiento geométrico, se estima que para el año 2020 la población de dichos lugares ascienda a **33,757** habitantes. De esta población, aproximadamente el 80% se encuentra asentada en la ciudad de Macas y el resto forma parte de su conurbación. [4]

En la tabla 1 se puede observar un resumen del crecimiento poblacional de cada una de las parroquias que conforman el sistema de agua potable de Macas.

Tabla 1. Crecimiento demográfico de las poblaciones que comprenden el sistema.

	Población 2010	Tasa de crecimiento	Población 2020
Macas	19,176	3.45%	26,927
Proaño	2,590	8.78%	6,010
San Isidro	785	0.43%	820
TOTAL			33,757

En la figura 7 se representa el proceso de crecimiento de las poblaciones de acuerdo a datos oficiales del INEC. Se puede observar el evidente crecimiento que ha existido desde 1990 hasta la fecha.

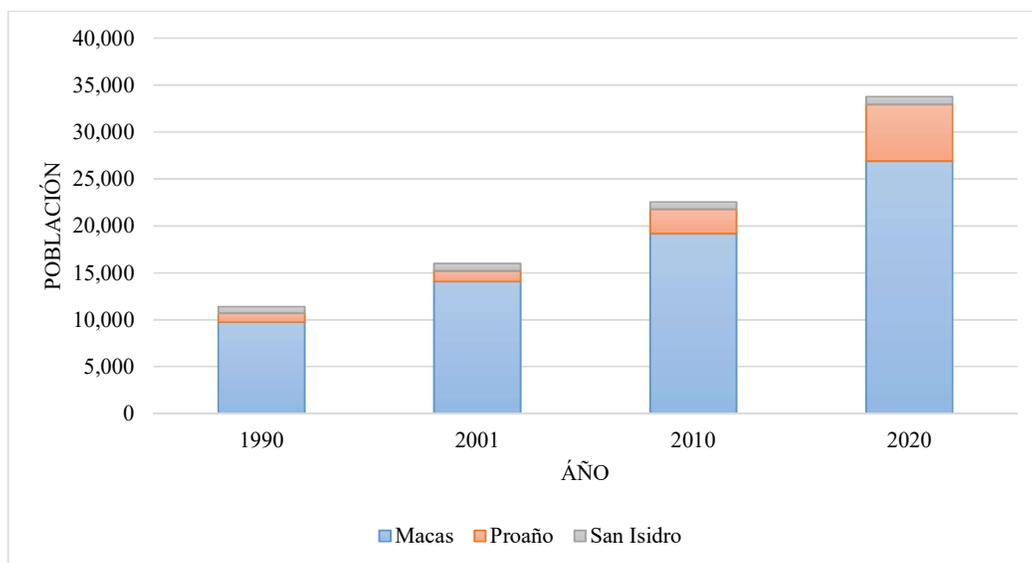


Figura 7. Crecimiento poblacional de Macas y su conurbación.

En cuanto a las actividades productivas en general, de acuerdo al PDYOT del cantón Morona se puede destacar la agricultura, silvicultura y pesca como la actividad predominante. Seguidas a éstas se encuentran el comercio, la administración pública y docencia como actividades principales. Al ser un cantón pequeño, no se existen grandes industrias las cuales requieran un tratamiento especial en cuanto al suministro de agua potable. En la figura 8 se muestra de forma detallada las actividades económicas de la población. [1]

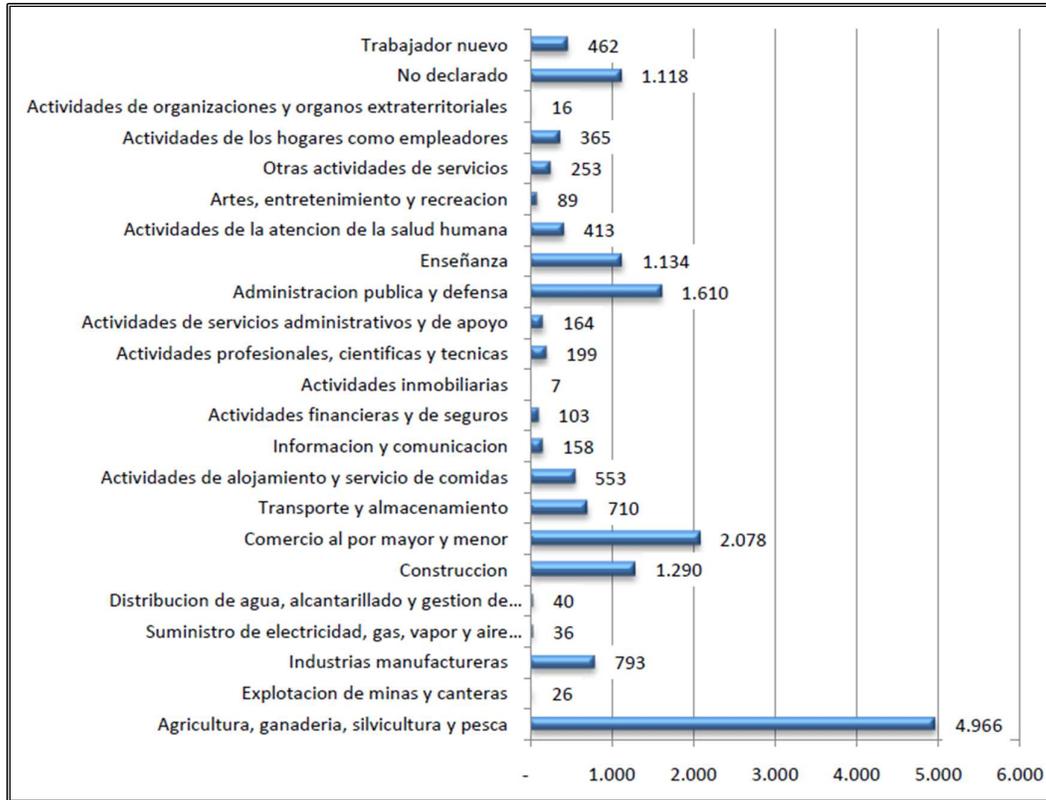


Figura 8. Actividades económicas de la población del cantón Morona. [1]



CAPÍTULO 3

ELEMENTOS DEL SISTEMA

3 ELEMENTOS DEL SISTEMA

Con el objetivo de ilustrar de una mejor manera, se presenta en la figura 9 los distintos elementos que comprenden el sistema de abastecimiento de la ciudad de Macas. Cada uno de ellos se detallan en los apartados siguientes del presente capítulo.

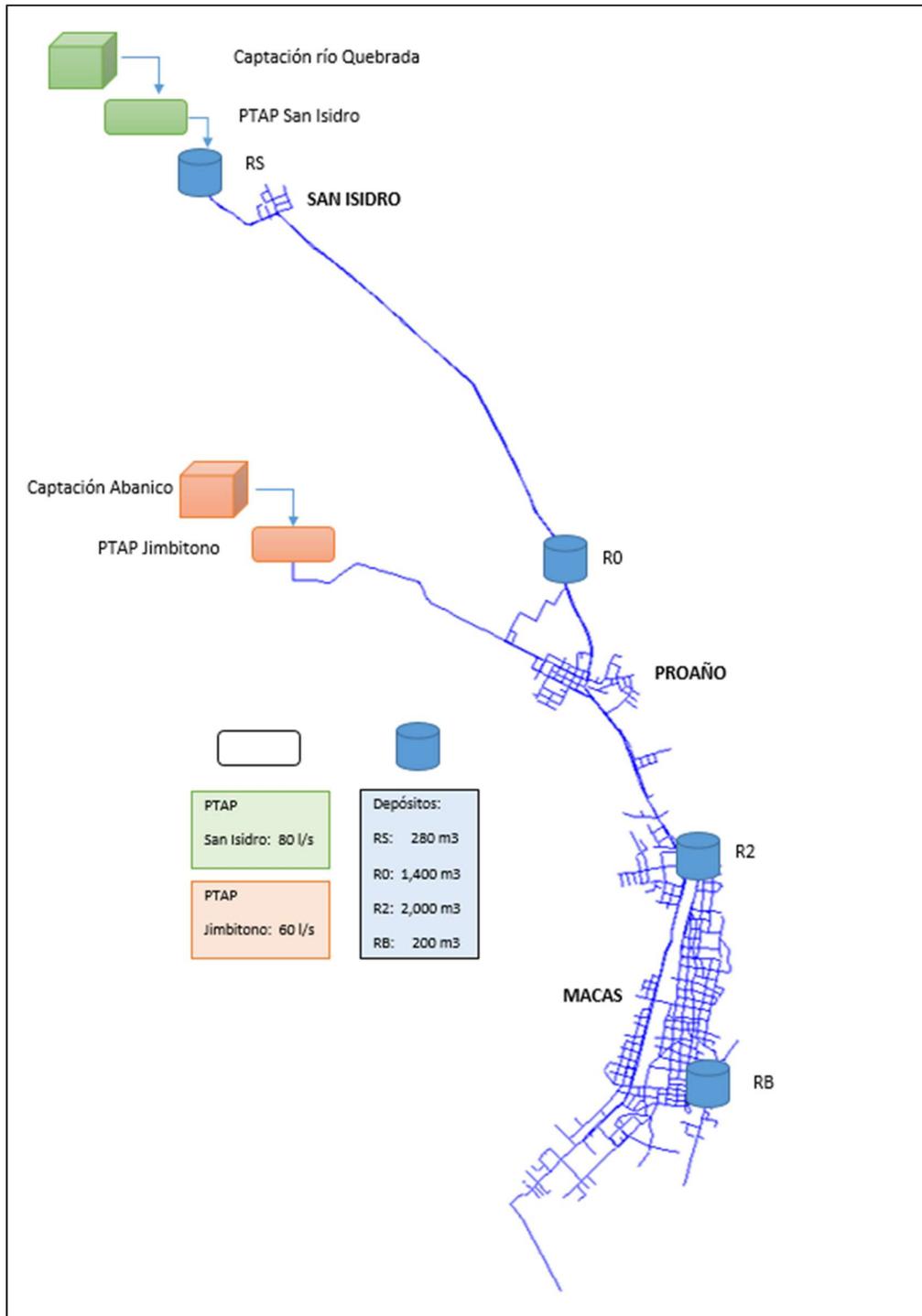


Figura 9. Esquema general del sistema de abastecimiento de Macas.

Siguiendo el esquema presentado y a modo de resumen se puede decir que, el sistema está compuesto por dos captaciones superficiales ubicadas en puntos diferentes de la red. Las plantas son de tratamiento convencional, es decir tienen procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. La red trabaja a gravedad distribuyendo el agua desde las plantas hasta los tanques de almacenamiento y en ciertos puntos supliendo la demanda que existe entre las plantas hasta los distintos depósitos. No se cuenta con sectorización definida dificultando la gestión del sistema sobre todo en caso de averías. Existen contadores en todos los puntos de distribución y caudalímetros en ciertos puntos importantes del sistema; no obstante, la recopilación de la información de dichos caudalímetros es deficiente o incluso nula.

3.1 CAPTACIÓN

El agua captada es de origen superficial. Las tomas corresponden a dos puntos diferentes debido a que las plantas existentes se encuentran en puntos distintos de la red. La captación principal y más antigua es la de la planta de San Isidro. Consecuentemente la más reciente y cuyo caudal es menor es la que abastece a la planta de Jimbitono.

3.1.1 Captación San Isidro

Esta planta es abastecida por el agua captada en el río Quebrada, mediante un azud y toma lateral desde donde se conduce el agua hasta la PTAP que se ubica a 300 metros de distancia. De acuerdo a los estudios de planes maestros de agua potable y alcantarillado de Macas, el río Quebrada posee un caudal anual medio de 177 l/s. [8] De este valor, 80 l/s son destinados para el tratamiento en la PTAP de San Isidro. La toma se encuentra emplazada en las siguientes coordenadas:

Tabla 2. Información geográfica captación San Isidro.

Sistema de coordenadas	UTM WGS84
Zona	17 M
Este	814247
Norte	9755647
Altitud (msnm)	1,206

En cuanto a su calidad, en base al mismo estudio, el agua posee características propias de una fuente superficial. En condiciones normales, el agua presenta una turbiedad de 1.06 NTU y color de 19 UC. Las muestras presentan valores despreciables de nitritos y nitratos. Otros parámetros como alcalinidad, dureza, metales pesados, etc., se encuentran dentro de los valores aceptables. En cuanto a sus características bacteriológicas se puede decir que los valores son los esperados y son fácilmente eliminados en la planta. Por otro lado, cabe destacar que estos parámetros se elevan considerablemente en periodos lluviosos propios de la región amazónica. Sin embargo, la PTAP está preparada para el tratamiento de dichas aguas.



Figura 10. Captación Río Quebrada.

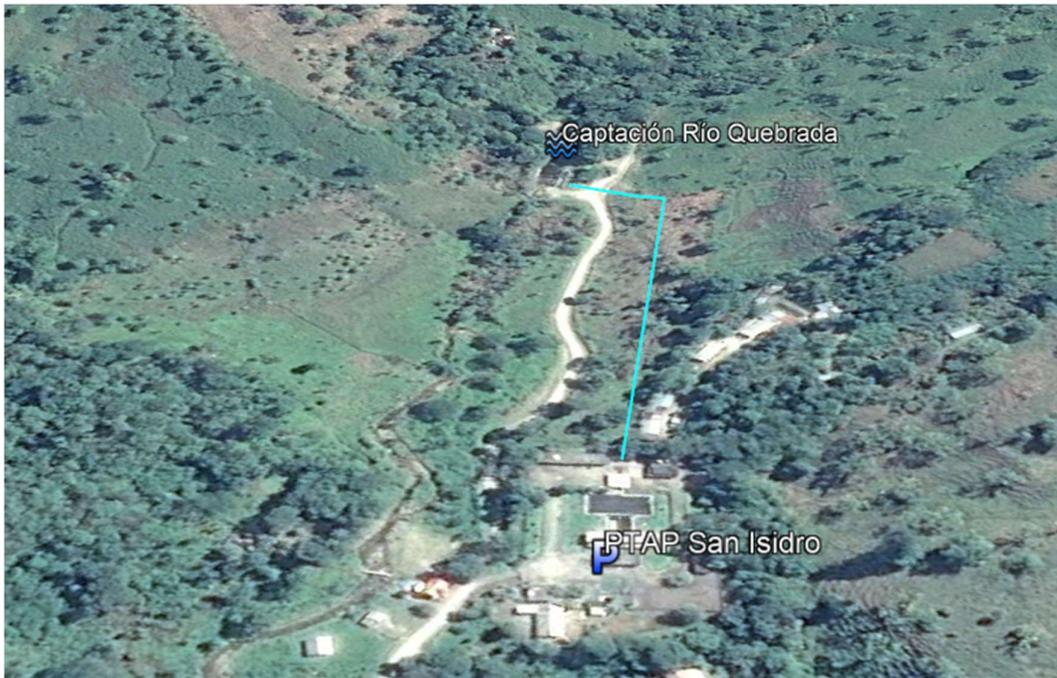


Figura 11. Esquema de conducción San Isidro.

3.1.2 Captación Jimbitono

El agua procede del río Abanico, el cual desciende directamente del páramo de la cordillera oriental de Andes, y cuyas aguas desembocan en el río Upano 25 kilómetros al norte de la ciudad de Macas. El problema para captar y conducir el agua hasta la planta de Jimbitono es sortear una de las montañas que separa el río con la planta.

Sin embargo, existe en la zona una central hidroeléctrica (HIDROABANICO) de iniciativa privada la cual tiene obras de captación en la zona alta del río y conduce el agua a través de un túnel hasta la casa de máquinas ubicada en Jimbitono. Aprovechando esta condición, la municipalidad procede desde la salida de las turbinas a captar el agua para la PTAP. Es decir, el agua que abastece a la planta de Jimbitono es agua turbinada proveniente del río Abanico, captada a la salida de la casa de máquinas de la hidroeléctrica. La distancia entre la salida de hidroeléctrica hasta la planta es menos de 2 kilómetros.



Figura 12. Captación casa de máquinas HIDROABANICO.

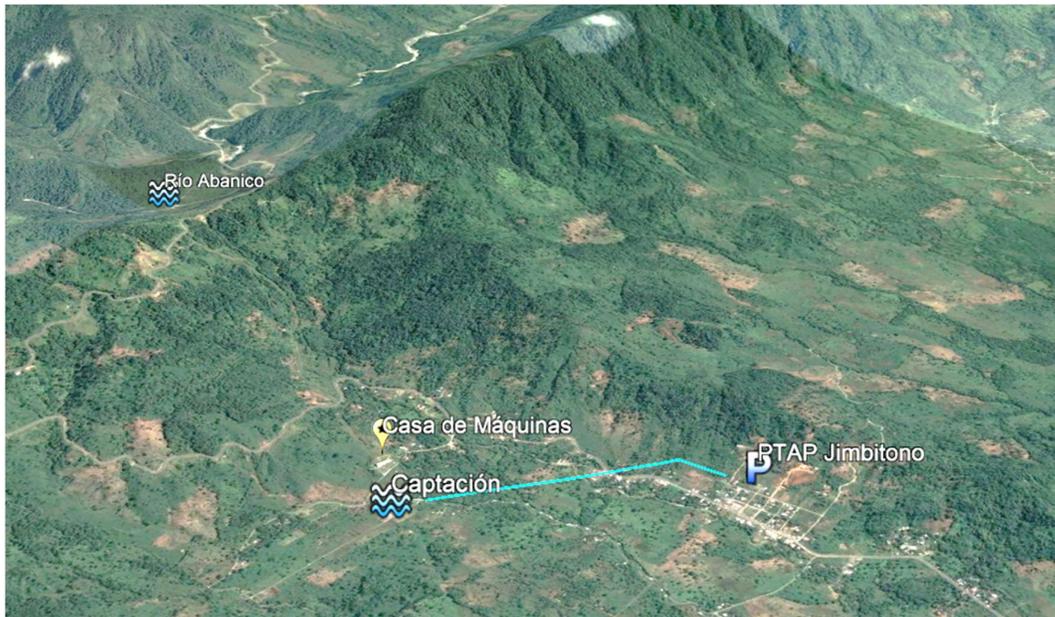


Figura 13. Esquema de conducción Jimbitono.

En cuanto al caudal, se puede decir que el captado es suficiente para suplir la capacidad de la planta de 60 l/s. No obstante, existen problemas al momento de paralización de la hidroeléctrica ya sea por mantenimiento o cualquier otra eventualidad. La municipalidad y su DGAPA dependen directamente del continuo funcionamiento de HIDROABANICO. Esta situación ha causado problemas, ya que las suspensiones para mantenimientos se van haciendo más comunes a medida que avanzan los años.

La calidad del agua presenta óptimas condiciones como agua para consumo humano una vez tratada. Como referencia de acuerdo a los muestreos realizados por la DGAPA entre los años 1999 y 2002, se tiene que el agua presenta valores como turbiedad y color con valores en torno a 20 NTU y 23 UC, como promedio en campañas de muestreo que abarcan las épocas invernales. [8]

La captación se encuentra emplazada en las siguientes coordenadas:

Tabla 3. Información geográfica captación Jimbitono.

Sistema de coordenadas	UTM WGS84
Zona	17 M
Este	814365
Norte	9749548
Altitud (msnm)	1,156

3.2 PLANTAS DE TRATAMIENTO

Inicialmente, el sistema era suplido únicamente por la planta de San Isidro, construida de acuerdo al DGAPA del cantón Morona en 1987. Posteriormente, en el año 2000 se decide realizar los estudios de Planes Maestros de Agua Potable y Alcantarillado del sistema de Macas. En dichos planes, se propone la construcción de una PTAP en Jimbitono. De acuerdo a estos planes, se han ido cambiando las redes de agua y en el año 2005 se inicia la construcción de una planta provisional en Jimbitono la cual entra en funcionamiento un año más tarde.

3.2.1 PTAP San Isidro

La planta de tratamiento se encuentra ubicada en la parroquia del mismo nombre. Tiene una capacidad de tratamiento máxima de 80 l/s. Tiene una configuración de tipo convencional, trabaja enteramente a gravedad y está compuesta por los siguientes procesos unitarios:

- Tanque de homogeneización y disipador de energía
- Canal Parshall para la mezcla rápida
- Floculadores de flujo horizontal
- Sedimentadores de alta tasa (2 unidades)
- Filtración rápida de lecho mixto. Arena y antracita (6 unidades)
- Desinfección con cloro gas
- Tanque de ecuilización y almacenamiento.

En las imágenes presentadas a continuación se ilustra parte de los componentes que conforman la PTAP.



Figura 14. Vertedero de llegada PTAP San Isidro.



Figura 15. Vista panorámica de PTAP San Isidro.

3.2.2 PTAP Jimbitono

La planta se encuentra en el barrio de Jimbitono, perteneciente a la parroquia Proaño, al norte de la ciudad de Macas. El caudal que procesa es de 60 l/s. Es denominada como PTAP provisional, ya que no ha sido construida de acuerdo a los planes maestros de la ciudad de Macas, sino es una donación de la empresa HIDROABANICO como parte de su programa de compensación y mitigación ambiental.

La planta consta de los siguientes procesos:

- Tanque de homogeneización y mezcla rápida
- Tanque de floculación con aspás giratorias
- Tanque de sedimentación
- Filtros presurizados mixtos, arena antracita (3 unidades)
- Filtro a rápido de gravedad. Mixto, arena antracita (1 unidad)
- Desinfección mediante cloro gas.

El agua tratada en esta PTAP es conducida directamente hasta los tanques de reserva en los barrios norte de la ciudad de Macas. En las siguientes imágenes se presenta una visualización general de la planta.



Figura 16. Vista panorámica de PTAP Jimbitono.



Figura 17. Filtro a gravedad y presurizado PTAP Jimbitono.

3.3 DEPÓSITOS

El sistema cuenta actualmente con cuatro depósitos distribuidos en distintos puntos del sistema. Dando en total una reserva equivalente a 3,880 metros cúbicos. En la tabla 4 que se muestra a continuación se detalla la capacidad de cada depósito y su ubicación.

Tabla 4. Ubicación geográfica de depósitos del sistema.

Depósito	Capacidad (m ³)	Ubicación	Coordenadas (UTM WGS84)	Cota (msnm)
RS	280	San Isidro	17 M 814365E; 9749548S	1,186
R0	1,400	Proaño	17M 818963E; 9750406S	1,122
R2	2,000	Barrio Sangay	17M 820470E; 9746804S	1,063
RB	200	Barrio Amazonas	17M 820555E; 9743955S	1,011
Total	3,880			

Los depósitos se encuentran en servicio, están contruidos en hormigón armado y cuentan con un sistema de válvulas manuales y automáticas para su control. Su ubicación obedece de acuerdo a los distintos estudios a puntos importantes para distribuir las presiones de una manera homogénea en la red.

El depósito R0 tienen la función de dotar de agua a los barrios de Proaño y el norte de la ciudad de Macas. Por otro lado, el depósito R2, el cual forma parte de los planes maestros del año 2005, está concebido para dotar agua a la zona céntrica de la ciudad. El tanque denominado Barranca, es un tanque del antiguo sistema, que sigue en funcionamiento y suple la necesidad al barrio del mismo nombre, en las zonas bajas de la ciudad.

Cabe destacar, que actualmente hace falta la construcción de los tanques de almacenamiento R1, R3, R4 y R5, concebidos en los planes maestros de agua, razón por la cual el DGAPA tiene que gestionar su sistema careciendo de los mismos.

Figura 18. Depósito R2. 2,000 m³.

3.4 RED DE DISTRIBUCIÓN

La red de distribución del sistema está conformada por tuberías en su mayoría PVC y en menor medida asbesto cemento. Los diámetros oscilan entre 32 mm y 355 mm con predominancia de tuberías de 63 mm. Para el año 2010 la red servía de agua potable al 94.46% de la población.

El sistema está conformado por dos tipos de redes. Las denominadas antiguas, que fueron construidas con la primera PTAP en el año de 1987 y, aquéllas que han sido reemplazadas paulatinamente a partir del 2005 de acuerdo a los planes maestros. La gestión del sistema es realizada por la Dirección de Gestión de Agua Potable y Alcantarillado (DGAPA) del cantón Morona. Cuenta de acuerdo a registro de usuarios hasta finales del 2017 con un total de 7,011 abonados y cubre las parroquias urbanas de Macas, Proaño y San Isidro.

3.4.1 Configuración de la Red

La red es mallada en su mayoría, existiendo pocos tramos ramificados. No existe sectorización definida. El agua tratada en la PTAP San Isidro suministra a las parroquias de San Isidro, Proaño, y los barrios del norte de la ciudad de Macas. Se conecta con estos últimos a la entrada a la ciudad y se malla con la red alimentada por los tanques R2.

Por otro lado, desde la PTAP Jimbitono se suministra agua directamente mediante tubería de 350 mm hasta los depósitos R2 ubicados en un punto alto de la ciudad de Macas. Desde ahí distribuye el agua hasta el centro y sur de ciudad.

3.4.2 Tuberías

La red está conformada por una longitud total de 119.06 kilómetros de tubería. La tabla 5 muestra en resumen las longitudes, diámetros y sus respectivas proporciones respecto al total de las tuberías instaladas.

Tabla 5. Diámetros y longitudes de tuberías.

Diámetro (mm)	Longitud (m)	%
32	3,175.06	2.67
40	1,085.07	0.91
50	3,676.07	3.09
63	50,136.32	42.11
90	7,171.87	6.02
110	10,731.73	9.01
160	13,444.63	11.29
200	2,484.55	2.09
250	13,372.84	11.23
315	1,611.77	1.35
350	3,468.19	2.91
355	8,700.76	7.31
Total	119,058.87	100.00

Al agruparlas, se puede observar que el rango que oscila entre 63 mm y 110 mm es el que mayor representatividad tiene. La tabla 6 muestra las tuberías agrupadas en distintivos rangos.

Tabla 6. Longitudes de tuberías agrupadas por diámetro.

Diámetro (mm)	Longitud (m)	%
32 - 50	7,936.21	6.67
63 - 110	68,039.91	57.15
160 -250	29,302.02	24.61
315 - 355	13,780.73	11.57
Total	119,058.87	100.00

En cuanto a los materiales instalados el predominante es el PVC. Sin embargo, existen todavía en la ciudad, y especialmente en los barrios periféricos tuberías de asbesto cemento que fueron instaladas en 1987 y que aún no han sido reemplazadas. En la siguiente tabla se presenta el porcentaje de cada uno de los materiales instalados. Cabe mencionar que, las tuberías de asbesto cemento son en su mayoría conducciones desde la planta de San Isidro hasta el depósito R0.

Tabla 7. Materiales y longitudes de tuberías.

Material	Longitud (m)	%
PVC	103,500.06	86.93
Asbesto cemento	15,558.81	13.07
Total	119,058.87	100.00

3.4.3 Válvulas

Desafortunadamente, no existe un catastro de válvulas. No obstante, de acuerdo a la información proporcionada por el DGAPA existen dentro del sistema válvulas de compuerta en tuberías principales (mayor diámetro) dispuestas de tal forma que permitan realizar operaciones de mantenimiento de la red. Sin embargo, en caso de una avería localizada muchas veces es necesario cerrar las válvulas a la salida de los tanques de reserva para poder realizar dichas reparaciones.

De igual manera, es conocido que existen válvulas de compuerta al ingreso y salida de los depósitos, los cuales les permiten realizar labores de mantenimiento y limpieza. No existe dentro de la red ninguna válvula de características especiales como: reductora, sostenedora de presión, motorizadas, etc.

La siguiente imagen muestra la salida del depósito R2.



Figura 19. Válvulas a la llegada del depósito R2.

3.4.4 Acometidas

De acuerdo al catastro 2017 existen en total 7,011 abonados en el sistema de agua de la ciudad de Macas. Dicho catastro clasifica a los usuarios en seis categorías:

- Doméstico
- Comercial
- Industrial
- Municipal
- Institucional
- Especial.

Los registros de los consumos se los realiza mediante contadores de chorro único o múltiple. Los diámetros de las acometidas son en su mayoría de 1/2" y están conectadas a la red mediante collarines. Los contadores se encuentran en los exteriores de las edificaciones para facilitar su lectura.



CAPÍTULO 4

BALANCE HÍDRICO

4 BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico de la red es un aspecto importante a ser considerado dentro de todo sistema de abastecimiento. A través de este se puede conocer la eficiencia del sistema, identificar debilidades y en general realizar una mejor gestión del uso del recurso hídrico. En redes de agua potable el establecer un balance permite estimar de forma técnica el porcentaje real de fugas en la red y, de esa manera tomar las acciones pertinentes para reducir las mismas a valores aceptables.

Además, de acuerdo al informe “Agua y Ciudades” publicado por las Organización de las Naciones Unidas en 2010, en América Latina existe un porcentaje elevado de fugas en las redes de abastecimientos urbanos. Según este informe alrededor del 50% del agua inyectada al sistema se fuga, generando pérdidas económicas. [9] Razón por la cual, en el presente capítulo se pretende ilustrar a grandes rasgos este tema; sin embargo, la inexistencia o carencia datos continuos y completos son una gran limitante.

4.1 VOLUMEN INYECTADO

El DGAPA del cantón Morona a mediados de 2016 procedió a la implementación de caudalímetros en ciertos puntos de la red. Estos sitios entre otros corresponden a la salida de las plantas de tratamiento con la finalidad de conocer el volumen inyectado a la red. El presente TFM hace referencia los datos del año 2017 que han sido proporcionados por la entidad y a criterio de la misma corresponden a los más fiables y completos de los últimos tres años.

Los volúmenes se discretizan de forma mensual y para cada una de las PTAPs de San Isidro y Jimbitono. La tabla 8 muestra cada uno de dichos valores.

Tabla 8. Volúmenes inyectados por planta año 2017.

Mes	PTAP San Isidro (m ³)	PTAP Jimbitono (m ³)	Total (m ³)
Enero	231,770	170,960	402,730
Febrero	212,690	146,780	359,470
Marzo	194,950	132,650	327,600
Abril	218,540	155,290	373,830
Mayo	211,760	142,830	354,590
Junio	216,120	83,080	299,200
Julio	211,730	122,220	333,950
Agosto	218,630	128,590	347,220
Septiembre	220,820	132,730	353,550
Octubre	212,160	145,580	357,740
Noviembre	225,500	140,760	366,260
Diciembre	217,580	125,110	342,690
Total			4,218,830

4.2 VOLUMEN CATASTRADO

Refiérase al volumen catastrado al que refleja el catastro mensual del DGAPA. Este catastro es aquél que se emite entre otros para su cobro y en él refleja los volúmenes totales que se han registrado en los contadores domésticos, comerciales, municipales, estimaciones, etc. En la tabla 9, se presenta en resumen el valor de dichos datos.

Tabla 9. Volumen catastrado año 2017.

Mes	Total (m ³)
Enero	178,222
Febrero	198,725
Marzo	160,081
Abril	170,228
Mayo	190,675
Junio	165,314
Julio	170,438
Agosto	204,164
Septiembre	178,226
Octubre	199,646
Noviembre	170,397
Diciembre	178,922
Total	2,165,038

Cabe recalcar que existen ciertas acometidas que no poseen contador. Algunas escuelas, colegios, entidades públicas y privadas cuentan todavía con conexiones directas. Esta peculiaridad hace que se deba procesar la información del volumen catastrado de tal forma que se pueda obtener el volumen registrado real.

4.3 VOLUMEN REGISTRADO

El volumen registrado puede ser obtenido del volumen catastrado filtrando y separando sus respectivos componentes. Es decir, del catastrado debe restarse los valores estimados por el DGAPA debido a medidores dañados o instalaciones sin medidores. En dicho análisis se cumple que:

$$V_{catastrado} = V_{registrado} + V_{estimado} \quad (1)$$

por lo que,

$$V_{registrado} = V_{catastrado} - V_{estimado} \quad (2)$$

Obteniéndose así valores mensuales los cuales se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Volumen registrado año 2017.

Mes	V catastrado (m ³)	V estimado (m ³)	V registrado (m ³)
Enero	178,222	5,130	173,092
Febrero	198,725	5,263	193,462
Marzo	160,081	5,120	154,961
Abril	170,228	5,160	165,068
Mayo	190,675	5,650	185,025
Junio	165,314	5,320	159,994
Julio	170,438	5,202	165,236
Agosto	204,164	5,918	198,246
Septiembre	178,226	5,430	172,796
Octubre	199,646	5,635	194,011
Noviembre	170,397	7,679	162,718
Diciembre	178,922	7,150	171,772
Total			2,096,381

4.4 BALANCE HÍDRICO TÉCNICO

A partir de los datos obtenidos anteriormente, y procesando la información catastrada es posible llegar a un balance hídrico técnico. Los componentes de tipo arbóreo de dicho balance se representan en la siguiente figura:

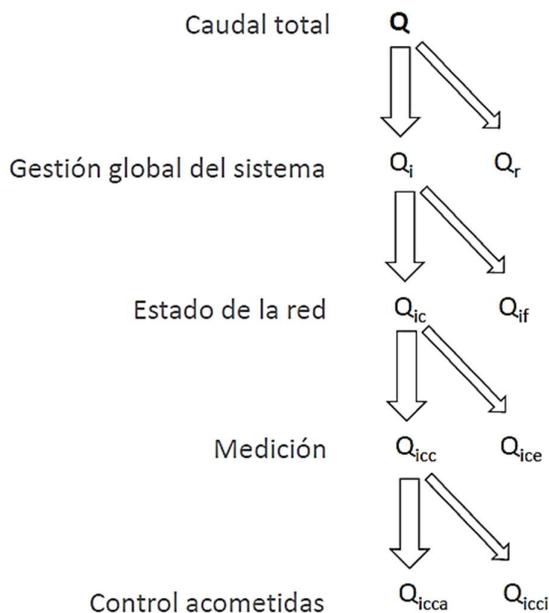


Figura 20. Componentes del balance hídrico técnico. [10]

Donde cada uno de sus componentes ha sido determinado, ya sea por un cálculo directo o una estimación sustentada. A continuación, se detalla de cada uno de ellos.

4.4.1 Caudal inyectado, registrado e incontrolado (Q, Q_r, Q_i)

El caudal inyectado (Q) es aquel que ingresa al sistema a través de las plantas de tratamiento, es el que se registra en los caudalímetros a la salida de cada una de las PTAP. Este caudal ha sido expresado en la tabla 8 del apartado 4.1. De igual forma el caudal registrado (Q_r) es el descrito en el punto 4.2 y corresponde al realmente medido por los contadores.

Por la diferencia entre uno y otro se puede obtener directamente el caudal incontrolado (Q_i) donde,

$$Q_i = Q - Q_r \quad (3)$$

Se presenta a continuación una tabla con los valores de dichos caudales.

Tabla 11. Caudal inyectado, registrado e incontrolado año 2017.

Mes	Q (m ³)	Q _r (m ³)	Q _i (m ³)
Enero	402,730	173,092	229,638
Febrero	359,470	193,462	166,008
Marzo	327,600	154,961	172,639
Abril	373,830	165,068	208,762
Mayo	354,590	185,025	169,565
Junio	299,200	159,994	139,206
Julio	333,950	165,236	168,714
Agosto	347,220	198,246	148,974
Septiembre	353,550	172,796	180,754
Octubre	357,740	194,011	163,729
Noviembre	366,260	162,718	203,542
Diciembre	342,690	171,772	170,918
Total			2,122,449

4.4.2 Caudal incontrolado consumido y no medido por carencia de contador de una acometida autorizada (Q_{icca})

Este valor ha sido calculado por la suma de los caudales correspondientes a acometidas privadas que a pesar de no tener medidor o tener un medidor dañado se encuentran autorizadas y cuyo valor de consumo ha sido estimado por la DGAPA. Debido a que este caudal no es medido, la DGAPA estima el mismo en función de la actividad que se realice con dicha agua. Estos valores oscilan entre los 30 y 50 m³/mes por acometida.

De igual forma, dentro del registro catastrado del DGAPA, se identifican acometidas municipales que no poseen medidor, pero se encuentran autorizadas y activas, es decir,

en la realidad consumen agua. Esa agua consumida se ha calculado en función del número de acometidas, con un valor promedio de 30 m³/mes para cada una.

La suma de toda esta agua da como resultado el Qicca el cual se presenta a continuación una tabla con dichos cálculos.

Tabla 12. Determinación del caudal Qicca año 2017.

Mes	Qicca Privado (m ³)	Acometidas municipales sin contador	Consumo promedio mensual (m ³)	Qicca Municipal (m ³)	Qicca (m ³)
Enero	5,130	14	30	420	5,550
Febrero	5,263	12	30	360	5,623
Marzo	5,120	12	30	360	5,480
Abril	5,160	12	30	360	5,520
Mayo	5,650	12	30	360	6,010
Junio	5,320	12	30	360	5,680
Julio	5,202	12	30	360	5,562
Agosto	5,918	13	30	390	6,308
Septiembre	5,430	13	30	390	5,820
Octubre	5,635	13	30	390	6,025
Noviembre	7,679	14	30	420	8,099
Diciembre	7,150	14	30	420	7,570
Total					73,247

4.4.3 Caudal incontrolado consumido y no medido por carencia de contador de una acometida ilegal (Qicci)

Para la obtención de este caudal, se ha revisado diferente bibliografía técnica. La determinación del mismo se torna compleja por la dificultad de establecer ubicación, número, volumen no autorizado consumido etc., incluso para sistemas de agua donde las condiciones de gestión son buenas. Con más razón determinarlo en abastecimientos que se encuentran en países en vías de desarrollo se torna difícil.

Diversos estudios estiman el caudal perdido debido a conexiones no autorizadas o fraudulentas en función del volumen inyectado, registrado o facturado. La *Guía para la reducción de pérdidas de agua*, publicada por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento del Perú SUNASS [11], estima en torno al 5% del caudal inyectado el volumen perdido por conexiones ilegales. De forma similar, en la publicación *Recommendations for Initial Non-Revenue Water Assessment* [12], se aborda la problemática de las pérdidas de agua, en función de la región en la que se encuentre el sistema. Para abastecimientos ubicados en países en vías de desarrollo Limberger presenta una metodología para establecer el porcentaje de pérdidas de agua. Referente a pérdidas debido a acometidas ilegales para sistemas en países en vías de desarrollo propone la siguiente clasificación:

Tabla 13. Tabla de pérdidas comerciales para sistemas en países en vías de desarrollo.

Category	Commercial Losses			Litres per connection per day
	% of billed consumption			
	Provision for meter under-registration and data handling errors	Additional provision for water theft	Total	
A1	< 2.5%	< 0.5%	< 3%	< 30
A2	2.5% - 5%	0.5% - 1%	3% - 6%	30 - 60
B	5% - 10%	1% - 2%	6% - 12%	60 - 120
C	10% - 15%	2% - 5%	12% - 20%	120 - 200
D	> 15%	> 5%	> 20%	> 200

Esta propuesta, para pérdidas comerciales, propone ciertos valores de pérdidas por robos de agua expresada en porcentaje del agua facturada. Las categorías a las que se refiere la tabla hacen alusión al estado del sistema en función de su índice IFE.

Para el presente TFM, se ha partido de la hipótesis de que el sistema de abastecimiento de Macas se encuentra dentro de la categoría C, con un deficiente o nulo registro de fugas, tolerable solo si el agua existe en cantidades abundantes y de bajo costo. El porcentaje para acometidas ilegales asumido para el balance es del 5% del agua consumida facturada.

De acuerdo al catastro de la DGAPA, el volumen consumido facturado corresponde al registrado, consumido por los usuarios privados, medido y no medido, a quienes se les factura. Cumple las siguientes ecuaciones:

$$Q_{AF} = Q_{AF-M} + Q_{AF-NM} \quad (4)$$

donde,

Q_{AF} : Caudal autorizado facturado
 Q_{AF-M} : Caudal autorizado facturado medido
 Q_{AF-NM} : Caudal autorizado facturado no medido

Para el caso del sistema de agua de Macas, Q_{AF-NM} es igual al caudal Q_{icca} privado, el cual es estimado, autorizado y a la vez facturado. Este caudal se encuentra en la tabla 12 presentada con anterioridad.

Además, se cumple que,

$$Q_{AF-M} = Q_{CATASTRADO} - Q_{AF-NM} - Q_{ANF-M} \quad (5)$$

donde,

Q_{AF-M} : Caudal autorizado facturado medido
 $Q_{CATASTRADO}$: Caudal catastrado (Proviene de los datos del volumen catastrado 4.2)

Q_{AF-NM}: Caudal autorizado facturado no medidoQ_{ANF-M}: Caudal autorizado no facturado medido

Este último, Q_{ANF-M}, ha sido calculado filtrando la información del catastro original como la sumatoria de los volúmenes de agua de predios municipales, que a la vez están autorizados, se miden a través de un contador, pero al ser del propio municipio no se facturan. La siguiente tabla muestra los valores de dicho cálculo.

Tabla 14. Cálculo del caudal de agua facturada año 2017.

Mes	Q Catastrado (m ³)	Q _{AF} No medido (m ³)	Q _{ANF} Medido (m ³)	Q _{AF} Medido (m ³)
Enero	178,222	5,130	3,046	170,046
Febrero	198,725	5,263	9,579	183,883
Marzo	160,081	5,120	5,410	149,551
Abril	170,228	5,160	5,885	159,183
Mayo	190,675	5,650	6,657	178,368
Junio	165,314	5,320	5,945	154,049
Julio	170,438	5,202	7,887	157,349
Agosto	204,164	5,918	8,081	190,165
Septiembre	178,226	5,430	8,609	164,187
Octubre	199,646	5,635	8,327	185,684
Noviembre	170,397	7,679	7,733	154,985
Diciembre	178,922	7,150	9,531	162,241
Total				2,009,691

Finalmente, como se menciona al principio de este capítulo, se ha considerado como porcentaje de acometidas ilegales el 5% del caudal facturado. Por lo tanto, el Qicci se resume en la siguiente tabla:

Tabla 15. Cálculo de caudal por acometidas ilegales año 2017.

Mes	Q _{AF} (m ³)	Acometidas ilegales	Qicci (m ³)
Enero	175,176	5%	8,759
Febrero	189,146	5%	9,457
Marzo	154,671	5%	7,734
Abril	164,343	5%	8,217
Mayo	184,018	5%	9,201
Junio	159,369	5%	7,968
Julio	162,551	5%	8,128
Agosto	196,083	5%	9,804
Septiembre	169,617	5%	8,481
Octubre	191,319	5%	9,566

Noviembre	162,664	5%	8,133
Diciembre	169,391	5%	8,470
Total			103,918

4.4.4 Caudal incontrolado consumido y registrado por error de medida (Qice)

Para el presente trabajo, se ha considerado este error como el producido por el subcontaje en los contadores. Existen varios estudios que determinan que el error en por subcontaje es mayor a medida que el contador envejece.

En el año 2014, la Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable y Alcantarillado (ETAPA) de la ciudad de Cuenca, Ecuador, realiza una auditoría al sistema de agua potable de la ciudad de Sucúa. Esta última, se encuentra a escasos 20 kilómetros de la ciudad de Macas y cuya red de abastecimiento es muy similar a la red de Macas.

Estas similitudes en la red, específicamente el parque de contadores, hacen que se tome como base aquella auditoría, la cual establece para la ciudad de Sucúa, un error medio del parque de contadores del -7%.

Por tal motivo, en vista de que dicha información corresponde a un valioso aporte para el presente trabajo se tomará como subcontaje aquel valor. La tabla 16 presenta el valor del Qice para cada uno de los meses en función del caudal registrado.

Tabla 16. Cálculo de caudal producto de subcontaje de contadores año 2017.

Mes	V registrado (m ³)	Subcontaje	Qice (m ³)
Enero	173,092	7%	13,028
Febrero	193,462	7%	14,562
Marzo	154,961	7%	11,664
Abril	165,068	7%	12,424
Mayo	185,025	7%	13,927
Junio	159,994	7%	12,043
Julio	165,236	7%	12,437
Agosto	198,246	7%	14,922
Septiembre	172,796	7%	13,006
Octubre	194,011	7%	14,603
Noviembre	162,718	7%	12,248
Diciembre	171,772	7%	12,929
Total			157,793

4.4.5 Resumen y análisis del balance hídrico técnico

A partir de los datos calculados, se realiza mediante sumas y restas la obtención de los subsecuentes valores necesarios para completar el balance. Se muestra en la tabla siguiente en resumen todo el balance hídrico técnico estimado para el año 2017.

Tabla 17. Resumen cálculo de balance hídrico técnico 2017.

Mes	Q (m ³)	Q _r (m ³)	Q _{icca} (m ³)	Q _{icci} (m ³)	Q _{icc} (m ³)	Q _{ice} (m ³)	Q _{ic} (m ³)	Q _i (m ³)	Q _{if} (m ³)
Ene	402,730	173,092	5,550	8,759	14,309	13,028	27,337	229,638	202,301
Feb	359,470	193,462	5,623	9,457	15,080	14,562	29,642	166,008	136,366
Mar	327,600	154,961	5,480	7,734	13,214	11,664	24,878	172,639	147,761
Abr	373,830	165,068	5,520	8,217	13,737	12,424	26,161	208,762	182,601
May	354,590	185,025	6,010	9,201	15,211	13,927	29,138	169,565	140,427
Jun	299,200	159,994	5,680	7,968	13,648	12,043	25,691	139,206	113,515
Jul	333,950	165,236	5,562	8,128	13,690	12,437	26,127	168,714	142,587
Ago	347,220	198,246	6,308	9,804	16,112	14,922	31,034	148,974	117,940
Sept	353,550	172,796	5,820	8,481	14,301	13,006	27,307	180,754	153,447
Oct	357,740	194,011	6,025	9,566	15,591	14,603	30,194	163,729	133,535
Nov	366,260	162,718	8,099	8,133	16,232	12,248	28,480	203,542	175,062
Dic	342,690	171,772	7,570	8,470	16,040	12,929	28,969	170,918	141,949
Total	4,218,830	2,096,381	73,247	103,918	177,165	157,793	334,958	2,122,449	1,787,491

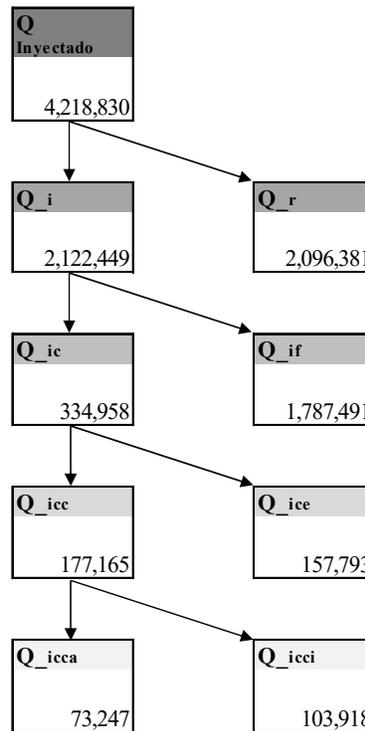


Figura 21. Balance hídrico técnico 2017.

En función de los datos proporcionados por el balance, se determina a continuación el rendimiento global del sistema.

$$\eta_s = \frac{Q_r}{Q} \quad (6)$$

$$\eta_s = 0.50$$

De acuerdo con la valoración propuesta en *Auditoria de redes de distribución de agua* (Cabrera y col., 1999) [13], la red del sistema de la ciudad de Macas se encuentra en el umbral más bajo del rango malo.

Tabla 18. Rango y calificación del sistema en función del balance hídrico técnico. [13]

Rango	Calificación
$\eta_s > 0.9$	Excelente
$0.8 < \eta_s < 0.9$	Muy bueno
$0.7 < \eta_s < 0.8$	Bueno
$0.6 < \eta_s < 0.7$	Regular
$0.5 < \eta_s < 0.6$	Malo
$0.5 < \eta_s$	Inaceptable

Esto supone información valiosa para el sistema y es un punto de partida para el DGAPA el cual puede a partir de auditorías seguir evaluando su gestión. En cuanto al volumen del agua incontrolada y fugada, se puede observar que el abastecimiento presenta valores elevados.

El volumen del agua incontrolada representa alrededor del 50% del caudal inyectado a la red. Asimismo, el volumen fugado representa aproximadamente el 43% del caudal inyectado. En las figuras 22 y 23 se puede ilustrar de mejor manera estos aspectos.

Tabla 19. Resumen general de caudales del sistema año 2017.

Tipo de caudal	(m ³)	(%)
Q inyectado	4,218,830	100.0%
Q registrado	2,096,381	49.7%
Q incontrolado	2,122,449	50.3%



Figura 22. Resumen general de caudales del sistema 2017

Si dentro del caudal incontrolado se analiza el volumen fugado, el mismo representa la mayor proporción de éste.

Tabla 20. Resumen específico de caudales en el sistema año 2017.

Tipo de caudal	(m ³)	(%)
Q inyectado	4,218,830	100.0%
Q registrado	2,096,381	49.7%
Q incontrolado consumido	334,958	7.9%
Q fugado	1,787,491	42.4%

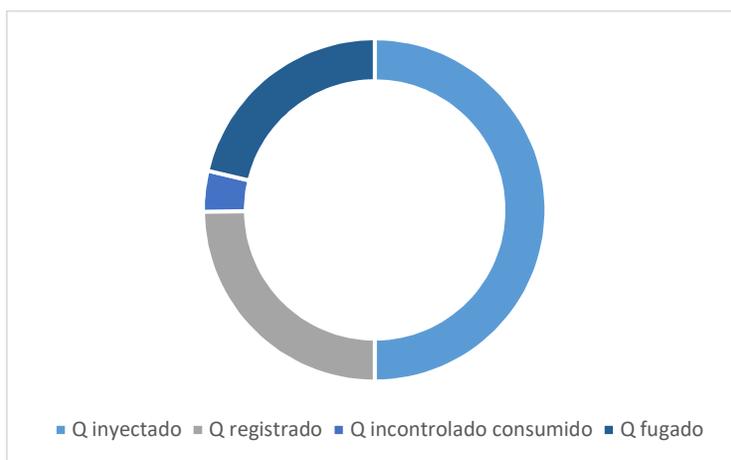


Figura 23. Resumen específico de caudales del sistema 2017

Para la modelación matemática de la red que se propone en los siguientes capítulos se toma en cuenta este balance. Considerando como demanda base tanto al caudal registrado como el incontrolado consumido. Las fugas serán representadas a través de coeficientes emisores, de tal forma que el caudal que circule por el sistema sea igual a todo el caudal inyectado.

4.5 BALANCE HÍDRICO IWA

En vista de que, a partir del catastro proporcionado por el DGAPA de Macas y a través de las estimaciones realizadas para el balance técnico se pudieron obtener datos suficientes, se ha procedido a la elaboración del balance hídrico de la IWA. Las tablas 21 y 22 que se muestran a continuación muestran en resumen los diferentes caudales correspondientes al balance hídrico de la IWA.



Tabla 21. Resúmenes caudales del balance hídrico IWA

Mes	Q Inyectado (m ³)	Q Catastrado (m ³)	Q_AF No medido (m ³)	Q_AF Medido (m ³)	Q_AF (m ³)	Q_ANF Medido (m ³)	Q_ANF No medido (m ³)	Q_ANF (m ³)	Q_PA Consumo no autorizado (m ³)	Q_PA Subcontaje (m ³)	Q_PA (m ³)	Q_PR Fugas (m ³)
Enero	402,730	178,222	5,130	170,046	175,176	3,046	420	3,466	8,759	13,028	21,787	202,301
Febrero	359,470	198,725	5,263	183,883	189,146	9,579	360	9,939	9,457	14,562	24,019	136,366
Marzo	327,600	160,081	5,120	149,551	154,671	5,410	360	5,770	7,734	11,664	19,398	147,761
Abril	373,830	170,228	5,160	159,183	164,343	5,885	360	6,245	8,217	12,424	20,641	182,601
Mayo	354,590	190,675	5,650	178,368	184,018	6,657	360	7,017	9,201	13,927	23,128	140,427
Junio	299,200	165,314	5,320	154,049	159,369	5,945	360	6,305	7,968	12,043	20,011	113,515
Julio	333,950	170,438	5,202	157,349	162,551	7,887	360	8,247	8,128	12,437	20,565	142,587
Agosto	347,220	204,164	5,918	190,165	196,083	8,081	390	8,471	9,804	14,922	24,726	117,940
Septiembre	353,550	178,226	5,430	164,187	169,617	8,609	390	8,999	8,481	13,006	21,487	153,447
Octubre	357,740	199,646	5,635	185,684	191,319	8,327	390	8,717	9,566	14,603	24,169	133,535
Noviembre	366,260	170,397	7,679	154,985	162,664	7,733	420	8,153	8,133	12,248	20,381	175,062
Diciembre	342,690	178,922	7,150	162,241	169,391	9,531	420	9,951	8,470	12,929	21,399	141,949
Total	4,218,830	2,165,038	68,657	2,009,691	2,078,348	86,690	4,590	91,280	103,918	157,793	261,711	1,787,491



Tabla 22. Balance hídrico IWA

Volumen de entrada al sistema Q_I	Consumo autorizado Q_A	Consumo autorizado facturado Q_{AF}	Agua facturada exportada	0	Agua facturada	
			Consumo facturado medido	2,009,691		
			Consumo facturado no medido	68,657		
		2,078,348		2,078,348		
		Consumo autorizado no facturado Q_{ANF}	Consumo no facturado medido	86,690		Agua no facturada
			Consumo no facturado no medido	4,590		
	91,280		91,280			
	Pérdidas de agua Q_P	Pérdidas aparentes Q_{PA}	Consumo no autorizado	103,918		
			Inexactitudes en medidores y errores de manejo de datos	157,793		
		Pérdidas reales Q_{PR}	Fugas		2,140,482	
1,787,491						
261,711		261,711				
4,218,830	2,049,202	1,787,491	1,787,491			



A partir del presente balance se hace un breve análisis del sistema. Para evaluar la red de distribución, se ha calculado el Índice de Fugas Estructural (IFE):

$$IFE = \frac{VIF}{UMF} \quad (7)$$

donde,

IFE: Índice de fugas estructural
VIF: Volumen incontrolado de fugado
UMF: Umbral mínimo de fugas

Además,

$$VIF = \frac{V_{if}}{\text{días} * N_a} \quad (8)$$

Vif: Volumen incontrolado fugado
Na: Número de acometidas (7,011 de acuerdo al DGAPA año 2017)

por lo que,

$$VIF = \frac{1,787,491 * \frac{1000}{365}}{7,011}$$

$$VIF = 698.51 \text{ l/acom/día}$$

por otra parte,

$$UMF = \frac{p(18L_t + 0.8N_a + 25L_a)}{N_a} \quad (9)$$

donde,

p: Presión media del sistema
Lt: Longitud total de la red
La: Longitud total de acometidas

Analizando la red, se estima que,

p: 40 mca
Lt: 119 km (Valor medido de las redes existentes catastradas)
La: 56.09 km (Considerando una longitud media de acometida de 8 m)

así,

$$UMF = \frac{40(18 * 119 + 0.8 * 7,011 + 25 * 56.09)}{7,011}$$

$$UMF = 52.22 \text{ l/acom/día}$$

por lo tanto,

$$IFE = \frac{698.51 \text{ l/acom/día}}{52.22 \text{ l/acom/día}}$$

$$IFE = 13.38$$

De acuerdo a la clasificación de la IWA, el abastecimiento presenta pésimas condiciones de gestión. Esto puede deberse a que debido a su ubicación privilegiada dentro de la zona amazónica posee gran cantidad de agua. Además, el agua tratada recibe muchos subsidios por parte de la municipalidad, siendo barata para el usuario.

No obstante, al ser el IFE un indicador que compara el sistema con la mejor versión de sí mismo, se puede ver que hay mucho margen de mejora. Y esta información es de valiosa importancia para el abastecimiento.

Tabla 23. Calificación IWA del sistema en función de su IFE

Target ILI Range	Water Resources Considerations	Operational Considerations	Financial Considerations
1 – 3	Available resources are greatly limited and are very difficult and/or environmentally unsound to develop.	Operating with system leakage above this level would require expansion of existing infrastructure and/or additional water resources to meet the demand.	Water resources are costly to develop or purchase; ability to increase revenues via water rates is greatly limited because of regulation or low ratepayer affordability.
3 – 5	Water resources are believed to be sufficient to meet long-term needs, but demand management interventions (leakage management, water conservation) are included in long-term planning.	Existing water supply infrastructure capability is sufficient to meet long-demand as long as reasonable leakage management control are in place.	Water resources can be developed or purchased at reasonable expense; periodic water rates increases can be feasibly imposed and are tolerated by the customer population.
5 – 8	Water resources are plentiful, reliable and easily extracted.	Superior reliability, capacity and integrity of the water supply infrastructure make it relatively immune to supply shortages.	Cost to purchase or obtain water is low, as are rates charged to customers.
> 8	Although operational and financial considerations may allow a long-term ILI greater than 8, such a level of leakage is not an effective utilization of water as a resource. Setting a target level greater than 8 – other than as an incremental goal to a smaller long-term target – is discouraging.		



CAPÍTULO 5

MODELO MATEMÁTICO

5 MODELO MATEMÁTICO

Un modelo hidráulico es aquél que reproduce de la mejor forma el comportamiento de la red de distribución de agua. En sí, constituyen una herramienta importante para conocer el estado de la red, predecir comportamientos futuros ante cambios previstos o imprevistos bajo distintas hipótesis de consumo u operación. Son un gran aliado para los gestores de sistemas de abastecimiento al proporcionar información valiosa que sirve de apoyo en la toma de decisiones. [14]

El objetivo principal del presente TFM es la elaboración de un modelo matemático de la red de abastecimiento de Macas. Para alcanzar dicho objetivo se necesitan desarrollar una serie de pasos y procedimientos técnicos los cuales permitan llegar a cumplir dicho objetivo. Dichos procesos se han clasificado de la siguiente manera:



Cada uno de estos pasos tienen puntos intermedios que una vez desarrollados permitirán obtener un modelo matemático sencillo y confiable de la red de abastecimiento de la ciudad de Macas. El mismo podrá servir de base para el DGAPA en la toma de decisiones en cuanto a su red de agua potable y futuros proyectos.

5.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

La información para el desarrollo del modelo ha sido suministrada por el DGAPA de Macas. Actualmente el departamento no cuenta con un modelo computacional de la red. No obstante, cuentan con planos, registros y similares que han sido revisados y depurados para su utilización en el presente trabajo. Seguidamente se detalla cada una de la información proporcionada y el trabajo previo realizado para la ejecución del modelo.

5.1.1 Plano actual de la red

La municipalidad cuenta con un plano en formato CAD de la red de tuberías actual. Dicho plano abarca todas las zonas en las que existe suministro de agua. Desafortunadamente en aquel plano se han identificado dos problemas para su utilización en la formulación del modelo matemático:

- Las tuberías se encuentran almacenadas en una sola capa y no es posible realizar una clasificación de tuberías en función del material o diámetro de las mismas.
- El plano existente se ha elaborado con la finalidad de representar cada elemento de la red de forma gráfica. Existen uniones, codos, tapones y demás accesorios representados esquemáticamente, haciendo que las longitudes de las tuberías dibujadas no coincidan con las etiquetas de las longitudes reales de las mismas.



Figura 24. Parte del plano AutoCAD del sistema actual de la red de Macas. Original.

Para solucionar estos problemas, y tener un plano CAD limpio acorde a las dimensiones y características reales se ha procedido a redibujar la red por completo, eliminando los accesorios que se encontraban representados de forma esquemática y dejándolos como nudos exactos.

Además, al momento de redibujar la red se tomó en cuenta diámetros y materiales de cada uno para agruparlos en capas individuales. Esta separación en capas facilitará el trabajo de asignación de diámetros en Epanet 2.0 y constituye un trabajo arduo, pero necesario para la consecución del modelo.

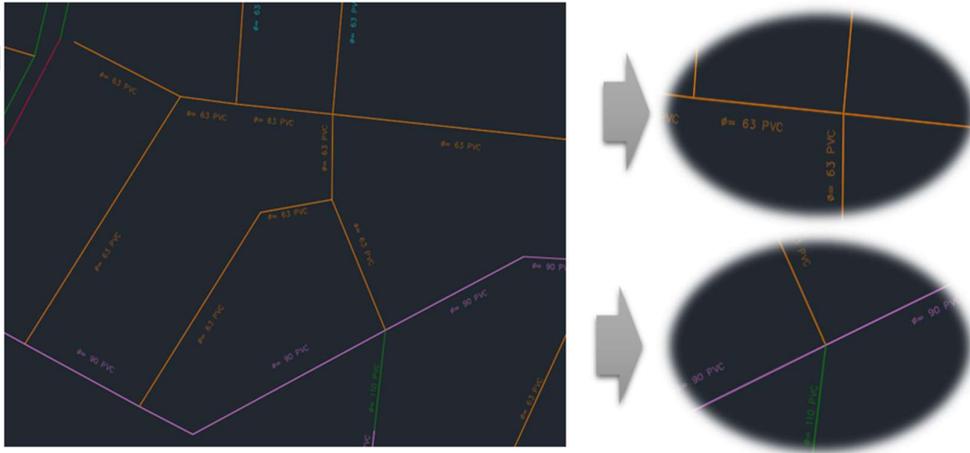


Figura 25. Parte del plano AutoCAD del sistema actual de la red de Macas. Modificado.

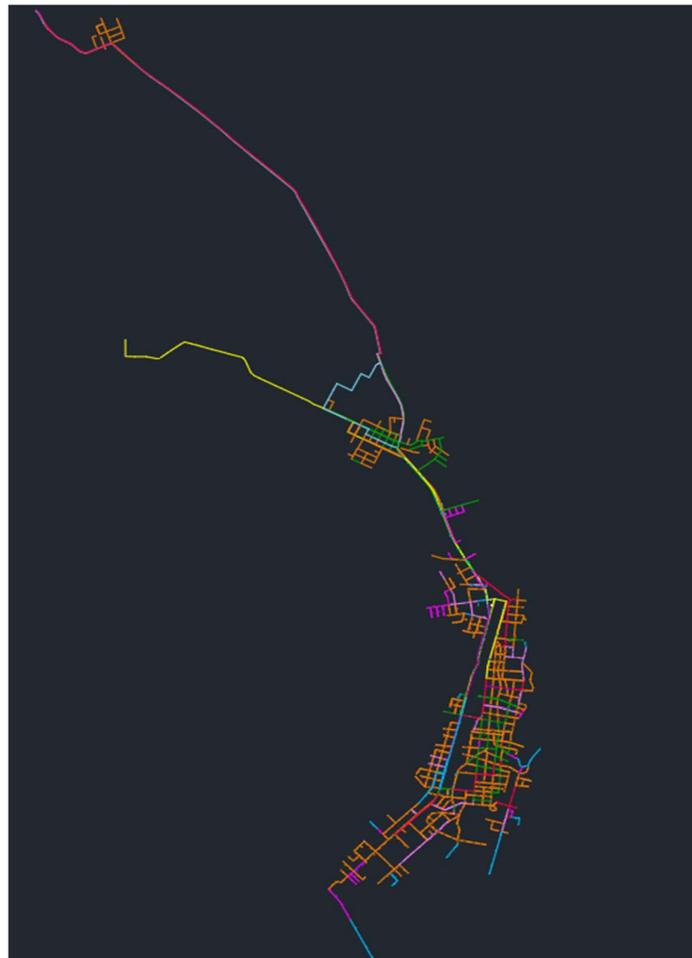


Figura 26. Plano AutoCAD del sistema actual de la red de Macas. Modificado.

5.1.2 Topografía

La municipalidad, específicamente su DGAPA no cuenta con un plano topográfico actualizado. Es decir, aquél que manejan es del año 2000 y no abarca todas las zonas que cuentan con el servicio de agua potable. Por tal motivo, para la realización del presente trabajo se ha optado por la obtención de la topografía por medios digitales. Para este cometido se ha utilizado información procedente de Google Earth Pro, la cual una vez procesada permite la generación de curvas de nivel de toda la zona de estudio.

El proceso a realizarse fue el siguiente:

1. Generación de ruta en Google Earth Pro. En este programa, se delimitó la zona de estudio generando un polígono que abarque el área que cuenta con servicio de agua potable. Luego, tomando como borde aquel polígono, se procedió a la asignación de varios puntos por medio de la opción ruta. Cuantos más puntos se generen, mayor cantidad de información se tendrá para trazar un mejor mapa topográfico.

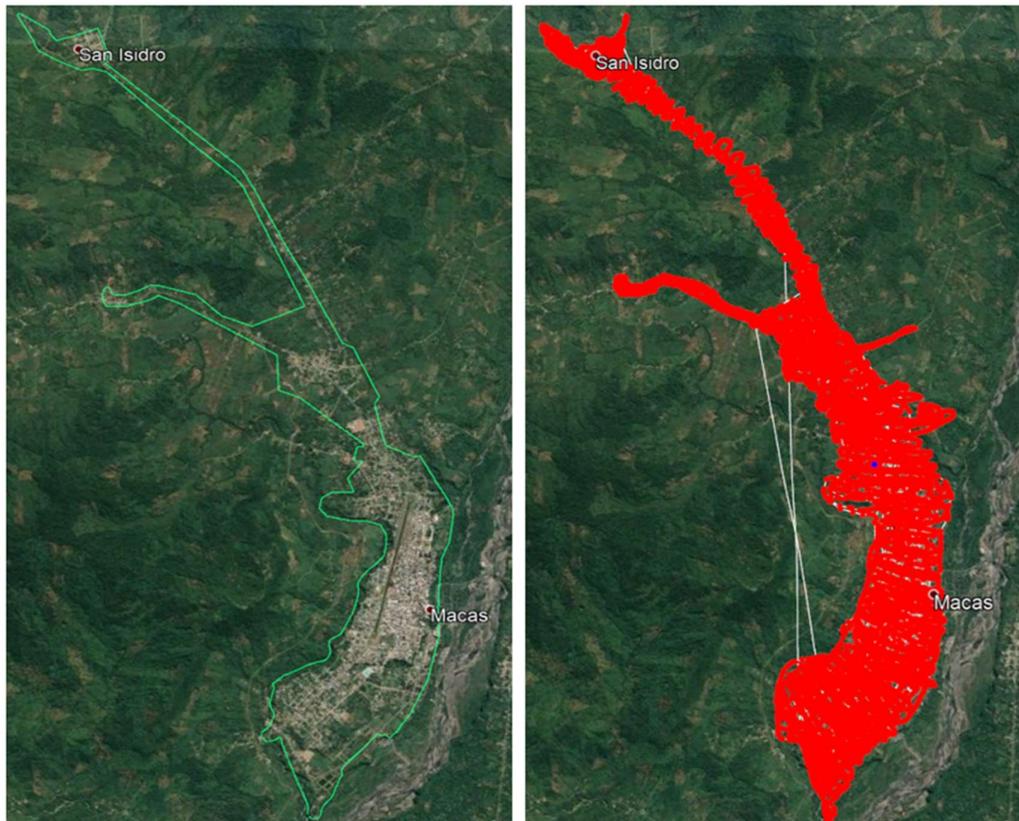


Figura 27. Izq: Límite del área del sistema de agua potable. Der: Generación de puntos en Google Earth Pro.

La ventaja que tienen los puntos de Google Earth Pro, es que nos proporciona de manera directa su posición: longitud y latitud. No obstante, dichos puntos carecen de elevación, por lo que en sí no son suficientes para la elaboración de un plano topográfico. Es ahí cuando se necesita el apoyo de otro software.

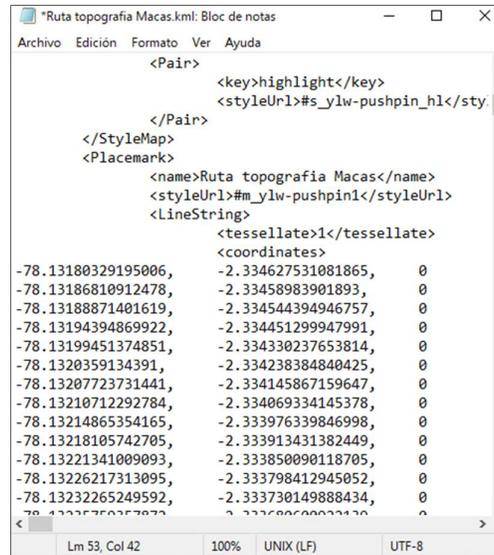


Figura 28. Características de los puntos de Google Earth Pro.

2. Obtención de elevaciones con GPS Visualizer. Ésta es una plataforma digital que permite, a través de puntos generados con Google Earth Pro, obtener las elevaciones de dichos puntos.

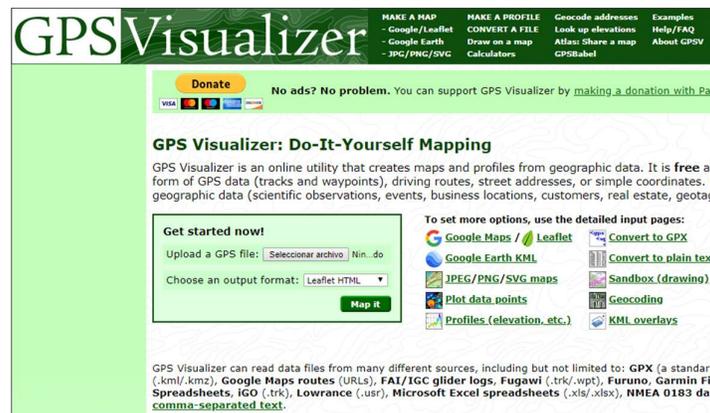


Figura 29. Aplicativo para la obtención de elevaciones de Google Earth Pro.

Una vez procesada la información, se obtiene un archivo *.txt* en el cual se encuentra asignado a cada par de coordenadas su respectiva elevación. Estas ya pueden ser filtradas y utilizadas en otros programas como GIS y CAD.

```
2019102801547-74037-data.gpx: Bloc de notes
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" standalone="yes"?>
<gpx version="1.1" creator="GPS Visualizer https://www.gpsvisualizer.com/">
<trk>
<name>Ruta topografía Macas</name>
<trkseg>
<trkpt lat="-2.334627531" lon="-78.131803292" <ele>948.79</ele>
</trkpt>
<trkpt lat="-2.334589839" lon="-78.131868109" <ele>949.08</ele>
</trkpt>
<trkpt lat="-2.334544395" lon="-78.131888714" <ele>949.376</ele>
</trkpt>
<trkpt lat="-2.3344513" lon="-78.131943949" <ele>949.959</ele>
</trkpt>
<trkpt lat="-2.334330238" lon="-78.131994514" <ele>950.661</ele>
</trkpt>
<trkpt lat="-2.334238385" lon="-78.132035913" <ele>951.155</ele>
</trkpt>
<trkpt lat="-2.334145867" lon="-78.132077237" <ele>951.545</ele>
</trkpt>
<trkpt lat="-2.334069334" lon="-78.132107123" <ele>951.637</ele>
</trkpt>
<trkpt lat="-2.33397634" lon="-78.132148654" <ele>951.71</ele>
</trkpt>
<trkpt lat="-2.333913431" lon="-78.132181057" <ele>951.732</ele>
</trkpt>
</trkseg>
</trk>
</gpx>
```

Figura 30. Elevaciones obtenidas a partir de GPS Visualizer.

3. Proyección y exportación de puntos con ArcMap. Una vez obtenido el archivo *.txt* con las elevaciones, con la ayuda del programa ArcMap se procedió a su importación y conversión en un archivo *.shp* el cual contiene los atributos de ubicación y elevación. Asimismo, debido a que el archivo original se encontraba en coordenadas geográficas se procedió a transformar y proyectar dicho archivo *.shp* a coordenadas UTM.

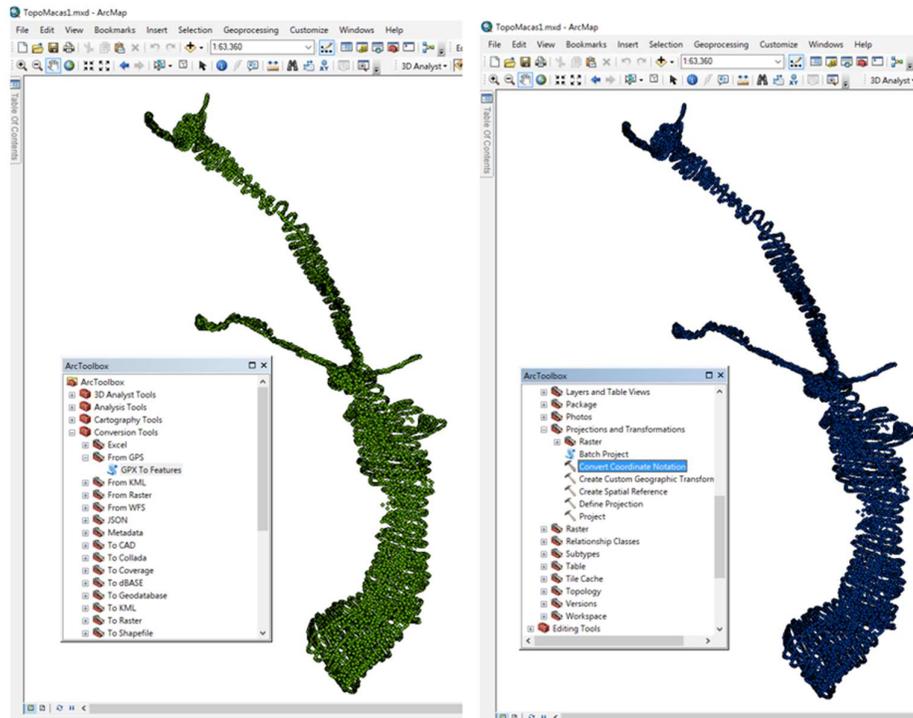


Figura 31. Izq: Puntos importados en ArcMap. Der: Puntos proyectados a coordenadas UTM en ArcMap.

Una vez proyectado el archivo, a través de su tabla de atributos es posible obtener un archivo *.txt* con los puntos en coordenadas UTM el cual será utilizado en AutoCAD Civil 3D para la generación de una superficie con curvas de nivel.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
819029,	9741626,		948.79	
819022,	9741631,		949.08	
819019,	9741636,		949.376	
819014,	9741646,		949.959	
819008,	9741660,		950.661	
819003,	9741670,		951.155	
818998,	9741679,		951.545	
818995,	9741688,		951.637	
818991,	9741698,		951.71	
818987,	9741706,		951.732	
818984,	9741713,		951.736	
818978,	9741718,		951.664	
818972,	9741726,		951.547	
818967,	9741732,		951.47	
818962,	9741737,		951.329	
818958,	9741746,		951.243	
818954,	9741754,		951.067	
818947,	9741763,		950.463	
818941,	9741770,		949.755	
818935,	9741776,		949.242	
818931,	9741781,		948.931	
818924,	9741789,		948.432	
818920,	9741795,		948.212	

Figura 32. Coordenadas UTM del sistema de agua de Macas.

4. Generación de curvas de nivel en AutoCAD Civil 3D. Una vez con un archivo *.txt* de los puntos en coordenadas UTM con sus respectivas elevaciones. Se procede a la importación de dichos puntos en el programa, y a la generación de una superficie TIN. Esta superficie cuenta con curvas de nivel espaciadas cada 1 y 5 metros.

Generada la superficie, esta se descompuso usando la función *explotar* del AutoCAD Civil 3D para contar simplemente con las curvas de nivel y este archivo se guardó con la extensión *.dxf* para su posterior tratamiento en la asignación de elevaciones a los nodos que conforman la red de abastecimiento.

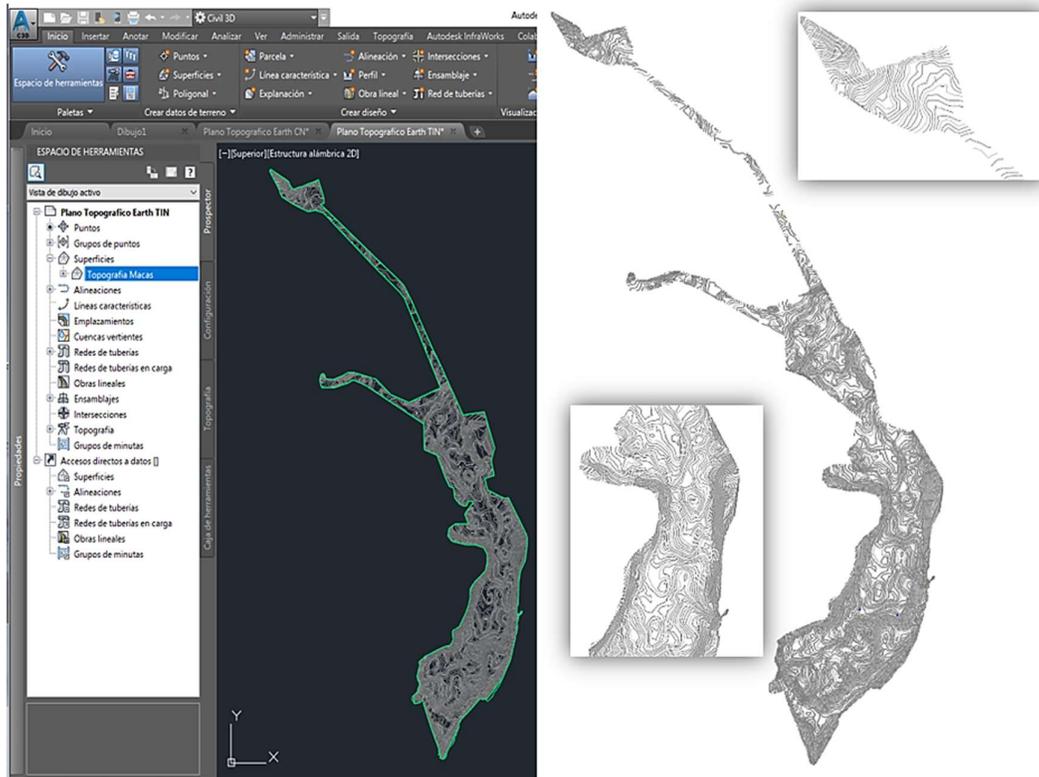


Figura 33. Curvas de nivel generadas en AutoCAD Civil 3D.

5.1.3 Catastro de usuarios

De acuerdo con los archivos proporcionados por el DGAPA de la ciudad de Macas, existen para finales del año 2017 (año en el que se basa este trabajo) un total de 7,011 acometidas conectadas a la red de agua potable. No obstante, se ha realizado un análisis de dicha información encontrándose que existen ciertas acometidas que se han inhabilitado, es decir son puntos en los que teóricamente no existe consumo de agua.

Este análisis permite que al momento de la distribución de la demanda base, la misma sea considerada solo para aquellos puntos o usuarios que se encuentran habilitados, ya que serían ellos los que estén consumiendo agua de la red. Los restantes no deberían ser tomados en cuenta porque, aunque figuran en el catastro, no consumen agua.

Esto se ilustra de mejor manera en la siguiente tabla.

Tabla 24. Resumen de catastro de acometidas.

Acometidas	
Habilitadas	6,702
Suspendidas	309
Total	7,011

Ahora, de aquellas acometidas que se encuentran habilitadas, 6,702 en total, se ha realizado de igual forma una discretización entre el tipo de usuarios al que corresponden. Esto con el objetivo de identificar otros consumidores además de los considerados como domiciliarios y comerciales.

Tabla 25. Resumen de catastro de acometidas habilitadas.

Acometidas habilitadas	
Domésticas	6,066
Comerciales	407
Otras	229
Total	6,702

Esta información deja ver que existen 229 acometidas especiales, correspondiente a instituciones públicas, hospitales, colegios, etc., cuyo consumo es diferente a un consumo típico doméstico o comercial. El tratamiento del consumo de estos usuarios se plantea de forma diferenciada, asignándole a cada uno el caudal real de su consumo, ya que por lo general su consumo es superior al de los otros abonados.

Con la finalidad de representar de la mejor manera la distribución de caudales dentro del modelo, estos consumos especiales se los deberá ubicar y asignar en su nodo correspondiente. No obstante, al ser 229 los puntos con consumos especiales, se revisó del catastro municipal el consumo del último mes del 2017 y se encontró que hay ciertas acometidas especiales que tienen un consumo nulo. Esto puede deberse a que son acometidas habilitadas, de tipo especial, pero que actualmente no se encuentran en funcionamiento.

Identificar esta peculiaridad permite que al momento de designar los consumos especiales no se tenga que analizar y ubicar los 229 usuarios, sino solo aquellos que presenten consumo, para este caso 180 puntos.

Tabla 26. Resumen de catastro de acometidas especiales.

Acometidas especiales	
Registro >0	180
Registro 0	49
Total	229

Por lo tanto, de este análisis se encontró que existen en realidad 180 consumidores especiales, los cuales a partir del catastro fueron ubicados exactamente dentro del plano por medio de su dirección y estudiando el consumo real que poseían se determinó que este consumo debe ir directamente al nodo correspondiente.

5.1.4 Volúmenes inyectados

Como se menciona en los capítulos anteriores, existen dos PTAPs: San Isidro y Jimbitono. Durante el año 2017 se realizaron las mediciones del caudal producido e inyectado al sistema de cada una de estas plantas. Estas mediciones las realizaron con caudalímetros electromagnéticos de forma mensual. El resultado de las mediciones se muestra en la tabla 27.

Tabla 27. Volúmenes inyectados al sistema 2017.

Mes	Volumen inyectado San Isidro (m ³)	Volumen inyectado Jimbitono (m ³)	Volumen inyectado total (m ³)
Enero	231,770	170,960	402,730
Febrero	212,690	146,780	359,470
Marzo	194,950	132,650	327,600
Abril	218,540	155,290	373,830
Mayo	211,760	142,830	354,590
Junio	216,120	83,080	299,200
Julio	211,730	122,220	333,950
Agosto	218,630	128,590	347,220
Septiembre	220,820	132,730	353,550
Octubre	212,160	145,580	357,740
Noviembre	225,500	140,760	366,260
Diciembre	217,580	125,110	342,690
Total	2,592,250	1,626,580	4,218,830

Como se puede observar, el volumen total del caudal inyectado es de **4,218,830 m³** durante el año 2017.

A partir del valor total, se determinó el caudal medio diario (Q_m) de tal forma que:

$$Q_m = \frac{4,218,830 \frac{m^3}{año}}{365 \frac{días}{año}}$$

Por lo tanto, el caudal medio inyectado al sistema y con el que se trabaja y analiza en primera instancia el modelo matemático es de:

$$Q_m = 133.77 \text{ l/s}$$

5.1.5 Patrón de demanda

Durante la primera semana del mes de octubre de 2019, el DGAPA con la finalidad de colaborar en la obtención de datos para la elaboración del matemático, realiza lecturas en dos de sus caudalímetros más importantes. Estos se encuentran a la salida de los depósitos R2 al norte de la ciudad y abastecen a la mayor parte del sistema.

Se tomaron lecturas horarias durante tres días: lunes, miércoles y sábado. Estos días fueron seleccionados para tener una muestra homogénea y representativa de una semana

tipo. Los datos fueron registrados a la salida de los caudalímetros de 250 mm y 350 mm. El primero abastece principalmente a la zona este y menos poblada de la ciudad, mientras que el segundo abastece básicamente al centro de la urbe. Los resultados de estas lecturas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 28. Medidas de caudales a la salida de depósito R2.

HORA	Medidor 250 mm				Medidor 350 mm			
	Caudal (l/s)				Caudal (l/s)			
	Lunes	Miércoles	Sábado	Promedio	Lunes	Miércoles	Sábado	Promedio
0:00	17.57	17.44	17.20	17.40	48.24	48.83	48.01	48.36
1:00	16.52	17.55	17.32	17.13	46.18	45.41	46.22	45.94
2:00	16.41	16.21	16.01	16.21	45.52	44.56	44.18	44.75
3:00	16.3	16.72	16.25	16.42	44.77	42.62	43.07	43.49
4:00	17.04	16.94	17.12	17.03	44.8	43.07	43.15	43.67
5:00	17.8	16.75	17.25	17.27	49.9	46.45	45.22	47.19
6:00	21.1	20.68	18.32	20.03	77.8	69.55	56.52	67.96
7:00	20.73	21.71	20.34	20.93	79.5	76.94	67.91	74.78
8:00	22.57	21.62	22.59	22.26	79.95	74.88	76.82	77.22
9:00	21.93	20.33	21.77	21.34	83.5	73.37	80.51	79.13
10:00	22.3	21.71	22.96	22.32	79.95	80.84	83.47	81.42
11:00	22.24	21.17	22.41	21.94	76.95	77.55	82.46	78.99
12:00	22.13	21.34	22.94	22.14	82.99	77.90	83.44	81.44
13:00	21.12	20.72	22.14	21.33	73.96	75.67	78.31	75.98
14:00	23.92	21.11	21.4	22.14	79.94	82.18	74.91	79.01
15:00	21.95	21.78	21.31	21.68	76.84	75.82	71.73	74.80
16:00	21.83	20.49	21.14	21.15	69.78	69.81	71.87	70.49
17:00	20.75	20.22	20.58	20.52	72.62	69.78	68.32	70.24
18:00	21.5	20.1	20.85	20.82	72.61	71.19	68.21	70.67
19:00	20.94	20.72	20.39	20.68	68.3	72.25	66.41	68.99
20:00	20.33	20.23	19.33	19.96	68.65	69.30	64.75	67.57
21:00	19.33	19.76	19.35	19.48	63.72	66.00	63.24	64.32
22:00	19.15	19.09	18.64	18.96	62.62	64.14	59.36	62.04
23:00	18.52	18.28	18.5	18.43	55.79	60.20	54.79	56.93

Analizando cada día, se verificó que los patrones de consumo tienen la misma tendencia independientemente del día, por lo que como resultado final para cada uno de los caudalímetros se obtuvo una serie de datos promedio. Las figuras 34 y 35 muestran los diferentes días y consumos para cada uno de los caudalímetros.

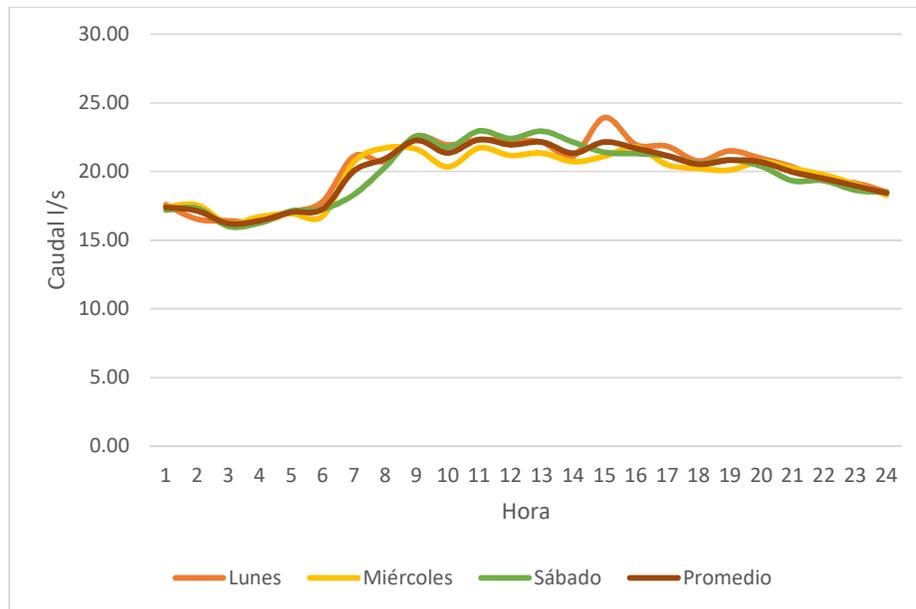


Figura 34. Variación horaria de caudal. Caudalímetro 250 mm.

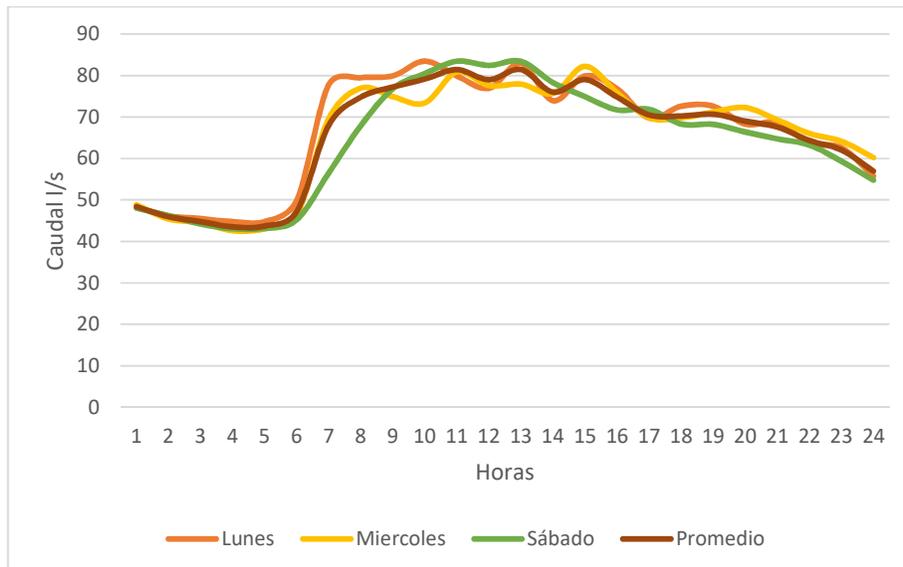


Figura 35. Variación horaria de caudal. Caudalímetro 350 mm.

Una vez con esta información procesada y debido a que toda la red se encuentra mallada en el sur de la ciudad, no fue posible establecer patrones individuales. Por lo tanto, dado que la ciudad es pequeña y posee un comportamiento de consumo similar, se optó por establecer un único patrón de consumo. Realizando para ello una media ponderada de los coeficientes tomados en cada uno de los medidores. Es decir, dando más peso al medidor de 350 mm que es el que mayor caudal conduce (ver tabla 29 y figura 36).

Tabla 29. Coeficientes de modulación horarios.

Medidor 250			Medidor 350			Sistema de Macas
Hora	Caudal medio l/s	Coefficiente horario	Hora	Caudal medio l/s	Coefficiente horario	Coefficiente ponderado
0:00	17.40	0.875	0:00	48.36	0.737	0.774
1:00	17.13	0.861	1:00	45.94	0.700	0.744
2:00	16.21	0.815	2:00	44.75	0.682	0.717
3:00	16.42	0.825	3:00	43.49	0.663	0.707
4:00	17.03	0.856	4:00	43.67	0.665	0.719
5:00	17.27	0.868	5:00	47.19	0.719	0.759
6:00	20.03	1.007	6:00	67.96	1.035	1.029
7:00	20.93	1.052	7:00	74.78	1.139	1.12
8:00	22.26	1.119	8:00	77.22	1.176	1.163
9:00	21.34	1.073	9:00	79.13	1.205	1.177
10:00	22.32	1.122	10:00	81.42	1.240	1.215
11:00	21.94	1.103	11:00	78.99	1.203	1.181
12:00	22.14	1.112	12:00	81.44	1.241	1.213
13:00	21.33	1.072	13:00	75.98	1.158	1.139
14:00	22.14	1.113	14:00	79.01	1.204	1.184
15:00	21.68	1.089	15:00	74.80	1.140	1.129
16:00	21.15	1.063	16:00	70.49	1.074	1.071
17:00	20.52	1.031	17:00	70.24	1.070	1.061
18:00	20.82	1.046	18:00	70.67	1.077	1.07
19:00	20.68	1.039	19:00	68.99	1.051	1.048
20:00	19.96	1.003	20:00	67.57	1.029	1.023
21:00	19.48	0.979	21:00	64.32	0.980	0.98
22:00	18.96	0.953	22:00	62.04	0.945	0.947
23:00	18.43	0.926	23:00	56.93	0.867	0.881
Promedio	19.90	1.000	Promedio	65.64	1.000	1.000

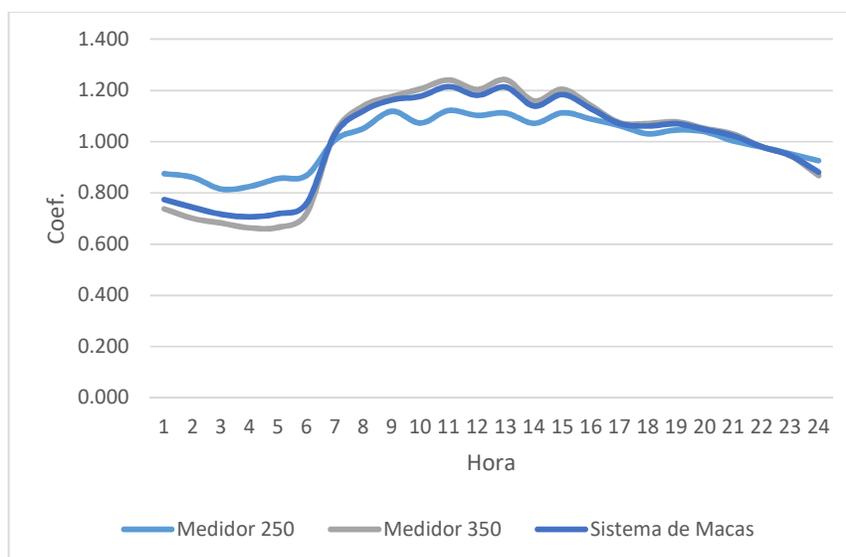


Figura 36. Curva de consumo

A partir de esta información se presenta el patrón de consumo de la ciudad, la cual será ingresada en el modelo matemático para el desarrollo de este TFM.

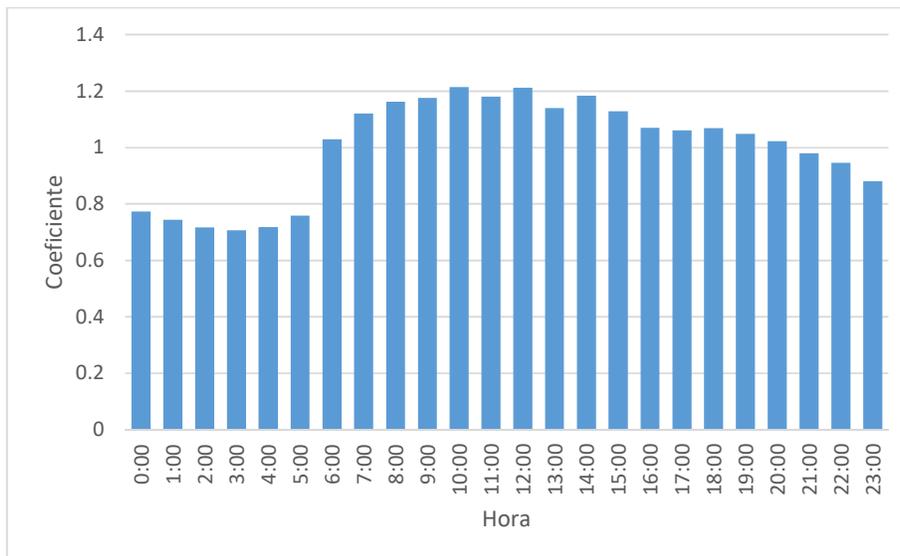


Figura 37. Patrón de demanda horario.

5.2 ESQUELETIZACIÓN DE LA RED

La esqueletización de la red, para obtener todas las características físicas del modelo se realizaron siguiendo básicamente 3 pasos antes de tener el modelo en Epanet 2.0 para su posterior trabajo. Estos pasos se describen uno a uno en los puntos siguientes.

5.2.1 Trazado de la red en AutoCAD

Este punto se lo trabajó en el apartado 5.1.1 del presente TFM, al momento de procesar la información del plano de la red proporcionada por el DGAPA. Como resultado se obtuvo un plano limpio, con las características de las diferentes tuberías asignadas en capas individuales. Una vez con el plano listo, el mismo fue guardado con una extensión *.dxf* para poder ser exportado a Epanet 2.0.



Figura 38. Trazado de la red en AutoCAD.

5.2.2 Importación de la red en Epanet 2.0

Este proceso se realizó utilizando la extensión desarrollada por la UPV denominada CADaRED, la cual permite extraer la información de un archivo *.dxf* hasta un formato *.inp* el cual es leído por Epanet 2.0. Aquí, se extrajeron las capas correspondientes a las distintas tuberías, desde la más pequeña de 32 mm hasta la más grande de 355 mm. La figura 39 muestra la selección de las capas a extraerse.

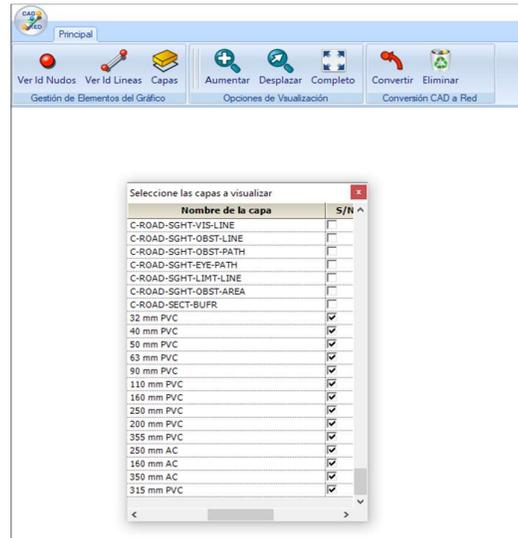


Figura 39. Entorno gráfico extensión CADaRED

Una vez seleccionadas las capas a ser importadas, a través del comando *convertir* se designa de la misma forma las capas a convertirse a formato *.inp* y el grado de tolerancia para la asignación de nodos, la numeración de los mismos, así como demás características físicas del modelo. Se señala la asignación del componente Z como elevación, que para este caso será de cero en todos los nodos.

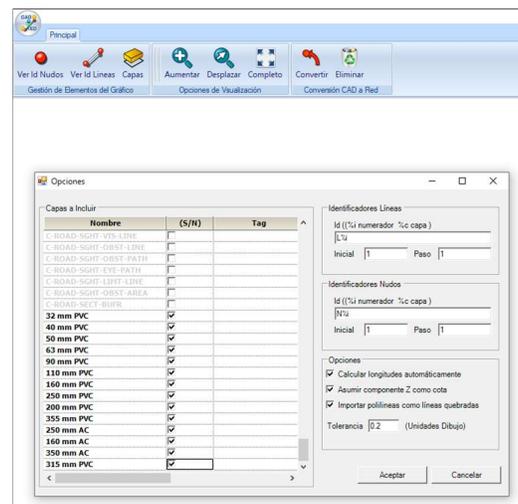


Figura 40. Entorno gráfico extensión CADaRED. Opciones.

Una vez realizada la importación se cierra la extensión CADaRED e inmediatamente se obtiene el plano en Epanet 2.0 (ver figura 41).

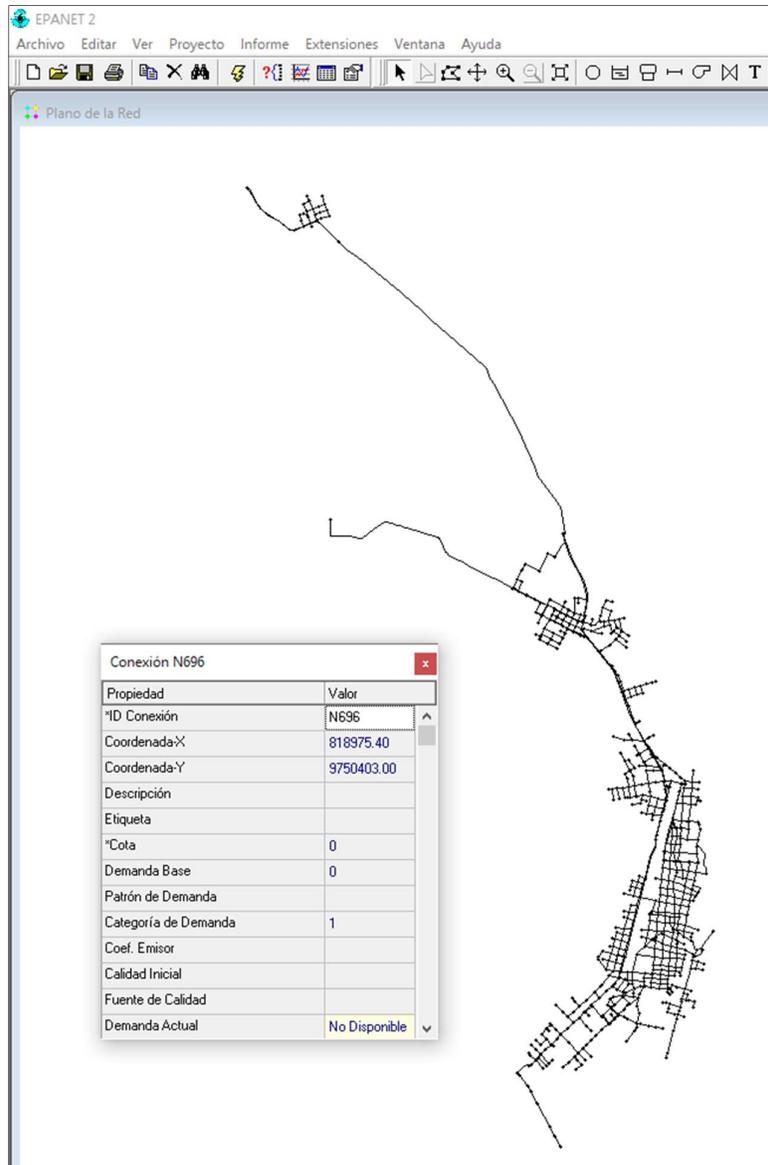


Figura 41. Plano importado a Epanet 2.0.

Se observa que sus conexiones solo cuentan con posición longitudinal y latitudinal, mas no tienen asignadas las elevaciones ni ningún otro parámetro.

Para la asignación de diámetros de tuberías, dado que en las capas del archivo importado se encuentran sus diámetros correspondientes es posible a través del archivo *.inp* trabajar dicha información y con la ayuda del Excel asignar los diámetros a las tuberías para que así pueda ser leído por Epanet 2.0. De esta forma ya se tiene un plano Epanet 2.0, con los nodos en su sitio, las longitudes correspondientes de tuberías y sus respectivos diámetros (ver figura 42).

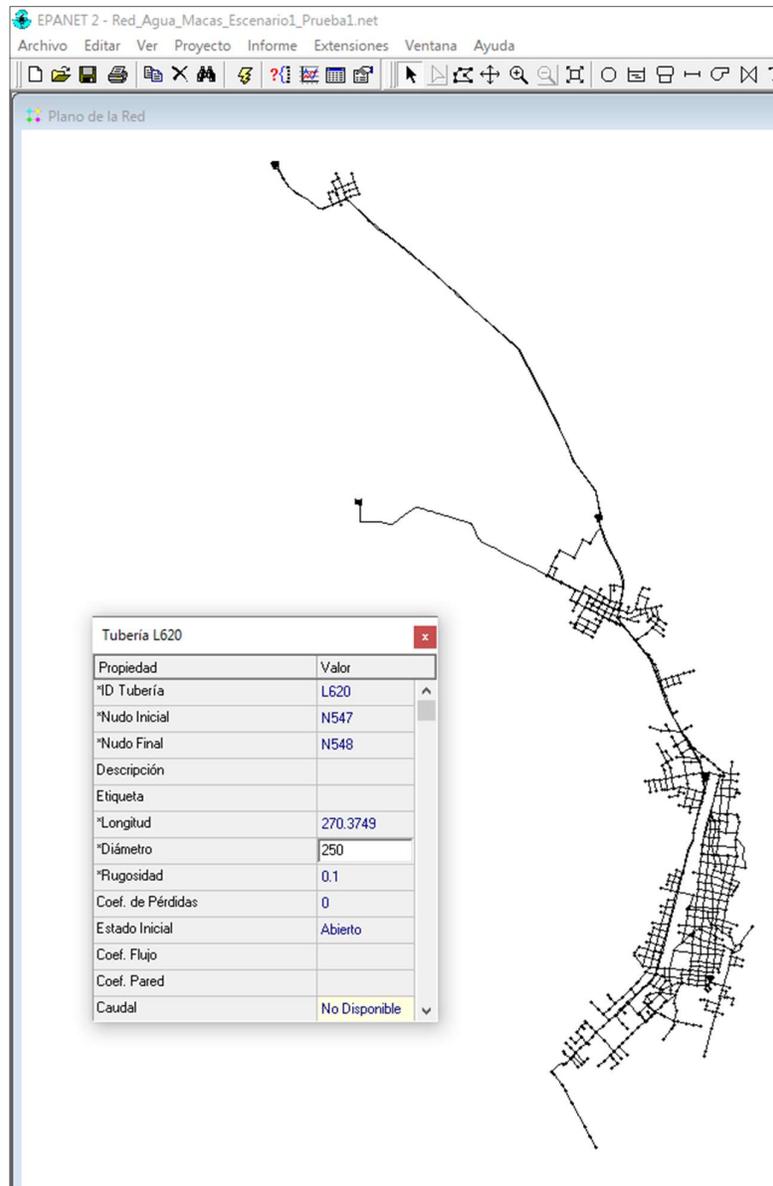


Figura 42. Plano importado a Epanet 2.0 con diámetros.

5.2.3 Asignación de elevaciones. WaterCAD

Para asignar las elevaciones correspondientes a cada uno de los nodos se utilizó el programa WaterCAD, el cual es capaz de leer archivos de Epanet 2.0. Por medio de WaterCAD utilizando una de sus herramientas denominada *TRex*, en función de la topografía de la zona se asigna cotas a los nodos. Se siguieron los siguientes pasos:

1. En WaterCAD se crea un nuevo proyecto y se procede a importar un archivo de Epanet 2.0 tal como se muestra en las figuras 43 y 44. Para esto se ejecuta la función *File* → *Import* → *Epanet*.

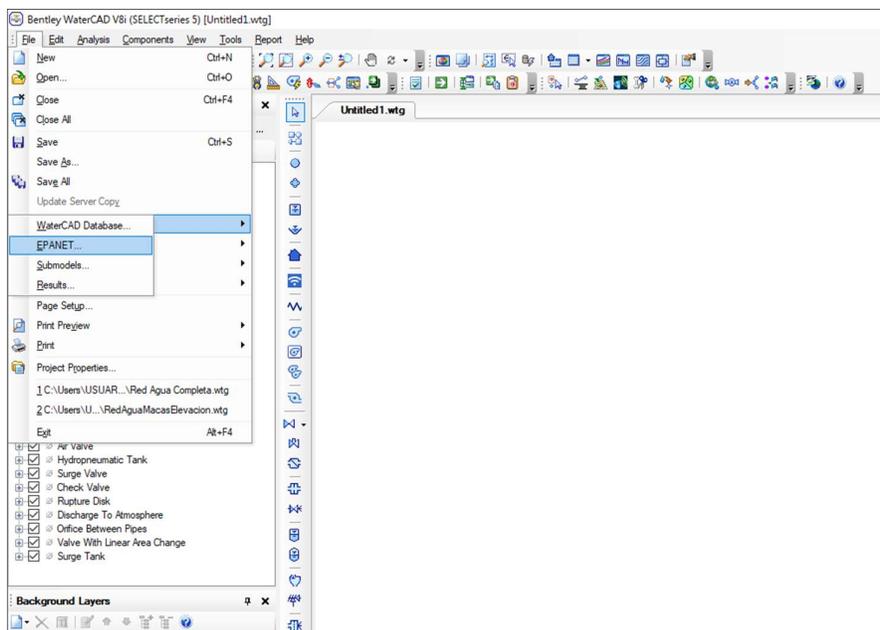


Figura 43. Entorno WaterCAD. Importación de Epanet.

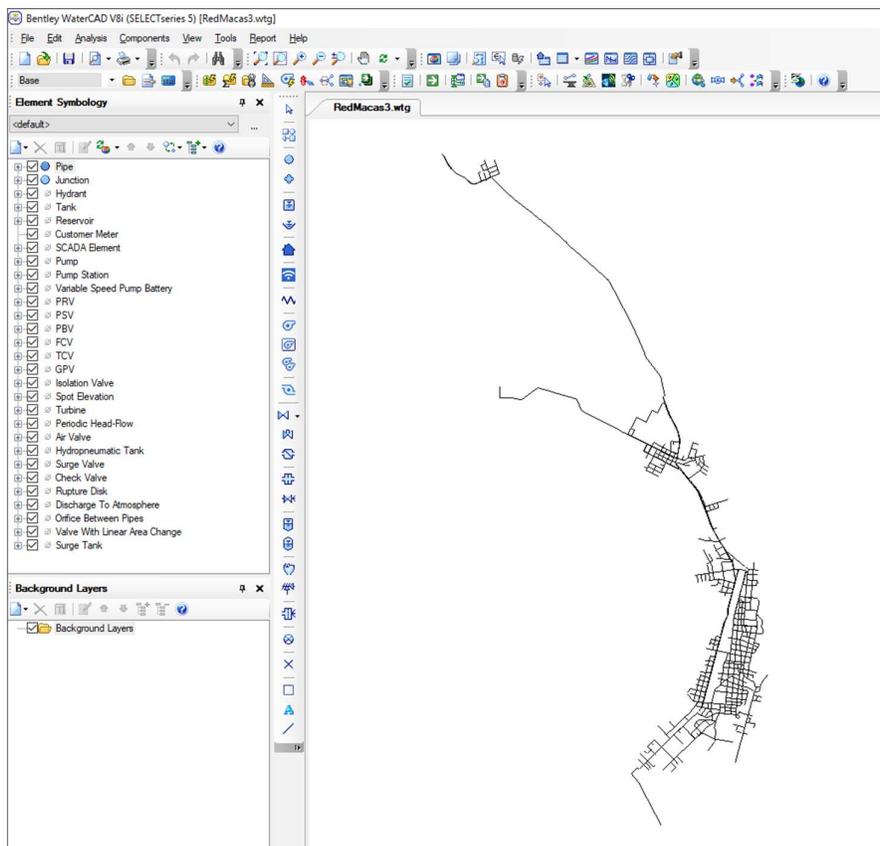


Figura 44. Red en WaterCAD.

2. Una vez realizada la importación de red, se procede con la topografía. Para una mejor interpretación y visualización, por medio de la función *background layer* se puede subir el archivo trabajado en el apartado 5.1.2. La interfaz gráfica de este procedimiento se muestra en las figuras 45 y 46.

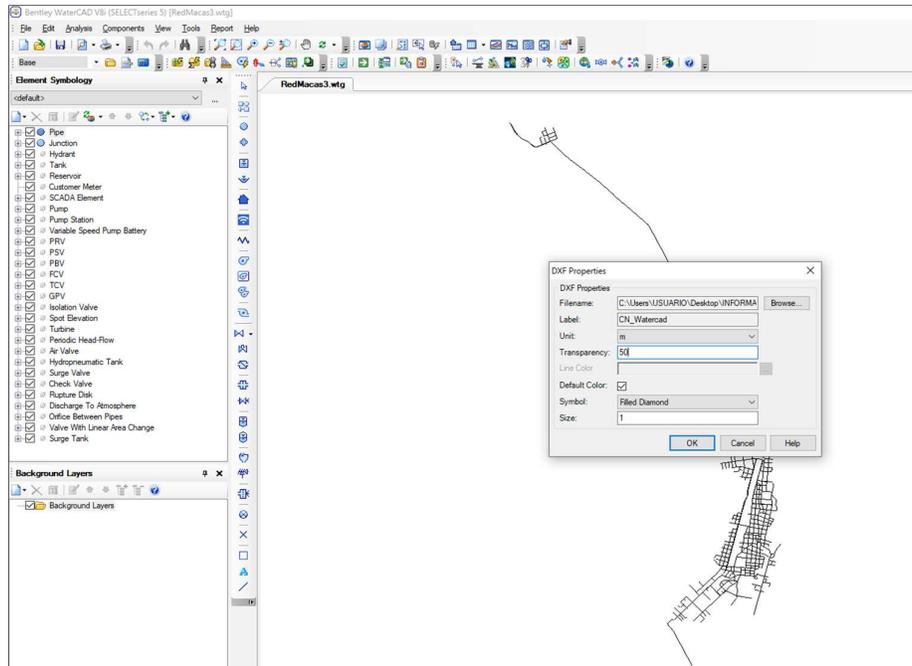


Figura 45. Proceso de importación de curvas de nivel a WaterCAD. Background.

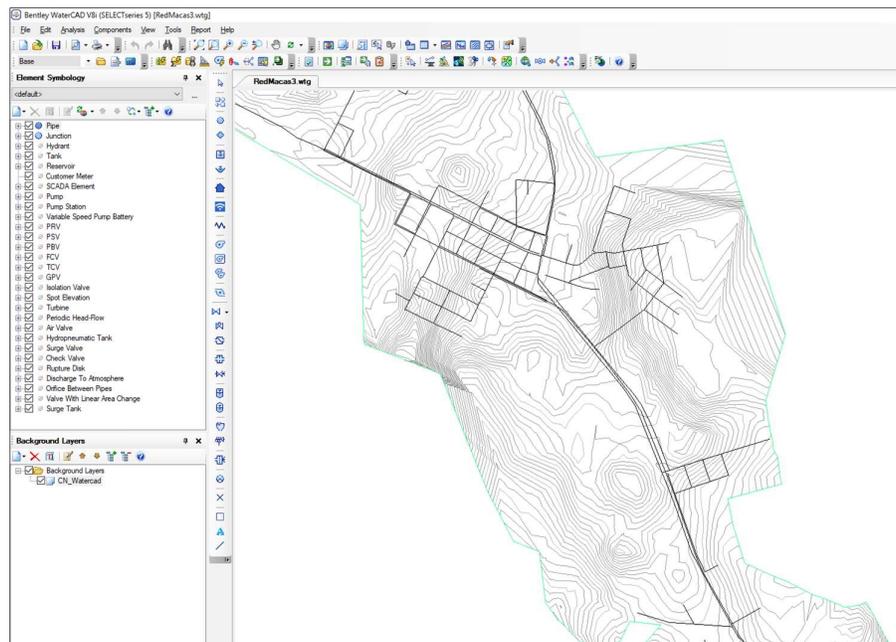


Figura 46. Curvas de nivel importadas como background.

- Luego, se realiza la asignación de cotas por medio de la herramienta *TRex* propia del WaterCad. Esta función, permite a partir de las curvas de nivel generadas realizar interpolaciones y asignar a cada nodo la elevación que le corresponde.

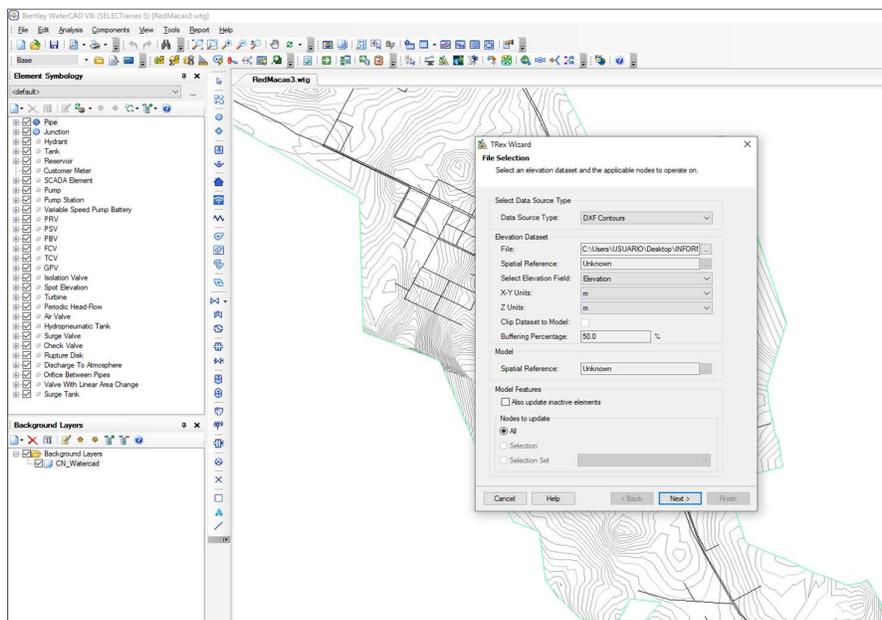


Figura 47. Importación de curvas de nivel WaterCAD. TRex.

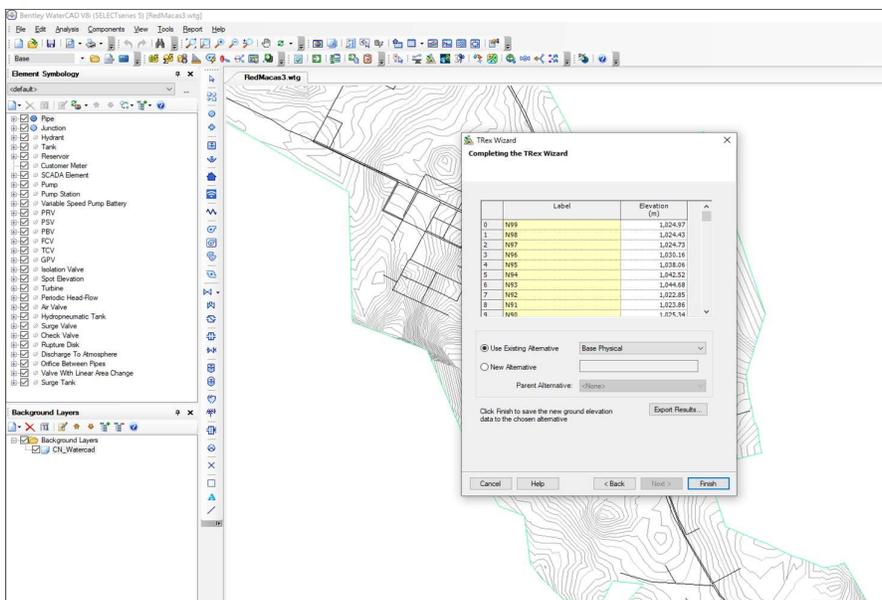


Figura 48. Asignación de cotas a los nodos de la red con TRex.

Una vez realizado este procedimiento, las elevaciones en cada uno de los nodos han sido asignadas y se cuenta con una red completa en cuanto a sus características físicas.

4. Finalmente, como se observa en la figura 49, el archivo generado es exportado a Epanet 2.0. A través de *File* → *Export* → *Epanet*. Realizado este proceso, ya se cuenta con un archivo en formato *.inp* el cual puede ser abierto en Epanet 2.0. Como se puede observar en la figura 50, los nodos se encuentran con las elevaciones respectivas.

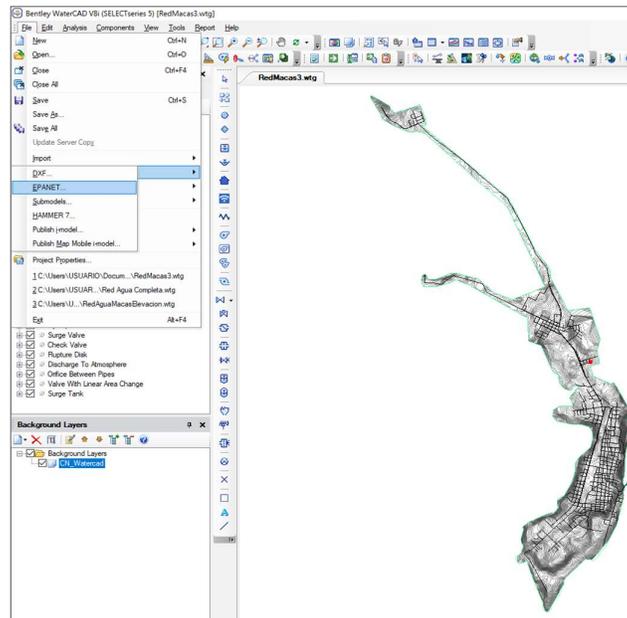


Figura 49. Proceso de exportación de WaterCad a Epanet.

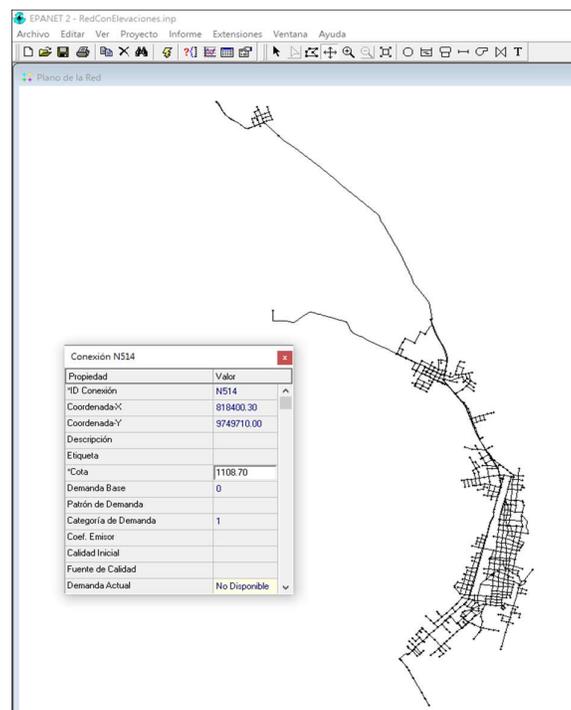


Figura 50. Red en Epanet con elevaciones en los nodos.

5.2.4 Ubicación de embalses y depósitos.

Este procedimiento se realiza en Epanet 2.0 directamente. Se ubican los embalses y depósitos respectivos, con las cotas correspondientes, de acuerdo a la información proporcionada en la descripción de los elementos del sistema. Quedando finalmente, la red completa para su posterior tratamiento y análisis.

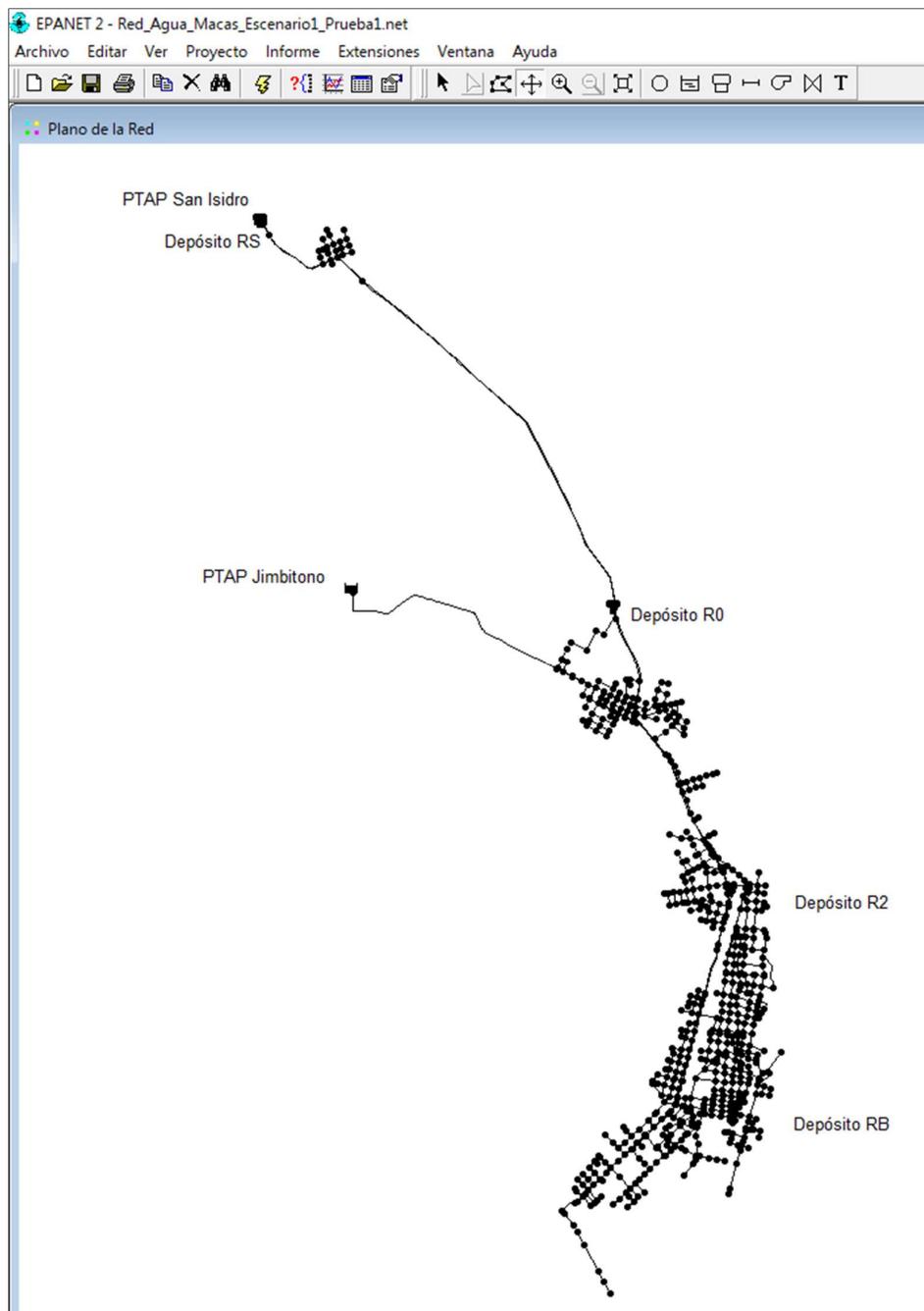


Figura 51. Ubicación de embalses y depósitos en red de Epanet.

5.3 ASIGNACIÓN DE CONSUMOS, FUGAS Y PATRÓN DE DEMANDA

Para la asignación de consumos se parte de la premisa de que existen en el sistema 6,702 acometidas habilitadas, tal como se describe en el tema 5.1.3 del presente TFM. El caudal medio inyectado a la red es de 133.77 l/s según lo estimado en el punto 5.1.4. Para hacer una distribución lo más próxima a la realidad y dado que el sistema estudiado es pequeño, se plantea el conteo de viviendas por manzanas.

A estas viviendas se les asignará un caudal base debidamente establecido y, la suma total de sus caudales por manzanas se fijará a uno de los nodos de la red que encierra dicha manzana. Luego, una vez identificados los grandes consumidores o especiales, estos serán situados en los nodos de la red correspondientes. Las fugas se fijarán de acuerdo al balance hídrico y serán repartidas por igual en todos los nodos de la red representadas a través de un emisor.

5.3.1 Asignación de consumos

La asignación de consumos sigue el procedimiento que se describe a continuación:

1. Se propone el conteo de viviendas en cada una de las manzanas que conforma la red. Partiendo de un plano catastral proporcionado por la municipalidad, en el cual se tienen plenamente identificadas el número de plantas de cada una de las edificaciones, se realiza el conteo de casas.



Figura 52. Vista en planta de manzanas de la ciudad de Macas.

El sistema de notación que la municipalidad utiliza se basa en el sombreado con líneas o *hatch* que existe sobre cada edificación. Por ejemplo, si las líneas tienen una sola dirección, significa que esa vivienda es de una sola planta, y así hasta edificios de cuatro pisos los cuales tendrán líneas en cuatro direcciones. Para edificaciones de más de cuatro plantas se especifica el número en cada una de ellas mediante un número.

Por ejemplo, en la manzana M163, existen viviendas de distintas elevaciones, desde uno hasta ocho pisos de altura. Del conteo se tiene como resultado que en esta manzana existen en total de 29 edificaciones: 7 de una planta, 16 de dos, 4 de tres plantas, 1 de seis y 1 de ocho plantas. Cabe resaltar que para el conteo se realiza una estimación visual preliminar, ya que aquellas edificaciones muy pequeñas se las cataloga juntamente con de la vivienda más grande dentro del terreno con su respectiva clave catastral.



Figura 53. Vista en planta de manzana tipo de la ciudad de Macas.

En el *Anejo 01: Conteo de viviendas por manzanas*, se detalla el total de viviendas contadas dentro toda el área que abarca el sistema de agua de Macas. En total existen 477 manzanas, y 5,094 edificaciones.

- Ahora, entre el total de edificaciones se tiene que distribuir las acometidas existentes (6,702) para lo cual, se plantea la siguiente hipótesis: las viviendas entre una y dos plantas cuentan con un contador individual; es decir, tanto una vivienda de una planta como una de dos poseen un medidor de agua. Se realiza esta suposición en vista de que en la ciudad este tipo de viviendas es la que predomina y las familias tienden a vivir en casas bajas y aisladas y no en edificios o fincas. Para aquellas edificaciones de tres pisos en adelante se considera un contador por planta. De igual forma, se considera que en todos aquellos edificios que poseen más de tres plantas, existe además un medidor comercial. Por otro lado, las acometidas de los grandes consumidores fueron identificadas plenamente en la manzana correspondiente debido a que se posee la dirección exacta de su ubicación. De esta manera se obtiene la siguiente distribución:

Tabla 30. Número de abonados de acuerdo al tipo de acometida.

Tipo de acometida	Abonados
Doméstica	6,066
Comercial	407
Especiales	229
Total	6,702

Cuadrando así el total contado e identificado en cada una de las manzanas con lo registrado en el catastro de agua entregado por la DGAPA. En la siguiente figura se muestra un extracto del conteo de viviendas y su forma de clasificarlas. En el *Anejo 01: Conteo de viviendas por manzanas* se adjunta toda la demás información.

Tabla 31. Extracto de proceso de conteo de viviendas por manzana.

CONTEO DE EDIFICACIONES PLANO CATASTRAL PLANO 2019													
Manzana	1	2	3	4	5	6	7	8	Acometidas Domiciliarias	Acometidas comerciales	Acometidas especiales	Total por manzanas	
M1	8								8	0		8	
M2	7	2	1						12	1		13	
M3	11		1						14	1		15	
M4	15	2	2						23	2		25	
M5	15	1	1	1					23	2		25	
M6		1							1	0		1	
M7	4								4	0		4	
M8	2	1							3	0		3	
M9	7	3							10	0		10	
M10	1	2							3	0		3	
M11	6	3							9	0		9	
M12	3								3	0		3	
M13	6	2							8	0		8	
M14	10	3							13	0		13	
M15	9	5							14	0		14	

3. Se calcula el caudal total de las acometidas especiales. Dado que estas acometidas están plenamente ubicadas y se conoce su consumo, es fácil determinar su caudal total.

$$Q_{esp} = \sum_{1}^{n} q_{esp-i} \quad (10)$$

donde,

Q_{esp}: Total de los caudales especiales

q_{esp-i}: Caudal de cada una de las acometidas especiales identificadas y ubicadas

En la tabla 32 se presenta un extracto del análisis de cada una de las acometidas especiales. El cuadro total se encuentra en el *Anejo 02: Cálculo de caudales en acometidas especiales*, al final del documento.

Tabla 32. Extracto del proceso de conteo de acometidas especiales.

TIPO	INSTITUCIÓN	DIRECCIÓN	m ³ /mes	l/s	NODO
O	CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA BENJAMIN CARRION NUCLEO DE MORONA SANTIAGO	/ 10 de Agosto y Soasti	161.00	0.0601	151
O	COORDINACION ZONAL 6 MAG	Centro De Comercialización / Pasaje Peatonal Nelson Erazo Entre Av. 29 De Mayo Y Kiruba	2.00	0.0007	129
O	COORDINACION ZONAL 6 MAG	Centro De Comercialización / Pasaje Peatonal Nelson Erazo	2.00	0.0007	129
O	DIRECCION GENERAL DE AVIACION CIVIL DIRECCION REGIONAL III	Torre De Control / Av. Rio Amazonas Y Mariscal Sucre	231.00	0.0862	456
O	DIRECCION PROVINCIAL AGROPECUARIA DE MORONA SANTIAGO	/ Av. Juan De La Cruz Entre Av. 29 De Mayo Y Guamote	55.00	0.0205	142
O	DIRECCION PROVINCIAL AGROPECUARIA DE MORONA SANTIAGO	/ Av. Juan De La Cruz Y Guamote	27.00	0.0101	142
O	DIRECCIÓN PROVINCIAL DEL AMBIENTE DE MORONA SANTIAGO	/ Av. Juan De La Cruz Entre Av. 29 De Mayo Y Guamote	6.00	0.0022	142
O	GOBERNACION PROVINCIAL DE MORONA SANTIAGO	/ Av. 29 De Mayo Entre Kiruba Y Av. Rio Amazonas	18.00	0.0067	129
M	GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	Bateria Sanitaria Municipal / Domingo Comín Entre Guamote Y Av. Rio Amazonas	228.00	0.0851	169
M	GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	/ Guamote Y 10 De Agosto	5.00	0.0019	149
M	GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	Mercado Nuevo / Domingo Comín Y Guamote	485.00	0.1811	149
M	GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	Centro Comercial Municipal / Domingo Comín Y Av. Rio Amazonas	481.00	0.1796	162
M	GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	(Salón Terminal T.) / 10 De Agosto Y Av. Rio Amazonas	155.00	0.0579	162
M	GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	Local Comercial / Tarqui Entre Soasti Y Av. Rio Amazonas	43.00	0.0161	151
M	GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	Mercado Viejo / Domingo Comín Entre Guamote Y Av. Rio Amazonas	422.00	0.1576	162

De la suma de todos los caudales especiales se obtiene que:

$$Q_{esp} = 10.82 \text{ l/s}$$

- Determinación de los caudales por acometida. Una vez que se tiene los caudales especiales y del balance hídrico realizado se puede determinar el caudal por acometida de la siguiente manera:

$$Q_{inyectado} = 133.77 \text{ l/s}$$

$$Q_{fugado} = 56.68 \text{ l/s}$$

$$Q_{especiales} = 10.82 \text{ l/s}$$

$$Q_{acometidas} = 66.27 \text{ l/s}$$

Ahora, dado que existen en total entre domésticas y comerciales 6,473 acometidas, el caudal correspondiente a cada una de ellas es:

$$q_{acometida} = 0.01024 \text{ l/s}$$

Esto se multiplica por el número de viviendas por manzana, se le suma el respectivo caudal especial si corresponde y finalmente ese total se asigna al nodo más cercano. La tabla 33 y el *Anejo 03: Resumen asignación de caudales*, muestran para cada uno de los nodos que comprende el modelo las demandas asignadas.

Tabla 33. Proceso de asignación de caudales a los nodos de la red.

MANZANA	TOTAL ACOMETIDAS NORMALES	CAUDAL ACOMETIDA l/s	CAUDAL ESPECIALES l/s	CAUDAL MANZANA l/s	NODO
M1	8	0.01024	0.0000	0.0819	580
M2	13	0.01024	0.0000	0.1331	581
M3	15	0.01024	0.0000	0.1536	587
M4	25	0.01024	0.0000	0.2559	588
M5	25	0.01024	0.0000	0.2559	589
M6	1	0.01024	0.5944	0.6046	590
M7	4	0.01024	0.0000	0.0410	601
M8	3	0.01024	0.0000	0.0307	601
M9	10	0.01024	0.0000	0.1024	601
M10	3	0.01024	0.0000	0.0307	604
M11	9	0.01024	0.0000	0.0921	603
M12	3	0.01024	0.0000	0.0307	602
M13	8	0.01024	0.0000	0.0819	599
M14	13	0.01024	0.0000	0.1331	599
M15	14	0.01024	0.0000	0.1433	599

Finalmente, esta información es introducida en Epanet 2.0 utilizando a través del block de notas del archivo *.inp*. Así, los nodos ya quedan editados con su respectiva demanda base tal como se muestra en la figura 54.

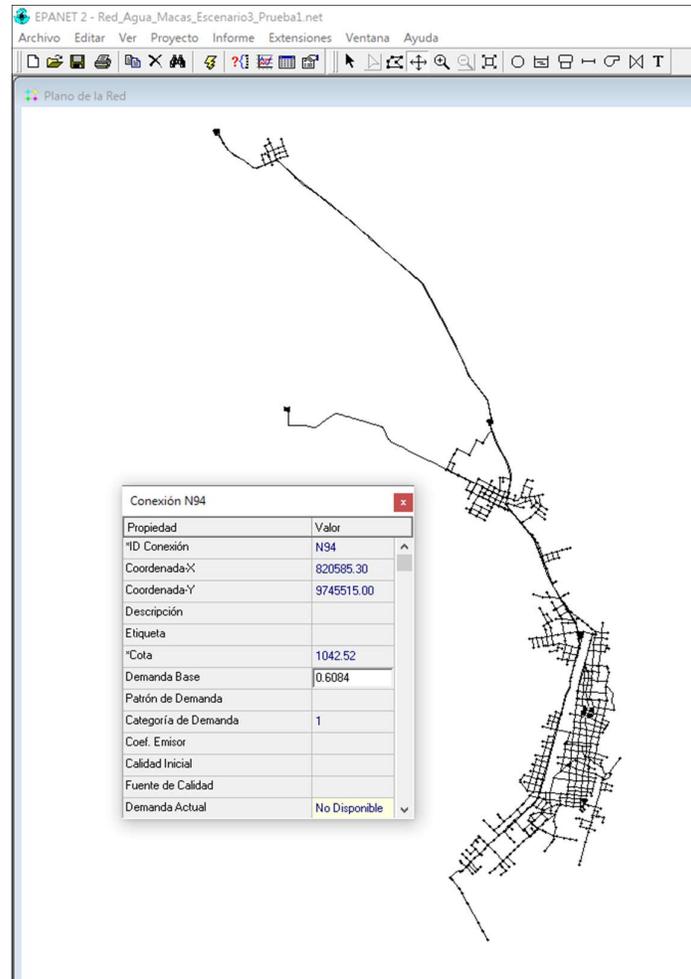


Figura 54. Red en Epanet con demanda base en los nodos.

5.3.2 Fugas

En el presente modelo, las fugas fueron consideradas dependientes de la presión y se representaron a través de un emisor. El emisor en Epanet 2.0 queda representado por la siguiente ecuación:

$$q_i = C_{emisor,i} P_i^n \quad (11)$$

donde,

- q: Caudal fugado en nodo
- Ce: Coeficiente emisor del nodo
- P: Presión en el nodo
- n: Exponente de los emisores

Se ha considerado para la elaboración del modelo, que el coeficiente emisor será el mismo para todos los nodos. Además, el exponente de los emisores empleado es el de 0.5, el valor que tiene por defecto el programa Epanet 2.0.

Conociendo que:

$$Q_{inyectado} = Q_{consumido} + Q_{fugado} \quad (12)$$

Y una vez ingresados los caudales consumidos al modelo, se puede por medio de iteraciones variar el coeficiente emisor hasta que el caudal inyectado sea igual al calculado (133.77 l/s). Este procedimiento ha sido realizado siguiendo los pasos:

1. Del modelo en el cual solo se han ingresado los consumos en cada nodo, obtener en Epanet 2.0 una tabla con las presiones de cada uno de ellos.
2. Obtener el promedio de dichas presiones y considerarla como la presión media.
3. A partir de conocer el número total de nodos y el caudal fugado determinar un valor aproximado del coeficiente emisor (C_e).

$$Q_{fugado} = \#Nodos C_{emisor} \sqrt{\bar{P}} \quad (13)$$

$$C_{emisor} = \frac{Q_{fugado}}{\#Nodos \sqrt{\bar{P}}} \quad (14)$$

4. Una vez calculado el coeficiente emisor inicial, éste será ingresado en todos los nodos de la red.
5. Obtener el valor del caudal inyectado en Epanet 2.0, contabilizando los caudales que atraviesan las líneas de alimentación al sistema.
6. Verificar que el caudal total que circula por el sistema se aproxime al que debe ser inyectado (133.77 l/s).
7. A partir del primer coeficiente emisor, ajustarlo hasta que el caudal que se encuentra en la red sea similar al que debe ser inyectado.

Las siguientes tablas (34 y 35) ilustran de mejor manera el cálculo del coeficiente emisor y el error entre el caudal inyectado en el modelo respecto al calculado.

Tabla 34. Cálculo inicial del coeficiente emisor.

Qfugado	56.68	l/s
P	52.11	mca
N	699	nodos
Ce	0.01123	

A partir de este primer cálculo se procede con las iteraciones en Epanet 2.0. La tabla 35 resume dichas iteraciones.

Tabla 35. Iteraciones para determinación del coeficiente emisor.

ITER	CE	Qinyectado	Qepanet	εrelativo
0	0.00000	133.77	77.09	42.37%
1	0.01123	133.77	130.15	2.71%
2	0.01140	133.77	130.92	2.13%
3	0.01160	133.77	131.80	1.47%
4	0.01200	133.77	133.60	0.13%
5	0.01204	133.77	133.77	0.00%

Por lo que el coeficiente emisor adoptado es:

$$C_{emisor} = 0.01204$$

5.3.3 Introducción del patrón de demanda

A partir del análisis realizado en el apartado 5.1.5 del presente informe en el cual se determina la curva de consumo de la población de la ciudad de Macas, se elabora e ingresa en Epanet 2.0 el patrón de la demanda.

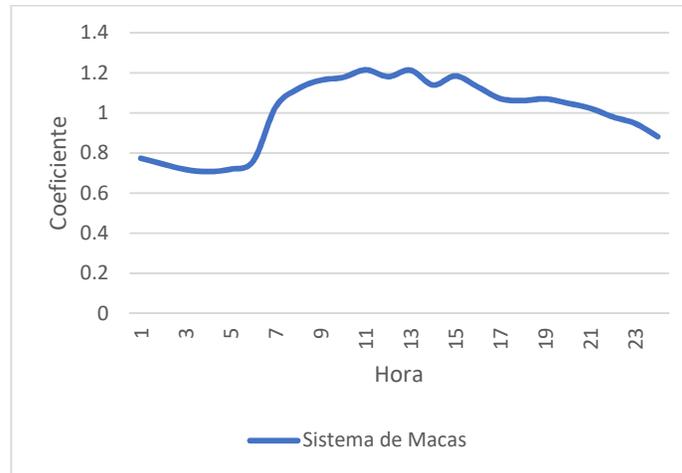


Figura 55. Patrón de demanda calculado.

Como puede observarse, los consumos mínimos se producen en la madrugada, mientras que los máximos se dan alrededor del mediodía. A partir de las 16:00 h el consumo se reduce tendiendo a ser menor cada vez durante la noche. El patrón de demanda introducido en Epanet 2.0 se muestra en la figura 56.

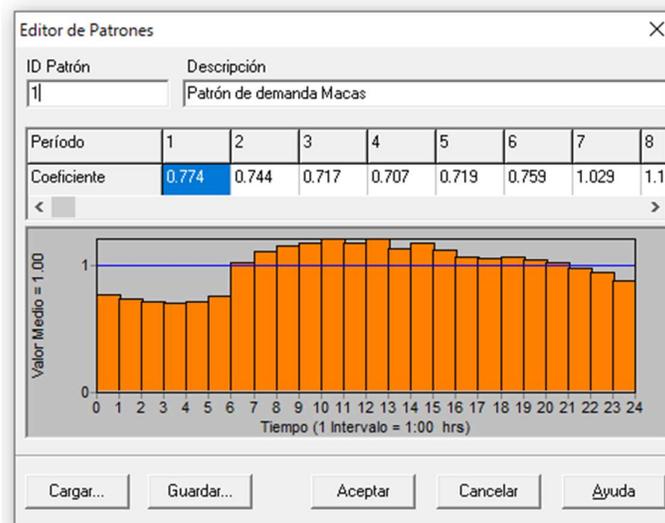


Figura 56. Patrón de demanda de Macas en Epanet.

5.4 MODELO MATEMÁTICO

Una vez con todos los datos ingresados al modelo, se procede a la resolución computacional del mismo. La figura 57 muestra la resolución del modelo una vez ingresados todos los datos necesarios para su modelación.

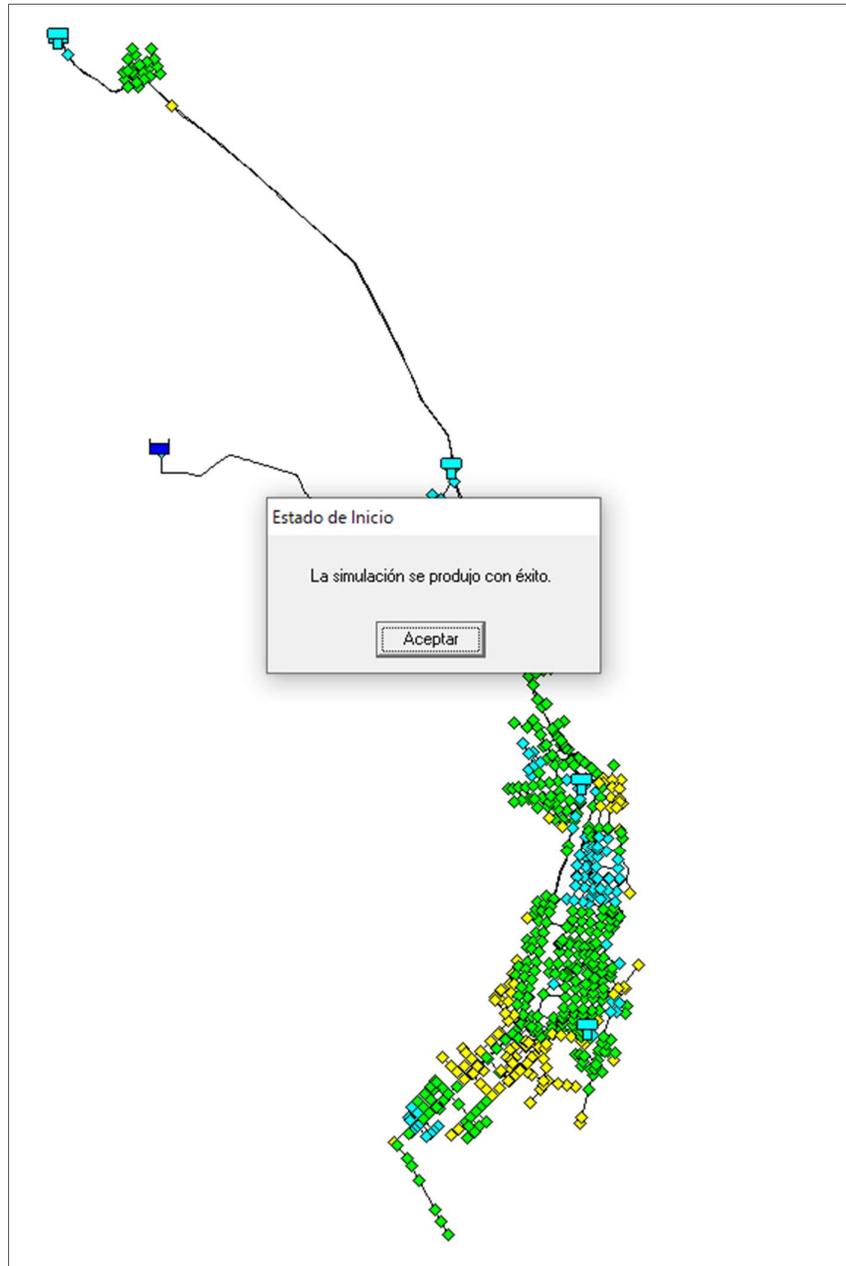


Figura 57. Modelo matemático de la red Macas.

Una vez realizada la simulación, se comprueba si el sistema representa la realidad. En primera instancia, debido al número limitado de puntos en los que se realizaron lecturas de presión, se procede a verificar la similitud del modelo al comparar el caudal inyectado

desde las plantas de tratamiento. Esto se realizó debido a que se conoce que cada una de las plantas tiene una producción promedio de 80 l/s y 60 l/s.

Del análisis de caudales a la salida de las plantas, se puede observar que los mismos no se aproximan a la realidad. Figuras 58 y 59.



Figura 58. Caudal a la salida de la PTAP de San Isidro. Modelo inicial.

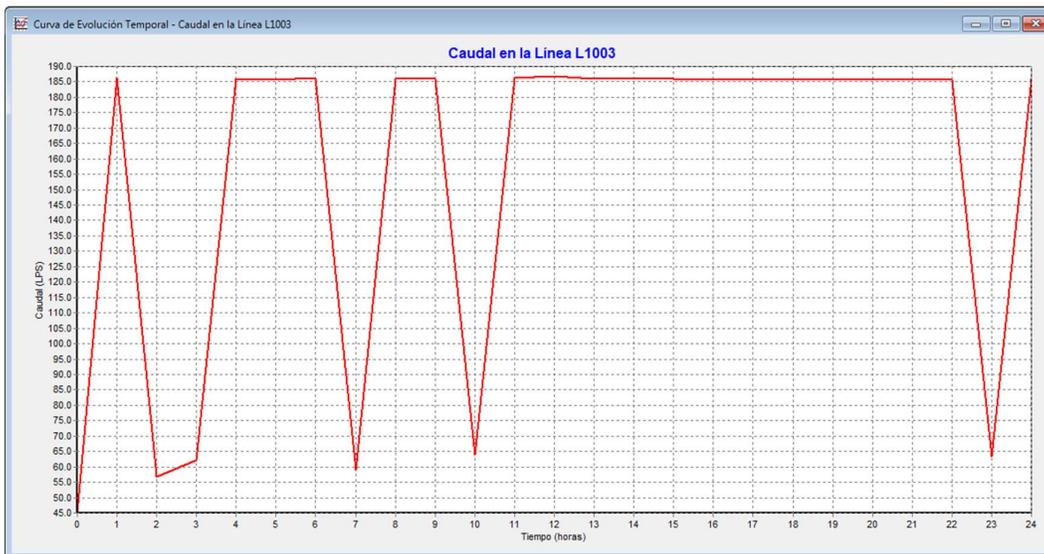


Figura 59. Caudal a la salida de la PTAP de Jimbitono. Modelo inicial.

De acuerdo al modelo inicial, el caudal de la planta de San Isidro varía desde los 5 l/s hasta valores superiores a 100 l/s (ver figura 58), cuando el máximo caudal (sumando ambas líneas) debería rondar los 80 l/s. De la misma manera, la planta de Jimbitono de

acuerdo a esta configuración inyecta a la red caudales que van desde los 60 l/s hasta 185 l/s (ver figura 59), valor muy diferente al real. La planta de Jimbitono debe producir alrededor de 60 l/s en la mayor parte del tiempo.

Este tipo de inconsistencias, hacen que se analice y se prevea replantear la configuración del modelo. Se realizaron diversas pruebas y entre las cuales se destacan las siguientes combinaciones:

- Modelo 1. Prescindir del depósito RS en la planta de San Isidro.
- Modelo 2. Prescindir del depósito RS. VRC en depósito R0.
- Modelo 3. Prescindir del depósito RS. VRC en depósito R0. Colocación de embalse en R2.
- Modelo 4. Prescindir del depósito RS. VRC en depósito R0. Colocación de embalse en R2. VLC en R2.
- Modelo 5. Prescindir del depósito RS. Embalse en R0. Colocación de embalse en R2. VLC en R2, etc.

De todas posibles configuraciones, la que mejor resultado y aproximación con la realidad del caudal inyectado, fue aquella en la que se suprimieron los depósitos intermedios. Esto se decidió al notar que los mismos no realizan un almacenamiento como tal, sino cumplen una función de tanques amortiguadores. Además, no se cuenta con valores de niveles de en los tanques ya que los mismos no son monitorizados. Por tal motivo, en vez de depósitos, se colocaron válvulas de rotura de carga VRC. Verificando que la presión de salida se aproxime a lo que sucedería si se encontrara un depósito lleno.

Analizando los caudales de dicha configuración se obtuvo que en promedio el caudal de la planta de San Isidro se encuentra en torno a los 71 l/s. Asimismo, la producción media de la planta de Jimbitono se encuentra alrededor de 63 l/s, es decir valores más reales (ver figuras 60 y 61).

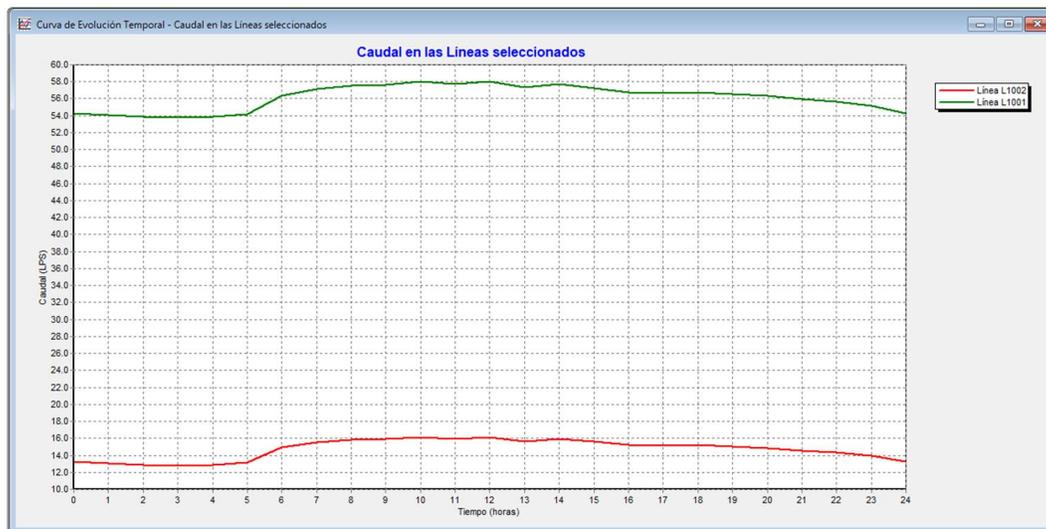


Figura 60. Caudal a la salida de la PTAP de San Isidro. Modelo modificado.



Figura 61. Caudal a la salida de la PTAP de Jimbitono. Modelo modificado.

El tener controlada la inyección de caudal a partir de dos entradas, obviando los depósitos intermedios supone un reto al momento de realizar los diferentes análisis y balances de agua. Sin embargo, proporcionan para este caso en particular valores más lógicos los cuales tratan de aproximarse de la mejor manera al comportamiento habitual del sistema.

5.5 REAJUSTE DE COEFICIENTE EMISOR

Al cambiar la configuración del modelo, utilizando válvulas de rotura de carga (VRC) para simular el comportamiento de los depósitos intermedios, es necesario ajustar el coeficiente emisor de fugas. Para lo cual, se parte del valor ya calculado en el apartado 5.3.2 del presente TFM.

Por medio de iteraciones, se comprueba que el caudal a la salida de las plantas en términos medios sea en total de 133.77 l/s. Este proceso dio como resultado el siguiente valor para el coeficiente emisor:

$$C_{emisor} = 0.01236$$

Éste es el valor con el cual se trabaja para en modelo definitivo.

5.6 CALIBRACIÓN DEL MODELO

La calibración es un proceso por el cual se realiza un ajuste fino del modelo. A través de pequeñas modificaciones de los datos de entrada (rugosidades, pérdidas menores, modificación de consumos, etc.), se pretende de cierta forma aproximarse lo máximo posible a la realidad. [15] Calibrar un modelo es en resumen contrastar los resultados de

la simulación con las mediciones realizadas en campo. [16] Las principales variables de comparación son presiones, caudales y concentración de contaminantes.

Epanet 2.0 permite mediante la utilización de gráficos que se superponen tener una visualización de los datos simulados y medidos. Además, mediante informes de calibración se pueden obtener estadísticas, gráficos de correlación y comparación de valores medidos. [15] Aprovechando estas ventajas, es posible realizar ajustes paulatinos y acercarse a la realidad.

Para el ajuste del presente modelo se cuenta con valores de presiones en ciertos puntos de la red y con datos de caudal a la salida del depósito R2 al norte de la ciudad. La obtención y tratamiento de estos datos fue expuesta en capítulos anteriores del presente TFM. A continuación, se muestran en resumen dichos valores.

Tabla 36. Caudales a la salida del depósito R2. 250 mm y 350 mm.

Línea	L851	Línea	L1011
Hora	Caudal (l/s)	Hora	Caudal (l/s)
0:00	17.40	0:00	48.36
1:00	17.13	1:00	45.94
2:00	16.21	2:00	44.75
3:00	16.42	3:00	43.49
4:00	17.03	4:00	43.67
5:00	17.27	5:00	47.19
6:00	20.03	6:00	67.96
7:00	20.93	7:00	74.78
8:00	22.26	8:00	77.22
9:00	21.34	9:00	79.13
10:00	22.32	10:00	81.42
11:00	21.94	11:00	78.99
12:00	22.14	12:00	81.44
13:00	21.33	13:00	75.98
14:00	22.14	14:00	79.01
15:00	21.68	15:00	74.80
16:00	21.15	16:00	70.49
17:00	20.52	17:00	70.24
18:00	20.82	18:00	70.67
19:00	20.68	19:00	68.99
20:00	19.96	20:00	67.57
21:00	19.48	21:00	64.32
22:00	18.96	22:00	62.04
23:00	18.43	23:00	56.93



Tabla 37. Presiones en la red.

Nodo	N154												
Hora	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	24:00
Presión (mca)	31.66	33.07	32.36	28.85	25.33	23.92	22.51	23.92	25.33	26.03	26.73	29.55	32.36

Nodo	N267												
Hora	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	24:00
Presión (mca)	35.88	37.29	36.58	32.36	30.96	30.25	29.55	29.55	30.96	32.36	33.77	34.47	35.88

Nodo	N90												
Hora	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	24:00
Presión (mca)	37.29	38.70	39.40	35.18	32.36	31.66	30.96	30.96	32.36	33.07	33.77	35.18	36.58

Nodo	N191												
Hora	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	24:00
Presión (mca)	34.47	36.58	36.58	33.07	30.25	26.73	26.73	27.44	28.14	29.55	31.66	32.36	35.18

Nodo	N232												
Hora	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	24:00
Presión (mca)	46.43	47.84	47.14	43.62	40.81	38.7	38.7	39.4	40.81	42.21	43.62	45.03	47.14

Estas mediciones se introdujeron al modelo a través de un archivo de calibración. Los resultados de los valores observados y simulados se presentan en las siguientes figuras. Los datos marcados con una línea roja continua muestran los valores simulados, mientras que las marcas puntuales color verde muestran los valores observados.

Se presentan en primera instancia los resultados de los caudales. Figuras 62 y 63.

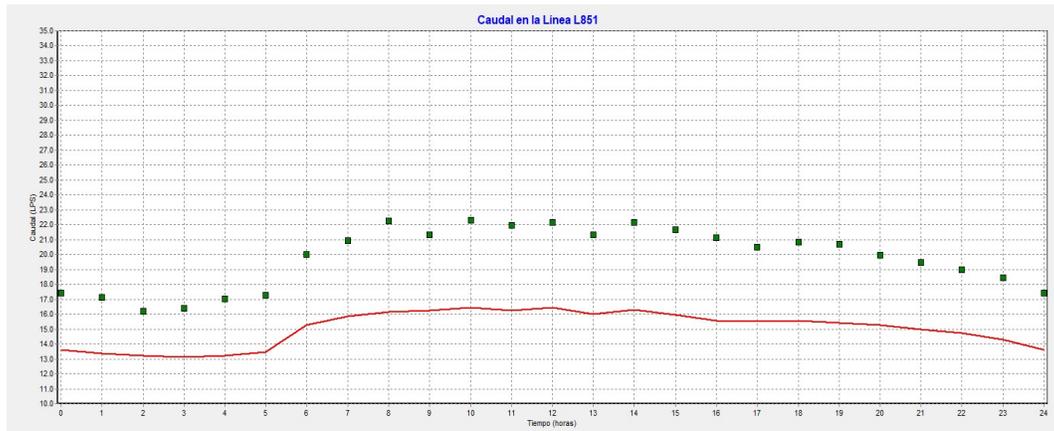


Figura 62. Caudales depósito R2. Tubería 250 mm.

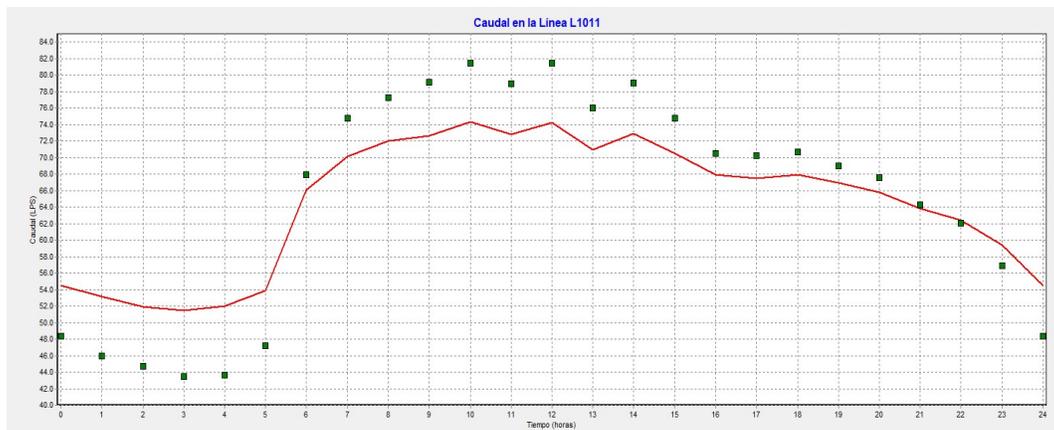


Figura 63. Caudales depósito R2. Tubería 350 mm.

Se presentan a continuación de las medidas de presión. Figuras 64 al 68.

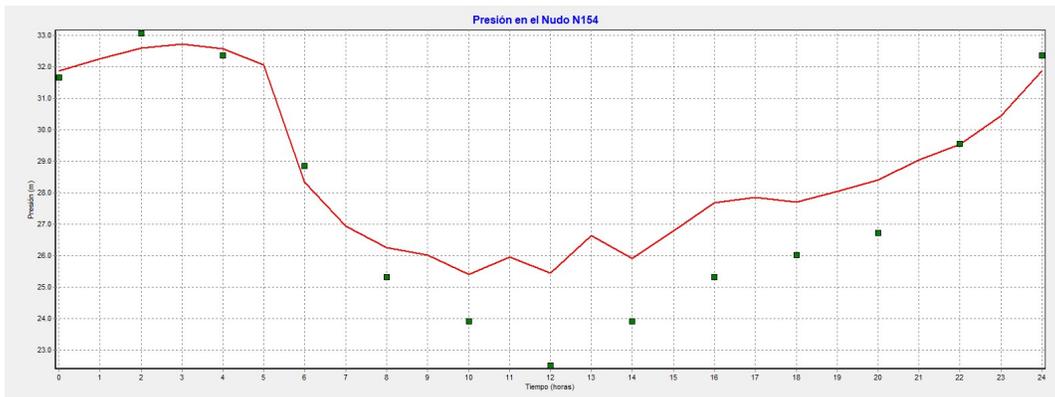


Figura 64. Presión en el nodo N154. Simulado y observado.

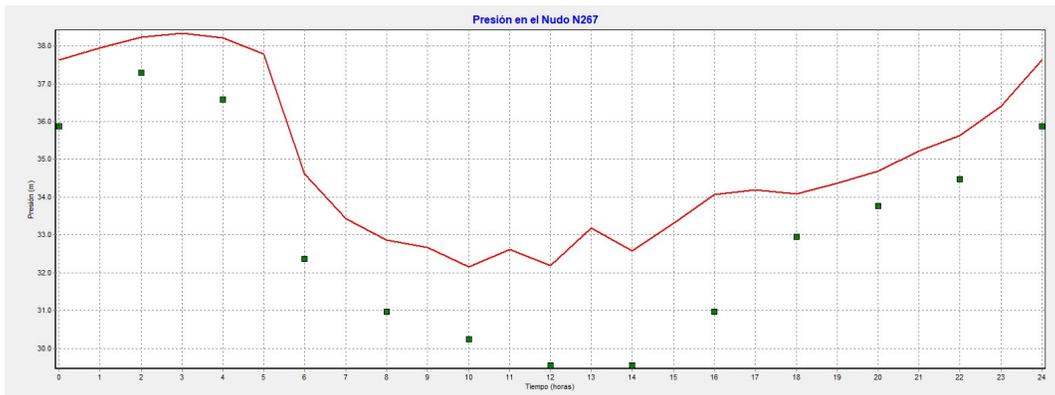


Figura 65. Presión en el nodo N267. Simulado y observado.

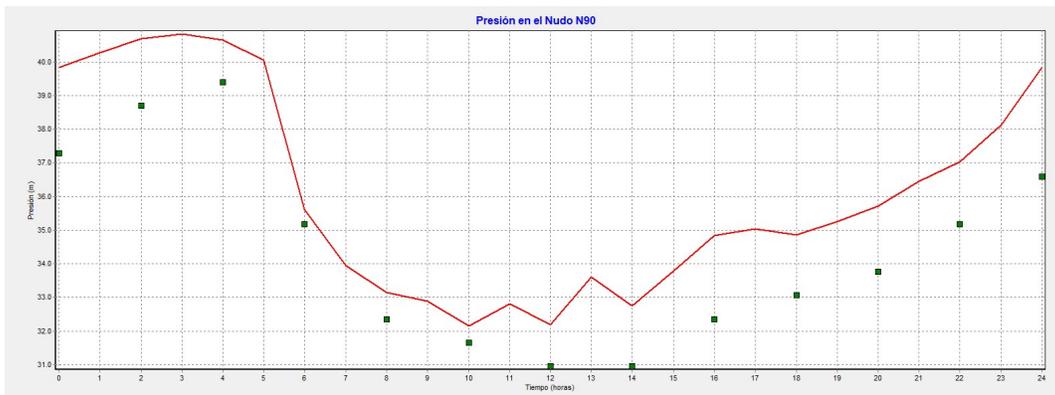


Figura 66. Presión en el nodo N90. Simulado y observado.

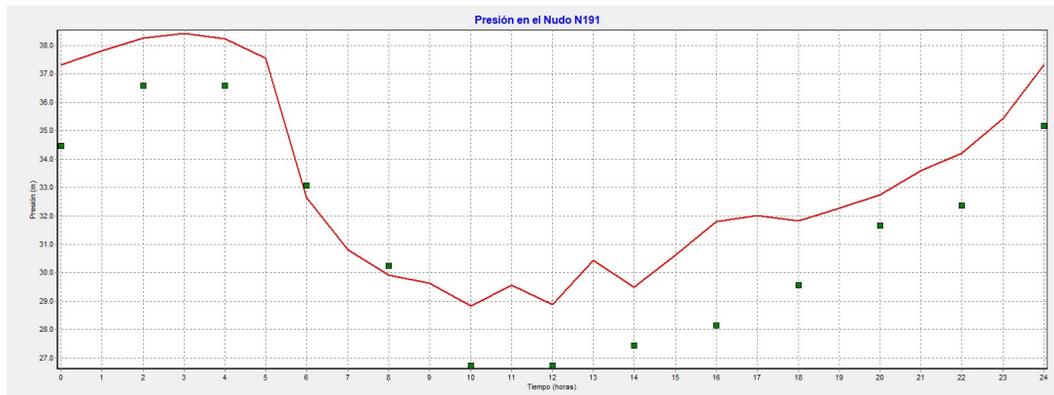


Figura 67. Presión en el nodo N191. Simulado y observado.

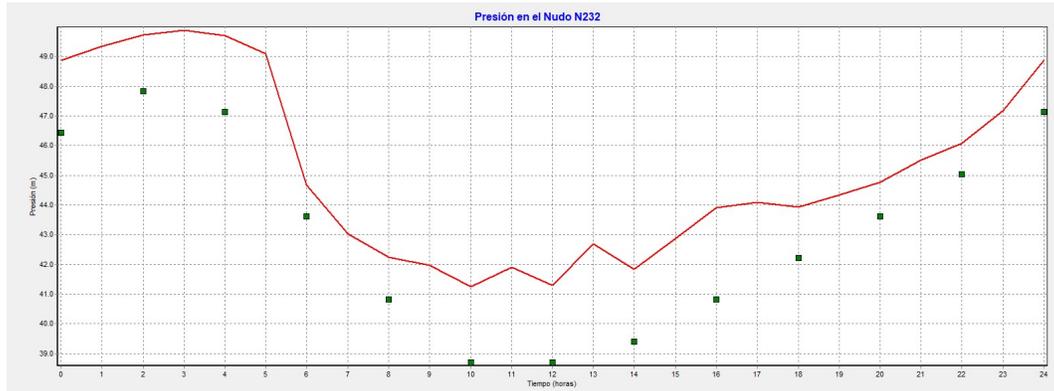


Figura 68. Presión en el nodo N232. Simulado y observado.

Como se observa, en términos generales los caudales simulados se encuentran por debajo de los caudales medidos. La mayor diferencia existe en la línea L851 correspondiente al caudalímetro de 250 mm. No obstante, en la línea L1011 correspondiente al caudalímetro de 350 mm se puede observar caudales menores especialmente en las horas de mayor consumo. En cuanto a las presiones medidas en ciertos nodos de la red, se puede observar que las mismas se encuentran por debajo de las presiones simuladas en prácticamente todos los casos.

La combinación de estas condiciones permite plantear que la estrategia de calibración de la red sea a través del ajuste del factor de demanda. Debido a que, si aumenta el factor de demanda, el caudal inyectado desde el depósito también lo hará. A la par, al aumentar los consumos, las presiones simuladas en los nodos disminuirán, ajustando así paulatinamente el sistema.



Para el ajuste del factor de demanda se parte de que el caudal total inyectado a lo largo del día siga la tendencia del patrón de consumo y que al final del día, el caudal simulado e inyectado sean los mismos. Es decir, realizar un balance entre caudales observados y simulados modificando iterativamente el factor de demanda hasta dar con el valor adecuado para que la diferencia entre ambos caudales sea cero.

El balance planteado tiene los siguientes pasos:

- Con el factor de demanda ($FD=1$) se obtiene la evolución temporal de los caudales de las dos líneas a la salida del depósito R2 donde fueron tomados los datos.
- Se obtienen tablas de los caudales a lo largo del día los cuales se suman y forman parte del componente simulado.
- A partir de los datos observados se obtiene en cada una de las horas la suma del caudal inyectado desde el depósito R2.
- Se realiza la diferencia entre los caudales simulados y observados en las respectivas horas.
- Se obtiene de aquella diferencia el total.
- Si la diferencia total es positiva, se aumenta el factor de demanda. Por el contrario, si es negativa, el factor debe ser reducido.
- Una vez el balance sea igual a cero, el factor de demanda ha sido ajustado.

En la siguiente tabla se muestra el proceso iterativo realizado.

Tabla 38. Proceso iterativo para determinación de factor de demanda.

Iteración 1		
FD	1.000	
Observado (l/s)	Simulado (l/s)	Diferencia (l/s)
65.76	68.44	-2.68
63.07	66.85	-3.78
60.96	65.42	-4.46
59.91	64.89	-4.98
60.71	65.53	-4.82
64.46	67.65	-3.19
87.99	81.71	6.28
95.71	86.36	9.35
99.48	88.53	10.95
100.47	89.24	11.23
103.74	91.14	12.60
100.93	89.43	11.50
103.58	91.04	12.54
97.31	87.32	9.99
101.15	89.59	11.56
96.48	86.81	9.67
91.64	83.86	7.78
90.76	83.35	7.41
91.49	83.81	7.68
89.67	82.69	6.98
87.53	81.4	6.13
83.80	79.19	4.61
81.00	77.49	3.51
75.36	74.06	1.30
Total	127.14	

Iteración 2		
FD	1.020	
Observado (l/s)	Simulado (l/s)	Diferencia (l/s)
65.76	69.26	-3.50
63.07	67.65	-4.58
60.96	66.18	-5.22
59.91	65.65	-5.74
60.71	66.29	-5.58
64.46	68.45	-3.99
87.99	82.77	5.22
95.71	87.49	8.22
99.48	89.69	9.79
100.47	90.41	10.06
103.74	92.35	11.39
100.93	90.62	10.31
103.58	92.25	11.33
97.31	88.46	8.85
101.15	90.78	10.37
96.48	87.96	8.52
91.64	84.95	6.69
90.76	84.44	6.32
91.49	84.9	6.59
89.67	83.76	5.91
87.53	82.46	5.07
83.80	80.2	3.60
81.00	78.47	2.53
75.36	74.97	0.39
Total	102.53	

Iteración 3		
FD	1.040	
Observado (l/s)	Simulado (l/s)	Diferencia (l/s)
65.76	70.07	-4.31
63.07	68.43	-5.36
60.96	66.94	-5.98
59.91	66.39	-6.48
60.71	67.05	-6.34
64.46	69.25	-4.79
87.99	83.82	4.17
95.71	88.62	7.09
99.48	90.87	8.61
100.47	91.6	8.87
103.74	93.56	10.18
100.93	91.8	9.13
103.58	93.45	10.13
97.31	89.61	7.70
101.15	91.96	9.19
96.48	89.09	7.39
91.64	86.05	5.59
90.76	85.51	5.25
91.49	85.99	5.50
89.67	84.83	4.84
87.53	83.5	4.03
83.80	81.21	2.59
81.00	79.44	1.56
75.36	75.89	-0.53
Total	78.01	

Iteración 4		
FD	1.060	
Observado (l/s)	Simulado (l/s)	Diferencia (l/s)
65.76	70.89	-5.13
63.07	69.21	-6.14
60.96	67.7	-6.74
59.91	67.14	-7.23
60.71	67.81	-7.10
64.46	70.05	-5.59
87.99	84.87	3.12
95.71	89.75	5.96
99.48	92.03	7.45
100.47	92.76	7.71
103.74	94.76	8.98
100.93	92.98	7.95
103.58	94.66	8.92
97.31	90.75	6.56
101.15	93.13	8.02
96.48	90.23	6.25
91.64	87.12	4.52
90.76	86.59	4.17
91.49	87.08	4.41
89.67	85.9	3.77
87.53	84.54	2.99
83.80	82.22	1.58
81.00	80.42	0.58
75.36	76.81	-1.45
Total	53.54	



Iteración 5		
FD	1.080	
Observado (l/s)	Simulado (l/s)	Diferencia (l/s)
65.76	71.7	-5.94
63.07	69.99	-6.92
60.96	68.46	-7.50
59.91	67.89	-7.98
60.71	68.58	-7.87
64.46	70.85	-6.39
87.99	85.91	2.08
95.71	90.87	4.84
99.48	93.18	6.30
100.47	93.93	6.54
103.74	95.95	7.79
100.93	94.15	6.78
103.58	95.85	7.73
97.31	91.9	5.41
101.15	94.31	6.84
96.48	91.36	5.12
91.64	88.21	3.43
90.76	87.67	3.09
91.49	88.15	3.34
89.67	86.95	2.72
87.53	85.58	1.95
83.80	83.22	0.58
81.00	81.39	-0.39
75.36	77.72	-2.36
Total		29.17

Iteración 6		
FD	1.100	
Observado (l/s)	Simulado (l/s)	Diferencia (l/s)
65.76	72.61	-6.85
63.07	70.88	-7.81
60.96	69.32	-8.36
59.91	68.74	-8.83
60.71	69.43	-8.72
64.46	71.75	-7.29
87.99	87.07	0.92
95.71	92.1	3.61
99.48	94.46	5.02
100.47	95.22	5.25
103.74	97.28	6.46
100.93	95.44	5.49
103.58	97.17	6.41
97.31	93.15	4.16
101.15	95.6	5.55
96.48	92.6	3.88
91.64	89.4	2.24
90.76	88.84	1.92
91.49	89.34	2.15
89.67	88.12	1.55
87.53	86.74	0.79
83.80	84.33	-0.53
81.00	82.47	-1.47
75.36	78.74	-3.38
Total		2.14

Iteración 7		
FD	1.105	
Observado (l/s)	Simulado (l/s)	Diferencia (l/s)
65.76	72.82	-7.06
63.07	71.07	-8.00
60.96	69.51	-8.55
59.91	68.93	-9.02
60.71	69.63	-8.92
64.46	71.95	-7.49
87.99	87.33	0.66
95.71	92.39	3.32
99.48	94.75	4.73
100.47	95.51	4.96
103.74	97.57	6.17
100.93	95.72	5.21
103.58	97.46	6.12
97.31	93.44	3.87
101.15	95.89	5.26
96.48	92.88	3.60
91.64	89.67	1.97
90.76	89.12	1.64
91.49	89.62	1.87
89.67	88.4	1.27
87.53	86.99	0.54
83.80	84.58	-0.78
81.00	82.71	-1.71
75.36	78.97	-3.61
Total		-3.97

Iteración 8		
FD	1.102	
Observado (l/s)	Simulado (l/s)	Diferencia (l/s)
65.76	72.69	-6.93
63.07	70.96	-7.89
60.96	69.4	-8.44
59.91	68.81	-8.90
60.71	69.51	-8.80
64.46	71.83	-7.37
87.99	87.17	0.82
95.71	92.22	3.49
99.48	94.57	4.91
100.47	95.34	5.13
103.74	97.39	6.35
100.93	95.55	5.38
103.58	97.29	6.29
97.31	93.25	4.06
101.15	95.71	5.44
96.48	92.71	3.77
91.64	89.51	2.13
90.76	88.96	1.80
91.49	89.46	2.03
89.67	88.24	1.43
87.53	86.84	0.69
83.80	84.43	-0.63
81.00	82.58	-1.58
75.36	78.83	-3.47
Total		-0.31

Una vez finalizadas las iteraciones, se obtuvo que un factor de demanda de 1.102 da un resultado satisfactorio. Luego, si se realiza un análisis tanto de los caudales inyectados en el depósito R2 como de las presiones, se puede observar que todos los resultados, especialmente el de presiones se ajustan de una mejor manera.

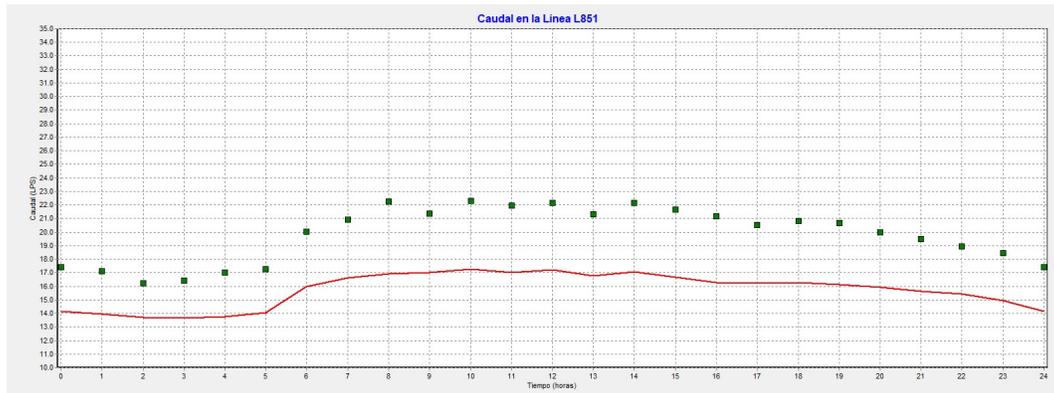


Figura 69. Caudales depósito R2. Tubería 250 mm. FD calibrado.

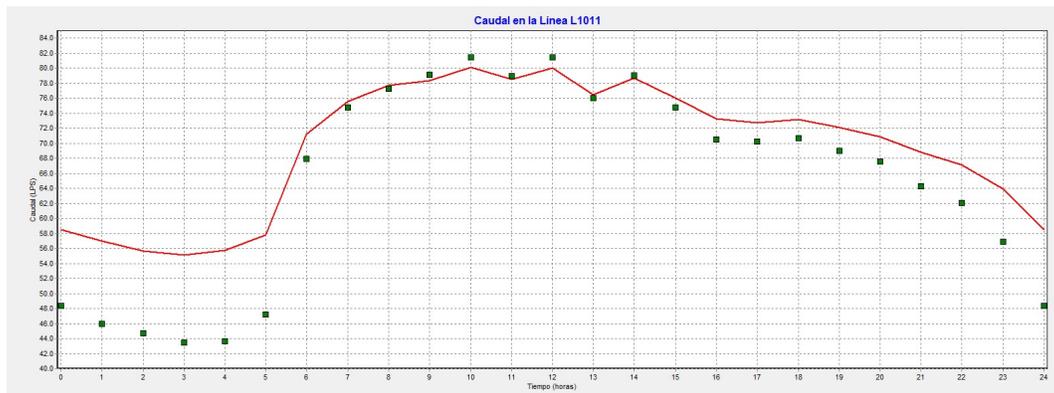


Figura 70. Caudales depósito R2. Tubería 350 mm. FD calibrado.

Se puede observar, que a pesar del ajuste la línea perteneciente al caudalímetro de 250 mm, todavía se encuentra por debajo de los valores observados, aunque sigue la tendencia. No obstante, en cuanto al caudalímetro de 350 mm se observa que el mismo se ha ajustado de una mejor manera respecto al modelo sin calibrar.

Ahora en cuanto a las presiones, las mismas como era de esperarse al aumentar el consumo, las presiones simuladas disminuirían pareciéndose aún más a los valores observados. Esto puede visualizarse de mejor manera por medio de las figuras que se presentan a continuación.

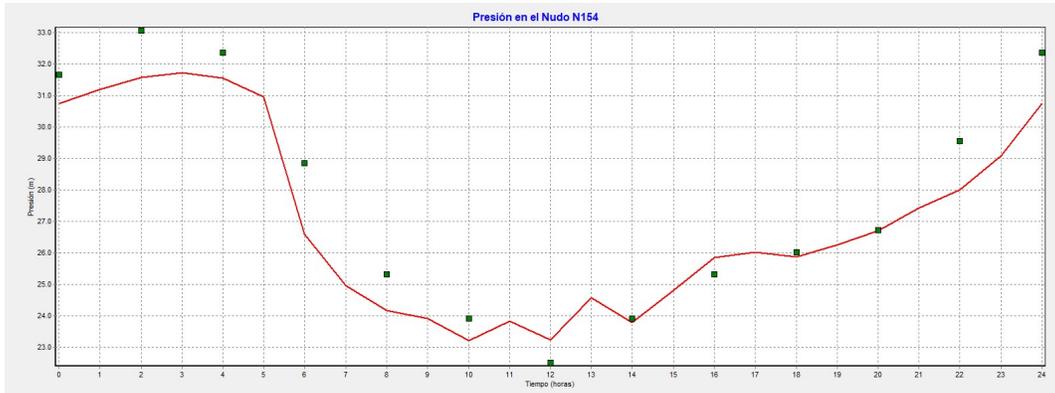


Figura 71. Presión en el nodo N154. Simulado y observado. FD calibrado.

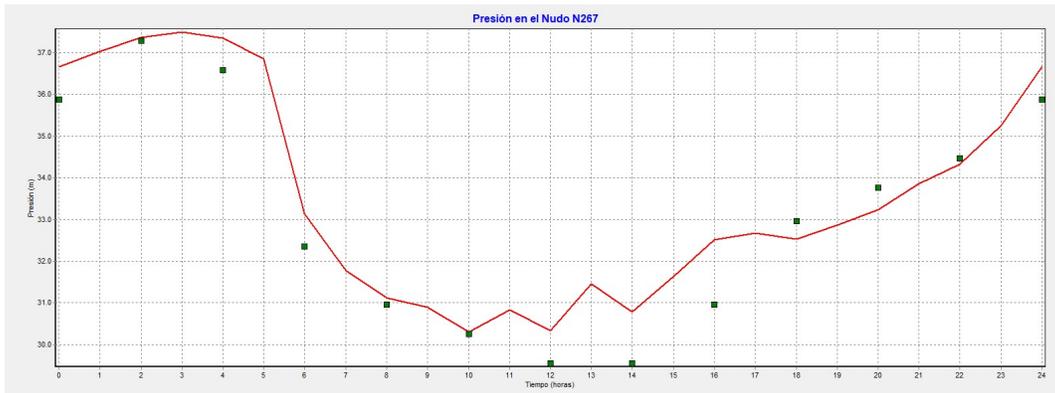


Figura 72. Presión en el nodo N267. Simulado y observado. FD calibrado.

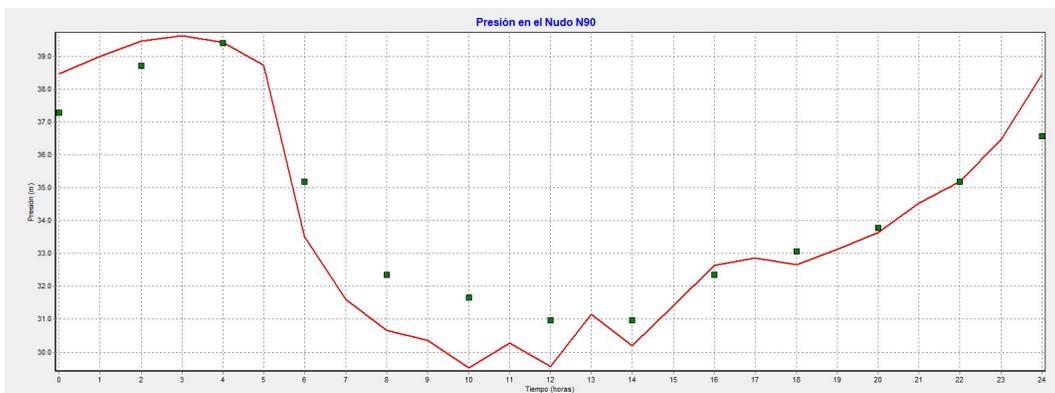


Figura 73. Presión en el nodo N90. Simulado y observado. FD calibrado.

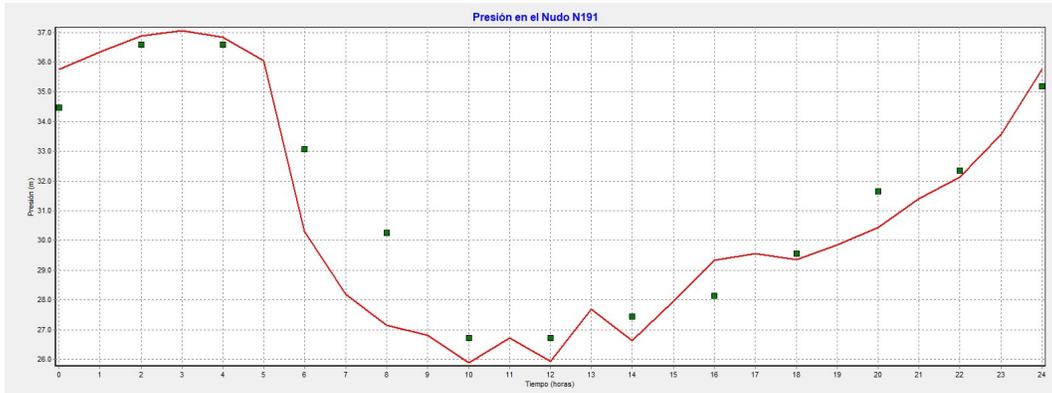


Figura 74. Presión en el nodo N191. Simulado y observado. FD calibrado.

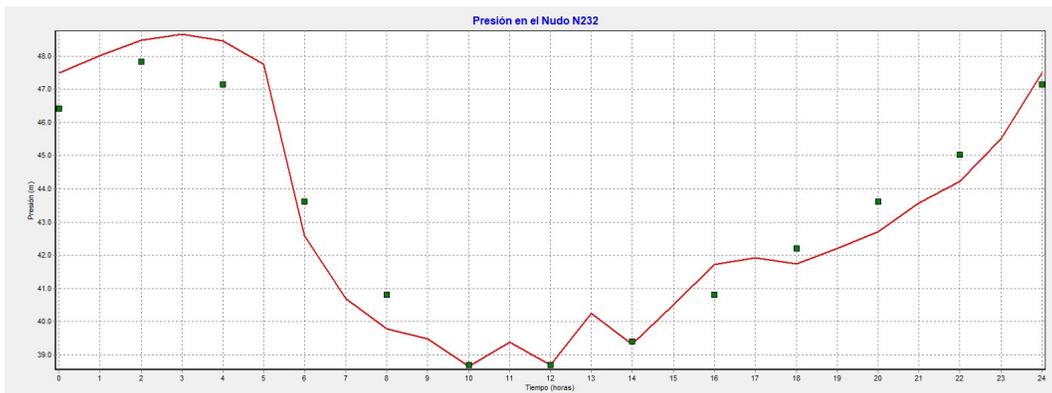


Figura 75. Presión en el nodo N232. Simulado y observado. FD calibrado.

Una vez realizado el ajuste del sistema, se verifica el caudal inyectado a la red. Este caudal ha aumentado ligeramente debido a que el factor de demanda también ha incrementado; por lo que si se revisa el caudal a la salida de las plantas potabilizadoras el caudal promedio inyectado a la red tiene un total de 140.79 l/s, valor coherente con el con el caudal de diseño total de las plantas (140 l/s).



CAPÍTULO 6
DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL, ANÁLISIS
Y RESULTADOS

6 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL, ANÁLISIS Y RESULTADOS

Es importante conocer el estado actual de la red para poder así detectar fallos y debilidades que pueda presentar el sistema. Este análisis nos proporciona una visión global de la red, y a través de la interpretación de resultados poder más adelante realizar propuestas de mejora para solventar los problemas identificados.

Dentro de este capítulo se analizarán cuatro parámetros en concreto: presiones, velocidades, caudales y pérdidas unitarias. Para lo cual se establecerán parámetros mínimos y máximos según corresponda, siguiendo los lineamientos establecidos en la normativa ecuatoriana o en caso de que no exista, valores propuestos por la normativa española. El estudio de máximos y mínimos será realizado considerando las horas valle y punta de acuerdo al patrón de demanda, que para la presente red es 03:00 h y 12:00 h respectivamente.

En cuanto a los parámetros analizados se tiene que:

Presiones (Norma CO 10.7 – 601)

- Mínimas: 10 mca
- Máximas: 50 mca

Velocidades (UNE – EN 805)

- Mínima: 0.5 m/s
- Máxima: 2.0 m/s

Caudales

- Orientativo. Indica líneas principales de conducción de agua.

Pérdidas unitarias

- Máxima: 15 m/km

6.1 PRESIONES

Como se menciona inicialmente, el análisis de presiones realizará siguiendo la normativa ecuatoriana: Norma CO 10.7 – 601 “*Abastecimiento de agua potable y eliminación de aguas residuales en el área urbana*” [17]. Dicha normativa establece que las presiones deberán estar entre los 10 y 50 mca.

Dado que las presiones máximas se presentan en hora valle y las mínimas en hora punta se presenta a continuación dos figuras con los valores de presiones, de manera que se tenga una idea ilustrativa de lo que sucede en el sistema.

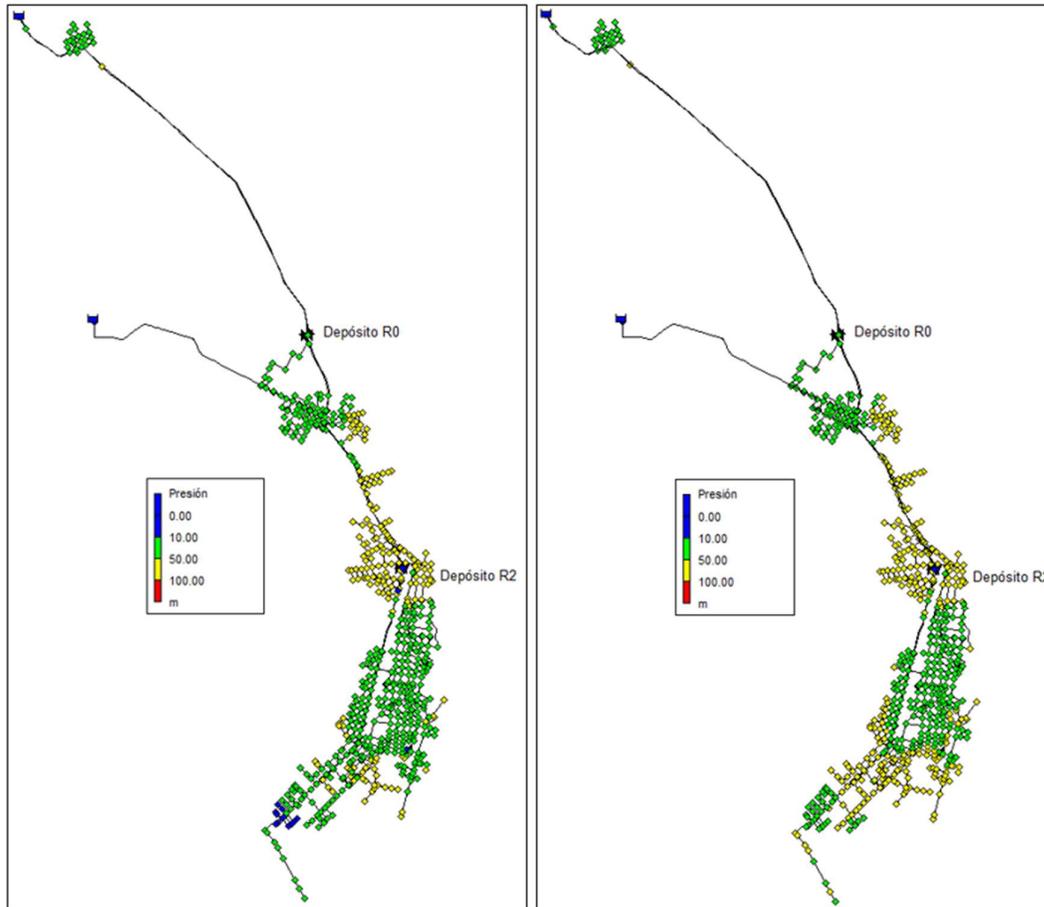


Figura 76. Izq: Presiones hora punta. Der: Presiones hora valle.

Visualmente se puede establecer que existen más problemas de presiones elevadas que de bajas. Dichas presiones elevadas se presentan en la zona norte y centro-sur de la ciudad específicamente. Esto se debe a que desde el depósito R0 se conduce y distribuye agua directamente al norte de la ciudad y la diferencia de cotas entre R0 y el norte de la ciudad es alta. De la misma forma, el agua que sale directamente desde la PTAP de Jimbitono y parte del agua del depósito R0 llega hasta el depósito R2, el cual actúa como tanque amortiguador; razón por la cual, desde R2 hasta el centro de la ciudad, las presiones se mantienen en su mayoría dentro del rango de 10 y 50 mca. Sin embargo, a medida que se gana desnivel al sur de la ciudad aumenta la presión en la red.

Por otro lado, aquellos puntos que se encuentran por debajo de los 10 mca, corresponden a ciertos nodos justo a la salida de los depósitos donde es normal que existan presiones bajas ya que dependen de los niveles del tanque y debido a que el sistema trabaja enteramente a gravedad. Por último, aquellos pocos nodos que también presentan presiones inferiores a los 10 mca son puntos alejados de la red y cuyos diámetros de tuberías son muy pequeños.

Del análisis de presiones en los diferentes puntos se puede obtener la siguiente tabla:

Tabla 39. Presiones en los nodos. Hora valle y punta.

Hora	Nodos		
	Presiones < 10 mca	Presiones 10 < P < 50	Presiones > 50 mca
Valle	7	383	309
	1.00%	54.79%	44.21%
Punta	23	477	199
	3.29%	68.24%	28.47%

Como es de esperar, la mayoría de las sobrepresiones se producen en hora valle, mientras que presiones bajas se producen en hora punta. No obstante, a pesar de existen presiones menores a los 10 mca éstas se encuentran en una proporción baja en comparación de las presiones normales y superiores. Tomando como valores extremos las presiones bajas a la hora punta y las presiones altas en las horas valle, podemos decir que la mayoría de nodos del sistema se encuentran dentro del rango permitido a lo largo del día.

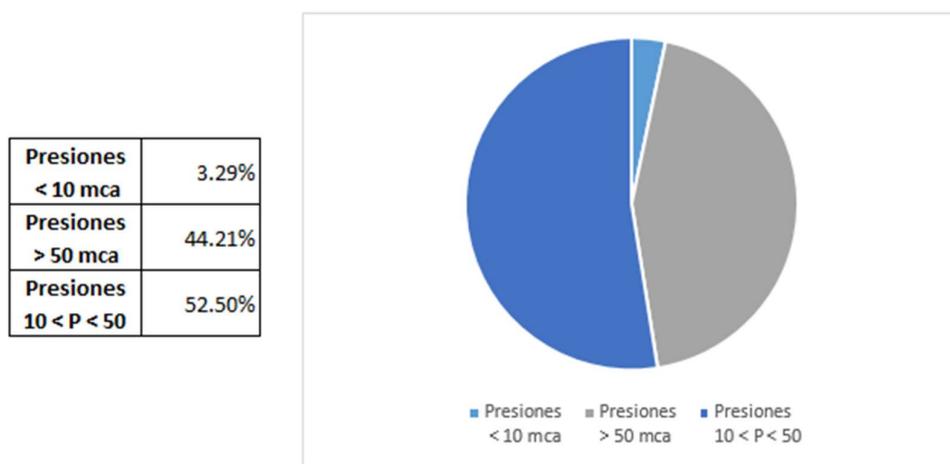


Figura 77. Presiones en los nodos. Hora valle y punta.

Como puede observarse, existe una gran proporción de puntos con presiones elevadas. Es por este motivo, que las acciones que se pretendan tomar, deberán estar enfocadas en ese sentido: reducir presiones. Ya que, si se reducen las mismas, además de dar un servicio adecuado a los usuarios, se reducirá el nivel de fugas del sistema el cual se encuentra ligado directamente con la presión.

6.2 VELOCIDADES

En cuanto al rango de velocidades, la normativa ecuatoriana recomienda que las mismas se encuentren en torno a 1.5 m/s [17]; sin embargo, la misma no establece valores mínimos ni máximos. Tomando en cuenta la normativa UNE EN 805, la cual propone rangos de velocidades entre 0.5 m/s y 2.0 m/s se presenta la siguiente figura. Tomando, al igual que las presiones las horas representativas: valle y punta en la que se debe encontrar los valores extremos.

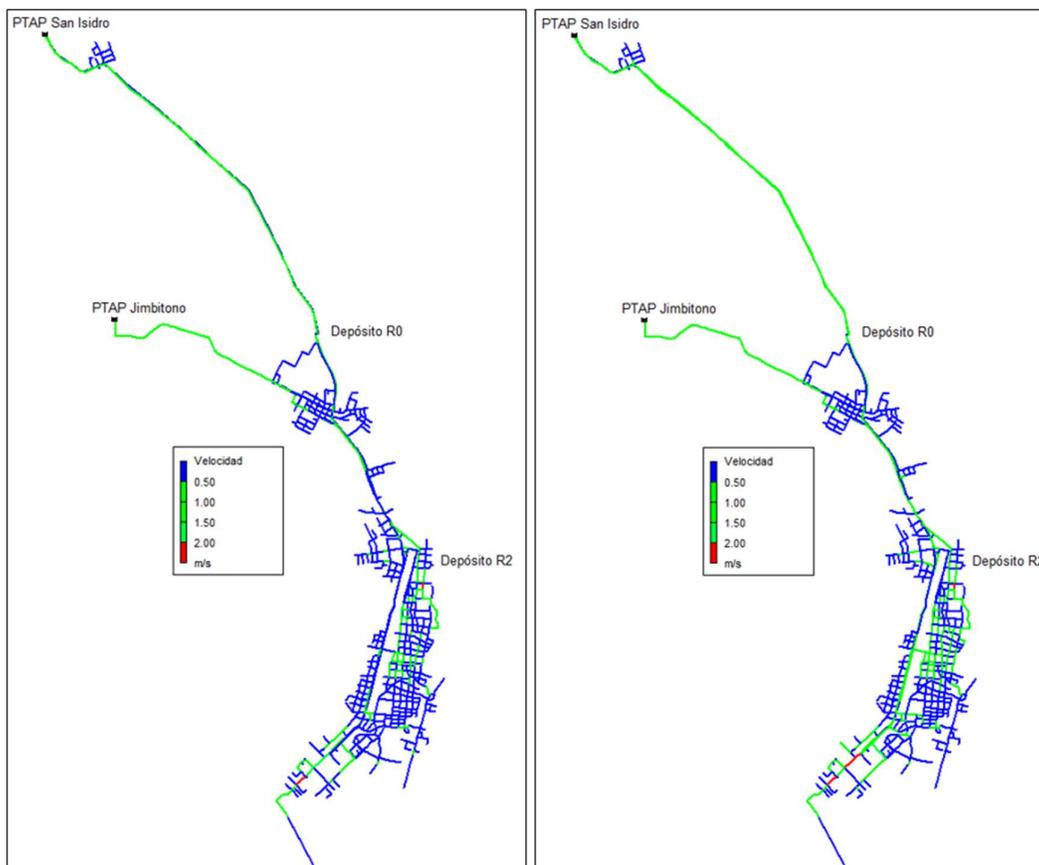


Figura 78. Izq: Velocidades hora valle. Der: Velocidades hora punta.

Como puede observarse, en la gran mayoría de los casos, para los dos escenarios priman velocidades por debajo de los 0.5 m/s. Cabe recalcar, que aquellas tuberías de conducción desde las plantas de tratamiento hasta los diferentes depósitos sí cumplen con las velocidades recomendadas. Existen apenas tres tramos de la red en la que las velocidades sobrepasan los 2.0 m/s.

En la siguiente tabla y figura se sintetiza el porcentaje de tuberías de la red que cumplen con el rango de velocidades planteadas.

Tabla 40. Velocidades en la red. Hora valle y punta.

Hora	Kilómetros de tubería		
	Velocidades < 0.5 m/s	Velocidades 0.5 < V < 2.0	Velocidades > 2.0 m/s
Valle	88.14	30.58	0.32
	74.04%	25.69%	0.27%
Punta	71.73	46.65	0.68
	60.25%	39.18%	0.57%

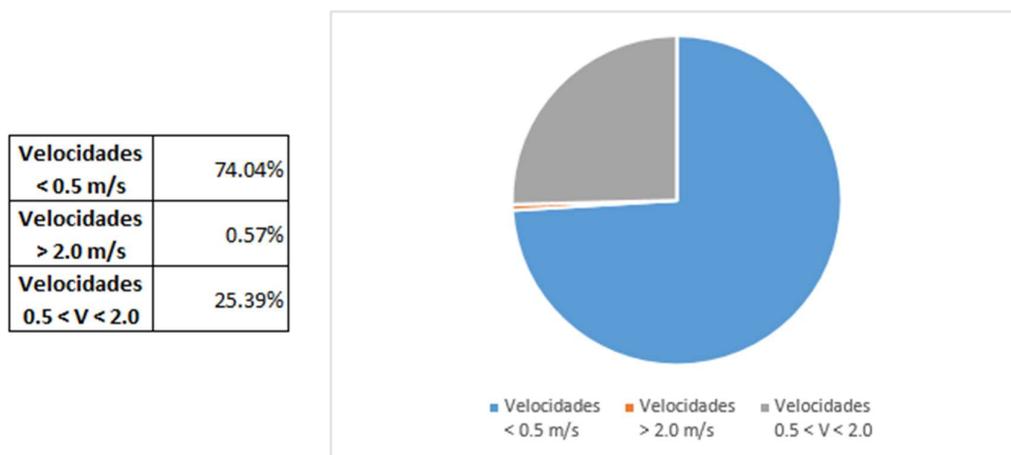


Figura 79. Velocidades en la red. Hora valle y punta.

Como puede observarse, tan solo el 25% de la red cumple con el rango de velocidades. El mayor problema se encuentra en cuanto a velocidades mínimas se refiere ya que éstas representan el 74% de la red. Mientras que velocidades que sobrepasen los 2.0 m/s apenas existen (menos del 1%). Centrándose en el mayor problema, que son las velocidades bajas, se puede decir que las mismas acarrearán problemas de sedimentación, tiempo de permanencia elevados y por ende deterioro en la calidad del agua [15].

No obstante, a medida que los consumos aumenten a lo largo de la vida útil del sistema también lo harán las velocidades. Podría hablarse también al observar velocidades tan bajas de una infrautilización de la tubería; sin embargo, la normativa ecuatoriana no permite en general para el área urbana tuberías menores a 63 mm y son estas las que están instaladas en su mayoría dentro de la red.

Cabe recalcar, que la presencia de velocidades bajas dentro del modelo no significa que la red se encuentre en malas condiciones como tal. Estos valores de velocidades son producto de la asignación y distribución de los consumos de forma homogénea. En la práctica habrá momentos en los cuales los consumos sean más concentrados en ciertas zonas, haciendo que las velocidades que aparentemente se encuentran bajas, aumenten a rangos razonables.

6.3 CAUDALES

Analizar los caudales permite conocer cuáles son las tuberías principales dentro de la red. Identificarlas ayuda a la gestión del sistema, ya que por medio del modelo se conoce a ciencia cierta cuales con las redes arteriales del sistema y sobre las cuales se debería tener un control meticuroso, porque de ellas depende el funcionamiento de todo el sistema.

En la figura 86 se presenta de manera gráfica cuales son las tuberías que transportan mayor caudal dentro del sistema. Se ha analizado sólo la hora punta debido a que es aquella cuando el caudal circulante es mayor.

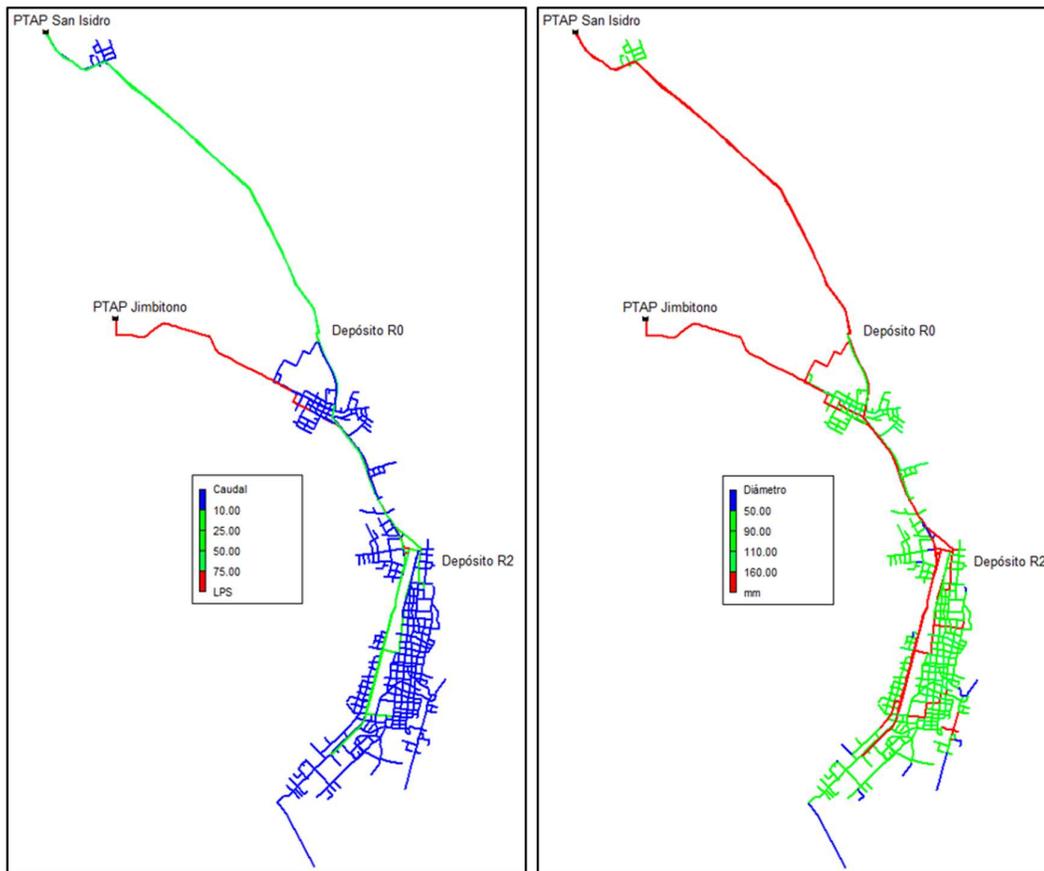


Figura 80. Izq: Caudales en la red. Der: Diámetro de la red.

Como era de esperar, en hora punta se conducen los mayores caudales. Las tuberías principales son aquellas que conducen el agua desde las plantas de tratamiento hasta los distintos depósitos y puntos de la red. Además, se puede apreciar que las tuberías que parten del depósito R2 y van hacia el sur de la ciudad también conducen más caudal en comparación con las tuberías transversales. De igual forma se puede apreciar que las tuberías que van mayormente cargadas son las que poseen un diámetro superior en comparación con las demás.

6.4 PÉRDIDAS UNITARIAS

Las pérdidas unitarias son las pérdidas de presión que se producen en una tubería por unidad de longitud, como consecuencia de la fricción del fluido con las paredes que lo confinan. Este análisis se realiza con el objetivo de identificar tuberías que actúan como cuello de botella disipando energía, también permite identificar tramos de red con diámetros infradimensionados. Valores entre 5 y 15 m/km son aceptables dentro de cualquier sistema de abastecimiento de agua.

La figura 81 que se muestra a continuación presenta los valores de pérdidas unitarias de la red. Se puede observar en color rojo que existen varios tramos de red que sobrepasan este límite.

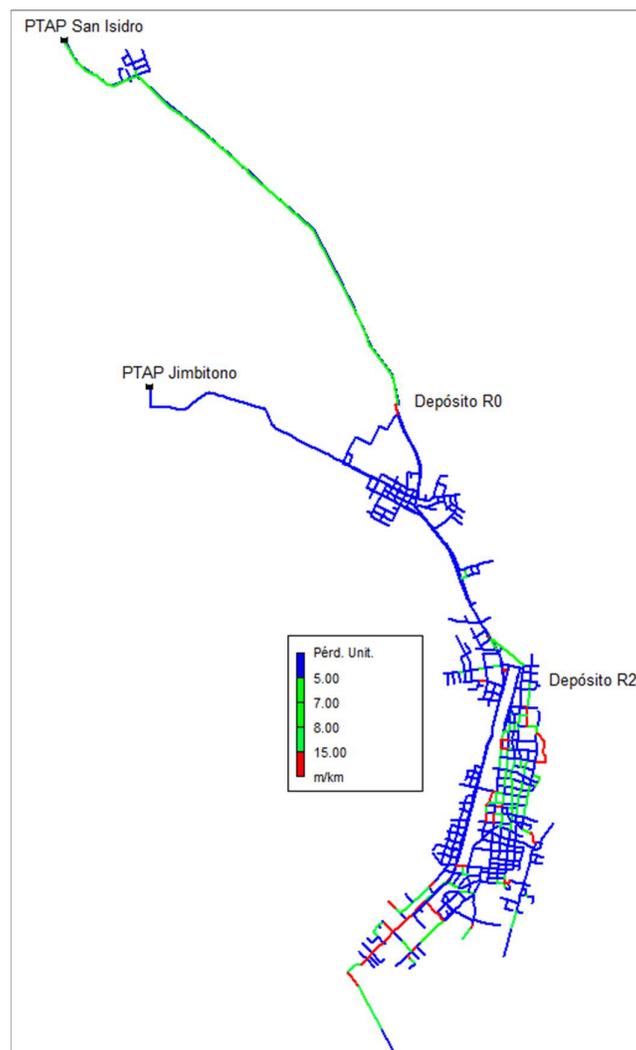


Figura 81. Pérdidas unitarias en la red.

Dentro del sistema de agua potable de Macas se ha identificado que existen varios tramos cuyas pérdidas unitarias sobrepasan los límites recomendados. Estos tramos deberán ser

analizados y posiblemente modificados en la propuesta de mejora, ya sea cambiando diámetros o reconectándolos y modificando su configuración.

Como se puede observar en la figura 82 el 94% de las tuberías presentan pérdidas unitarias inferiores a 15 m/km; el 6% restante presenta pérdidas unitarias mayores. Debe considerarse también que debido a que la modelación de la red sustituye los depósitos con válvulas de rotura de carga éstas son contabilizadas y presentan grandes pérdidas.

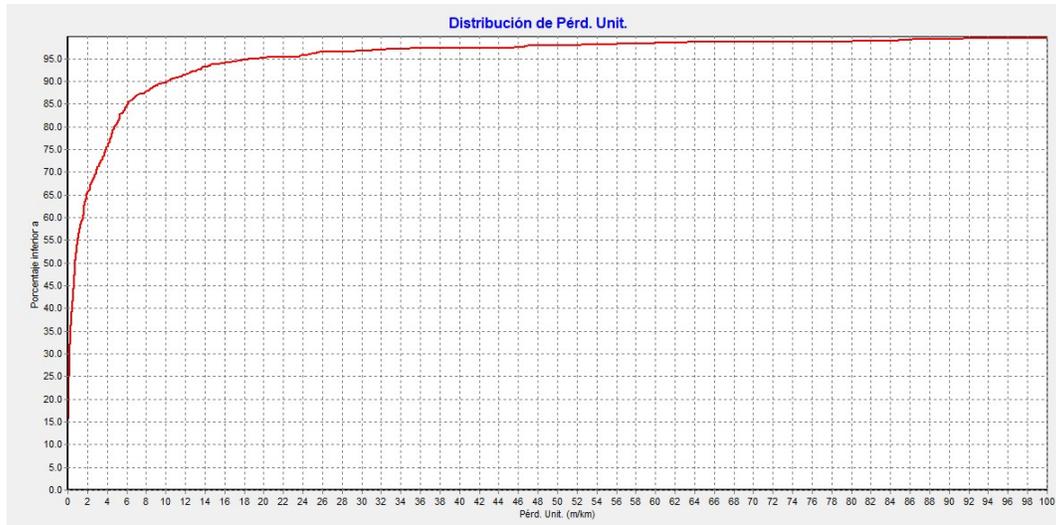


Figura 82. Frecuencia de pérdidas unitarias en la red.

6.5 ANÁLISIS DE PLIEGO TARIFARIO Y COSTE DEL AGUA EN EL SISTEMA

De acuerdo a información proporcionada por la DGAPA, el sistema de agua de la ciudad de Macas se basa en una tarifa escalonada [18]. Esta tarifa depende del tipo de consumidor que se categorice, así como de la cantidad de metros cúbicos de agua consumida.

El pliego tarifario vigente sigue dicha configuración y el mismo se encuentra en fase de revisión. En la tabla 41, se presenta el pliego tarifario actual. (Valores en dólares estadounidenses)

Como puede observarse consumos hasta de 10 m³ no presentan coste, es decir se subsidia gran parte del agua que se consume. Razón por la cual, la DGAPA ha realizado un estudio de consultoría para poder determinar un nuevo pliego tarifario, de manera técnica y que cubra realmente los costes que implican tener un servicio de agua potable.

Tabla 41. Pliego tarifario 2017

CATEGORIA	RANGOS DE CONSUMO m ³	CARGO FIJO	CARGO VARIABLE x m ³
Residencial	0-10	1.50	0.00
	>10-35	1.50	0.18
	>35-50	1.50	0.21
	>50 en adelante	1.50	0.24
Comercial	0-10	1.50	0.00
	>10-35	1.50	0.18
	>35-50	1.50	0.21
	>50 en adelante	1.50	0.24
Especial	De 0 en adelante	0.75	0.10
Industrial	De 0 en adelante	4.00	0.24
Oficial	De 0 en adelante	4.00	0.24

De dicho estudio, en función de los gastos directos e indirectos y los volúmenes de producción se ha obtenido valores de los costes reales de producción de agua [18]. Dichos valores corresponden a años pasados y a proyecciones de acuerdo a planes y obras presupuestadas para los próximos cinco años. Dichos valores se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 42. Estudio de coste de m³ de agua

Costo medio volumétrico de agua potable						
Año	Costos Directos Mensuales AP	Costos Inversión Mensuales AP	Volumen de Agua Tratada (m ³)	% AP No Contabilizada ANC	(100% - ANC)	Costo Medio Volumétrico Mensual AP
2016	77,333.04	50,264.75	3,942,000	35%	65%	0.60
2017	40,135.07	50,772.57	4,218,829	35%	65%	0.40
2018	34,050.10	30,102.17	3,602,806	35%	65%	0.33
2019	34,731.10	43,057.31	3,602,806	35%	65%	0.40
2020	35,425.72	43,671.39	3,602,806	35%	65%	0.41
2021	36,134.23	44,297.76	3,602,806	35%	65%	0.41
2022	36,856.92	32,583.55	3,602,806	35%	65%	0.36
2023	37,594.06	45,588.32	3,602,806	35%	65%	0.43

Si se realiza un promedio de los costes medios volumétricos mensuales de agua potable se obtiene que el coste por metro cúbico es de \$ **0.42**. Este valor es el que se tomará como base para cualquier análisis económico que se realice al momento del planteamiento de la mejora al sistema.

De acuerdo al modelo calibrado, el mismo que se ha presentado al final del capítulo 5 se puede obtener los siguientes datos para un análisis económico inicial. En el cual se

establece el coste de producción de agua de un año tipo y el coste que implicarían las fugas del sistema. Se presenta este análisis para poder más adelante compararlo al momento de implementar las mejoras del sistema.

Del modelo calibrado se obtiene que:

Q inyectado = 140.79 l/s
Q consumido = 84.95 l/s
Q fugado = 55.84 l/s

Esto llevado a términos anuales tenemos que:

Tabla 43. Volúmenes de agua y costes en el sistema calibrado.

Volúmenes	Unidad	Total	Coste Unitario	Coste Total
Inyectado	m ³ /año	4,439,953	0.42	1,864,780
Consumido	m ³ /año	2,678,983	0.42	1,125,173
Fugado	m ³ /año	1,760,970	0.42	739,608

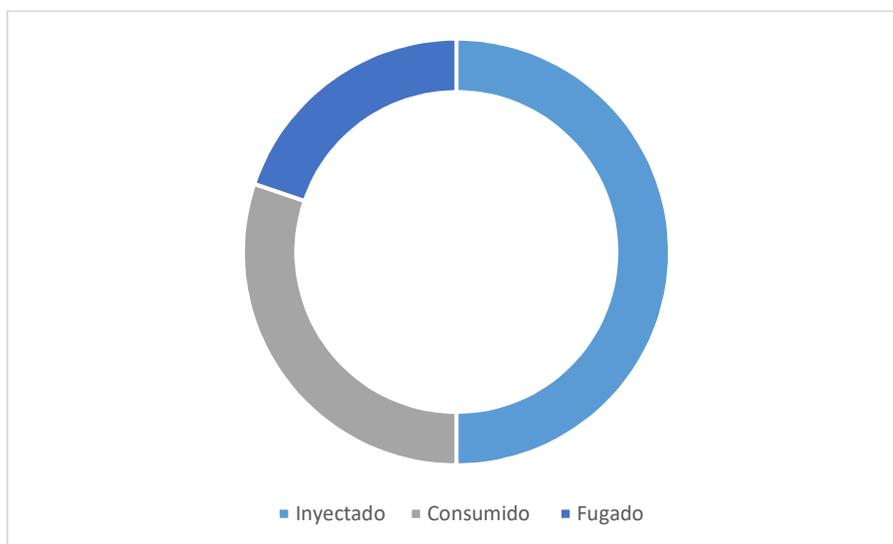


Figura 83. Volúmenes de agua y costes en el sistema calibrado.

Como puede observarse producto del agua fugada se pierde anualmente alrededor de \$ **739,608** dólares. Esta cifra puede verse reducida si se tomasen medidas correctivas al momento de la gestión del sistema.



CAPÍTULO 7

PROPUESTAS DE MEJORA

7 PROPUESTAS DE MEJORA

De acuerdo con la *Guía para la reducción de las pérdidas de agua* [19], la gestión de la presión puede definirse como “la práctica de manejar presiones a niveles óptimos de servicio asegurando suministro suficiente y eficiente para usos y consumos legítimos, a la vez que se reduce las presiones excesivas o innecesarias, y se elimina las transiciones y los controles de nivel defectuosos, todo lo cual hace que el sistema de distribución fuge innecesariamente”. Por tal motivo en el presente TFM, las propuestas de mejora se basan en acciones que permitan gestionar de mejor manera la presión. De esta forma se puede proporcionar un servicio adecuado a los usuarios y se reducirían los niveles de agua fugada.

Las acciones a tomar son tres:

- Garantizar presiones mínimas, en lo posible por encima de los 10 mca de acuerdo a lo establecido en la normativa ecuatoriana. Para alcanzar este objetivo se pretende realizar sectorizaciones, reconexiones y redirecciones del flujo.
- Garantizar presiones máximas, tomando como límite los 50 mca de la normativa. [17] Para esto se buscará que la sectorización se realice por pisos de presión y el control de presiones máximas se realizará con el uso de válvulas reductoras de presión.
- Reducción de fugas en el sistema, estableciendo presiones homogéneas dentro de los límites permitidos. Control activo de fugas.

7.1 SECTORIZACIÓN

Actualmente el sistema de agua de la ciudad de Macas no cuenta con ningún tipo de sectorización. La red se encuentra mallada y no existen válvulas de seccionamiento que aislen ciertas zonas de la red. Por tal motivo, en caso de avería lo habitual es cerrar las válvulas a las salidas de los depósitos o en su caso paralizar la producción de las plantas de potabilización.

Para la sectorización se han realizado las siguientes consideraciones:

- Determinar zonas en las que las cotas del terreno sean parecidas. Esto fue realizado con la ayuda de Epanet 2.0 y su opción generar contorno, en la cual por medio de una discretización se obtuvo las zonas o lugares donde el terreno tiene una elevación similar (ver figura 84).
- Buscar zonas en las que topológicamente sea posible realizar una sectorización. Es decir, lugares que puedan de alguna forma aislarse al cerrar o abrir tuberías.
- Realizar reconexiones o instalación de tuberías nuevas con la finalidad de aislar los sectores unos de otros.

7.1.1 Niveles de terreno similares

Este análisis permite de una manera global conocer cuáles podrían ser los sectores del sistema. Debido a que los puntos de inyección de agua son conocidos y la red funciona a gravedad se puede tener un primer acercamiento de cuales zonas tendrían presiones similares.

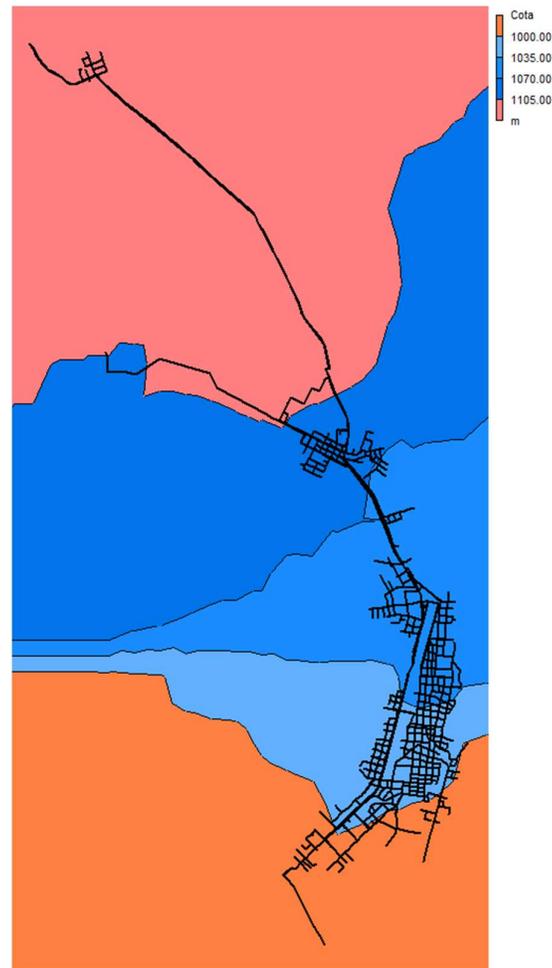


Figura 84. Mapa de contorno de elevaciones del terreno.

De acuerdo al mapa de contorno mostrado en la figura 84, es posible tener una idea de los lugares que podrían constituirse en sectores. Como puede observarse, el sur de la ciudad, el centro y norte por si solos podrían ser catalogados como sectores naturales. De igual forma Proaño y San Isidro al encontrarse más alejados y cercanos a las plantas de abastecimiento por si se encuentran en sectores independientes.

7.1.2 Zonas topológicamente posibles de sectorizar

Esta actividad ha sido realizada mediante el análisis de toda la red. Observando la configuración inicial del sistema. El objetivo es determinar qué tubería es la que abastece de forma directa cierto sector y cerrar aquéllas que se consideren secundarias. De tal

forma que se deje el número justo de ingresos de caudal al sector. Las tuberías cerradas serán tuberías de contingencia, las cuales podrían ser abiertas en caso de alguna avería.

Para poder sectorizar se han utilizado en total 40 válvulas de seccionamiento. De éstas, 32 se encuentran cerradas para generar los sectores y 8 son de operación, las cuales, junto a ciertas válvulas reductoras de presión, controlan el ingreso de agua hasta las zonas delimitadas. En el *Anejo 04*, se muestran los diferentes tipos de válvulas y su ubicación en los respectivos sectores de la red.

7.1.3 Reconexiones o conexiones nuevas

Se realizaron dentro del sistema ciertas reconexiones con el objetivo de aislar unos sectores de otros. Estas reconexiones se plantean en la zona norte y sur de la ciudad. En las figuras siguientes se muestran el lugar y tipo de reconexiones.

En la figura 85 se muestra la reconexión realizada para aislar el centro con el norte de la ciudad, permitiendo de esa manera tener dos sectores diferentes. El primero es alimentado por el depósito R0 que parte desde Proaño mientras que la zona central, que se logró independizar, es suplida por el depósito R2. Las nuevas conexiones se realizan sobre tubería de 63 mm y cuya longitud de reinstalación no superaría los 6 metros.

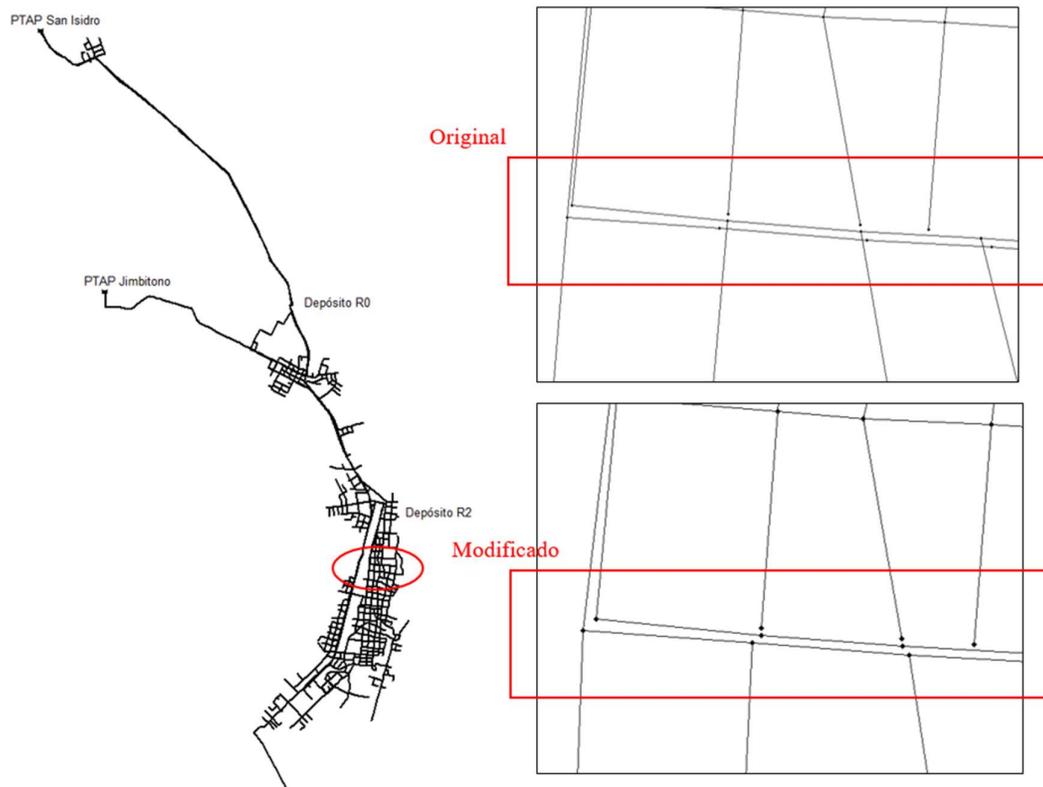


Figura 85. Reconexiones centro norte de la ciudad de Macas.

Las figuras 86 y 87 que se presentan a continuación, muestran una reconexión realizada al sur de la red de abastecimiento. La primera se realizó sobre tubería de 90 mm y permite independizar la zona correspondiente al sector del terminal de autobuses con el sur de la ciudad. Con el mismo objetivo se realizó la extensión de tubería de 63 mm desde el nodo N647 al N633 con una extensión de 100 metros.

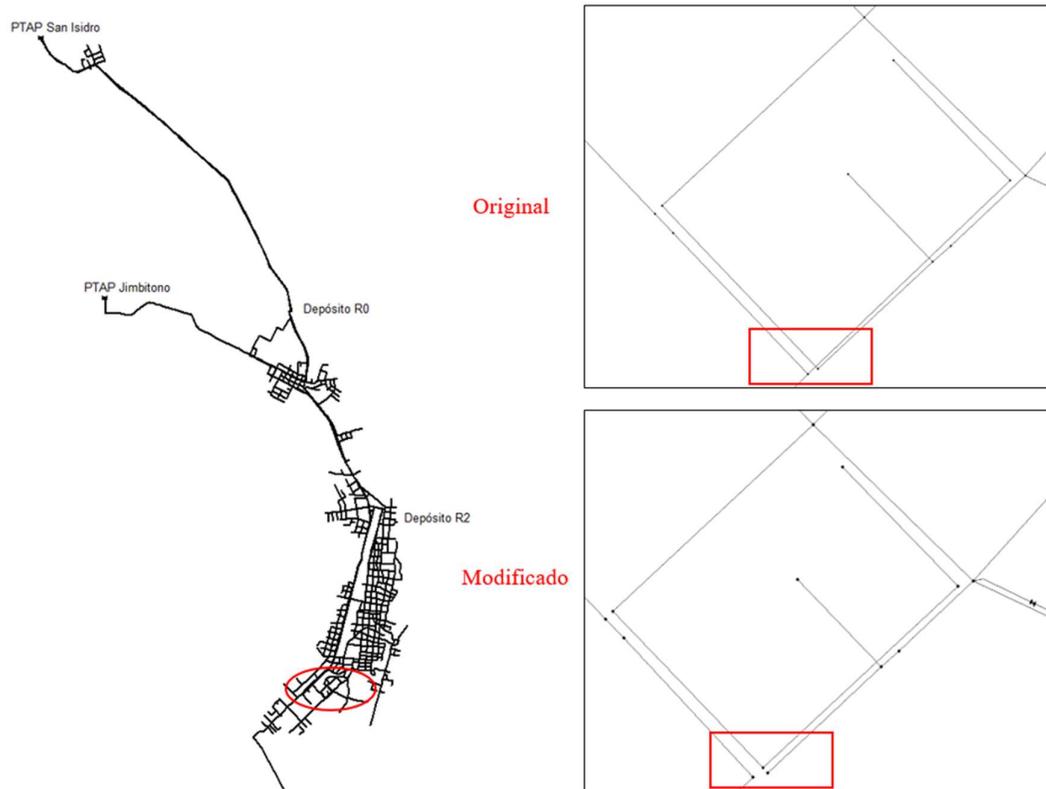


Figura 86. Reconexión sur de la ciudad. Sector 13.

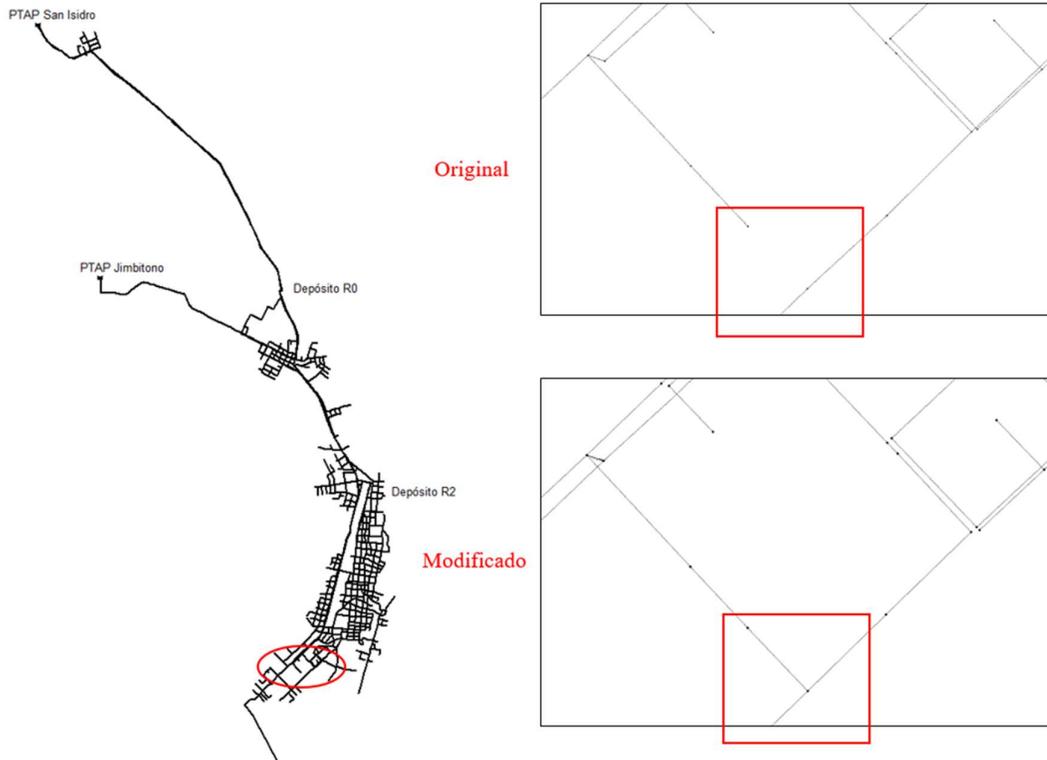


Figura 87. Extensión de red sur de la ciudad. Sector 13.

En el mismo sector del sistema se realizó la extensión de la red de 160 mm que proviene desde el tanque R2. Esta extensión continúa aproximadamente 240 metros hacia el sur. De esta forma se puede a sectorizar esta zona de la ciudad y proporcionar una red que preste las solicitudes de presión y caudal necesarias al sur. La figura 88 ilustra la extensión mencionada.

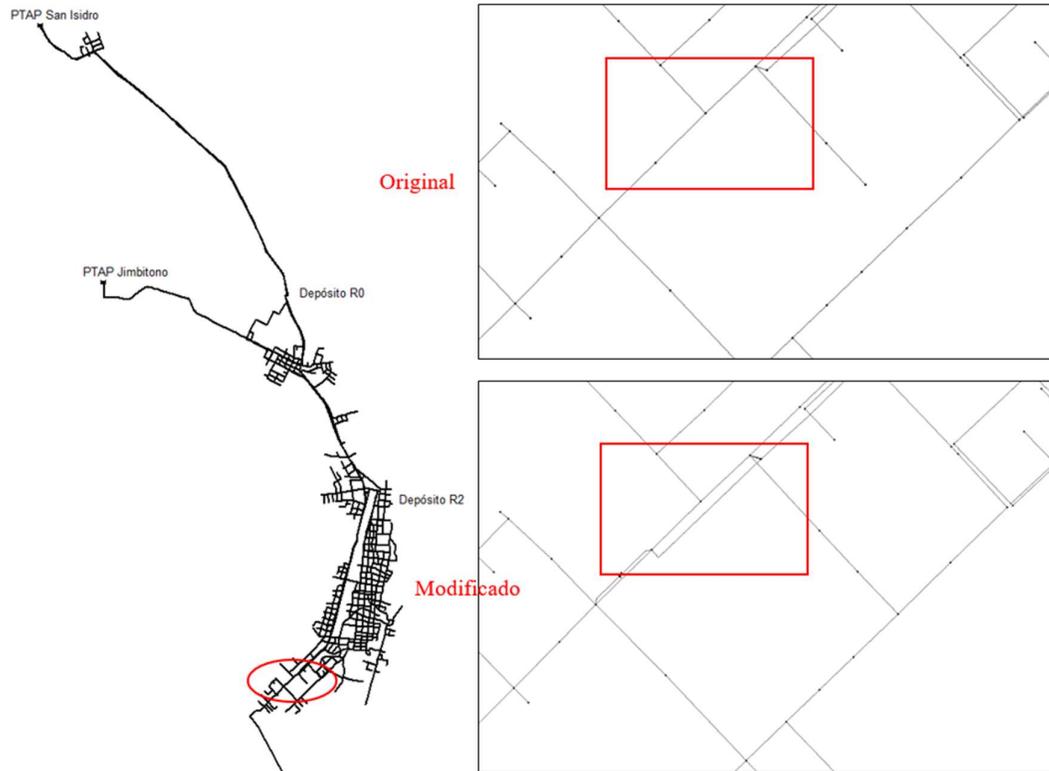


Figura 88. Extensión de red de 160 mm. Sector 14.

De forma similar en el norte de la ciudad se realizaron dos conexiones adicionales de tubería de 63 mm, cada una con una longitud menor a los 100 metros. Estas conexiones permitieron al igual que en los otros casos determinar un sector nuevo, aislarlo de los demás y proporcionar una red completa, ya que existían tramos muy pequeños que quedarían desconectados si no se hubieran hecho estas conexiones. En la figura 89 se muestra los lugares en los cuales se propone la extensión de tuberías. Cabe recalcar que todas estas ampliaciones se realizan siguiendo vías públicas, por lo que en la realidad es factible su ejecución.

En la figura 90 se muestra de también dos conexiones realizadas en tanto en el norte de la ciudad de Macas como en el sector de Proaño. Son conexiones en 63 mm cuya extensión es menor a los 6 metros.



Figura 89. Extensiones de red norte de la ciudad. Sector 5.

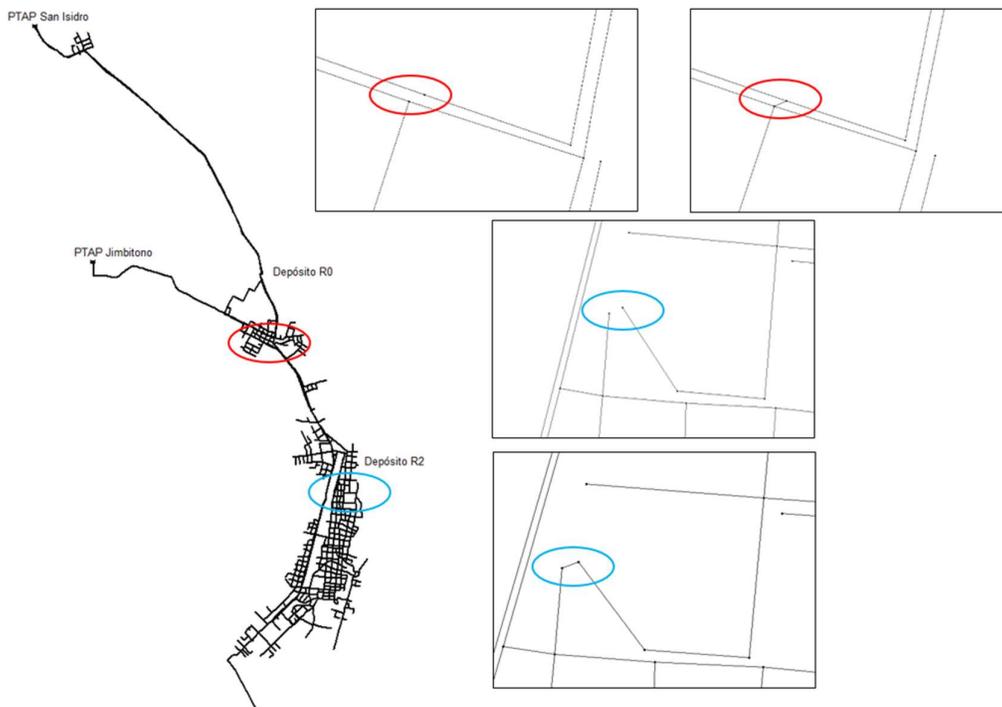


Figura 90. Extensiones de red Proaño. Sector 2.

Finalmente, en la figura 91 se presenta la última conexión adicional. Esta se plantea en el sector de Proaño. Conecta dos tuberías arteriales de 350 mm cada una. Se propone esta conexión debido a que, al momento de sectorizar, se verificó a la par la producción de las plantas de potabilizadoras y fue notorio que era necesario trasegar agua desde la planta de San Isidro, la cual está siendo subutilizada, hacia la red que sale de la planta de Jimbitono, la cual se encontraba con solicitaciones muy elevadas, por encima de su capacidad máxima.

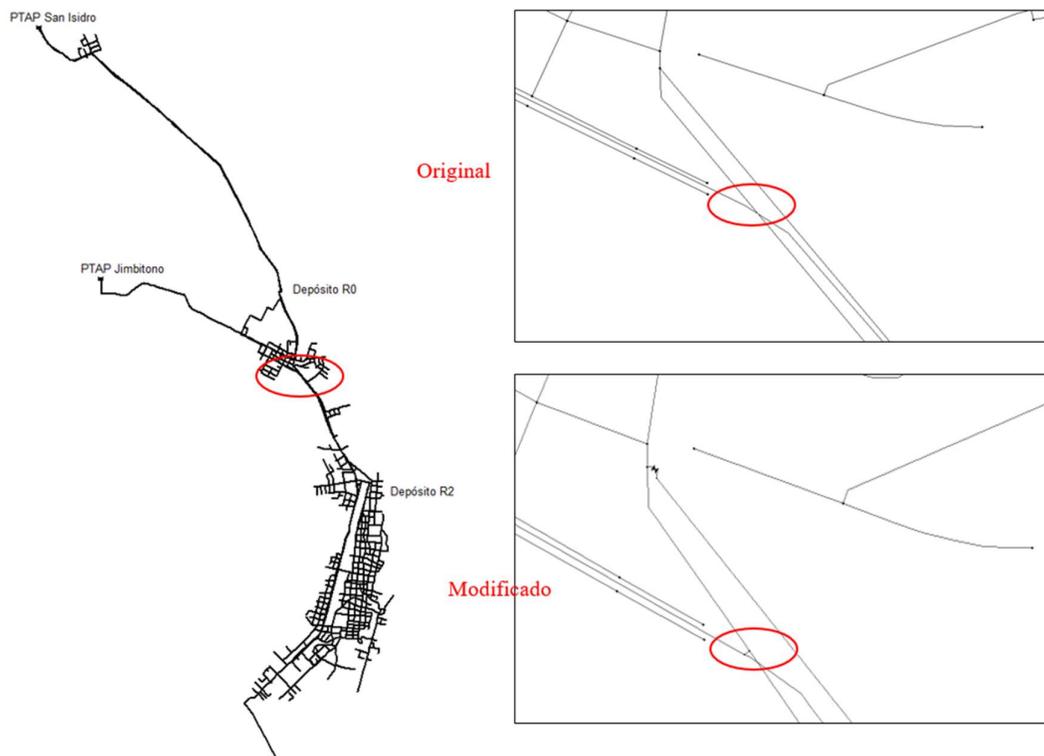


Figura 91. Reconexión de tuberías arteriales. Proaño.

En las figuras 92 y 93 se observa la producción de las plantas sin que exista esta conexión. Por otro lado, seguidamente se presentan las figuras 100 y 101 en las que se ve claramente que el trasegar agua desde la red de San Isidro a la de Jimbitono, hace que las producciones de las plantas se encuentren en torno a los 80 l/s y 60 l/s respectivamente.



Figura 92. Producción PTAP San Isidro. (Sin conexión)

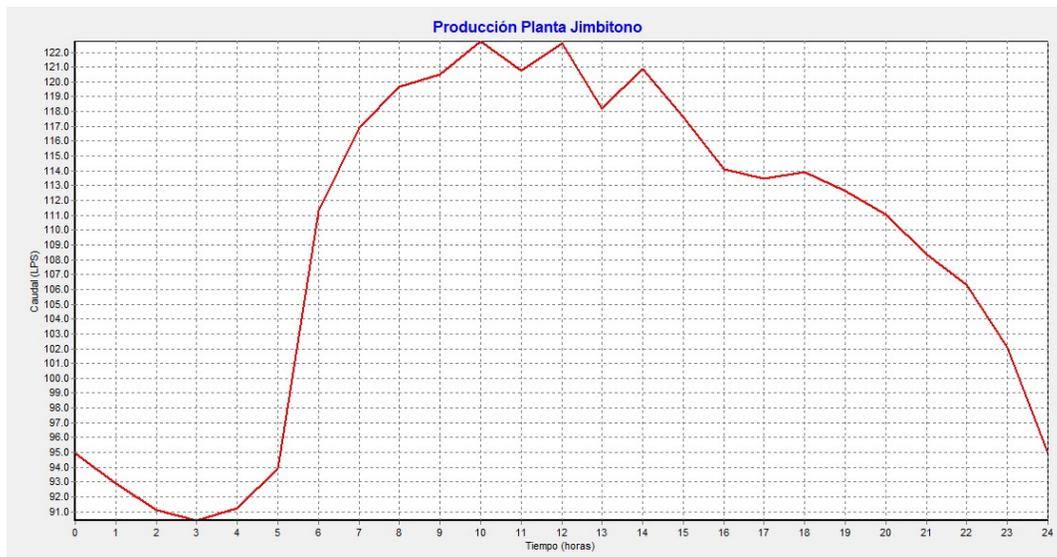


Figura 93. Producción PTAP Jimbitono. (Sin conexión)

Como puede observarse en la figura 92 la planta de San Isidro, sin aquella conexión no se encuentra dentro de su producción normal de 80 l/s. Mientras que la planta de Jimbitono se encuentra muy por encima del rango de producción normal (2 veces más).

Una vez realizada la reconexión en Proaño (ver figura 91), se puede observar que las producciones de plantas se encuentran en rangos normales de acuerdo a su diseño. La de

San Isidro dando un total de 80 l/s y la de Jimbitono con una producción de alrededor de los 60 l/s que es normal. Esto puede observarse en las dos figuras que siguen.

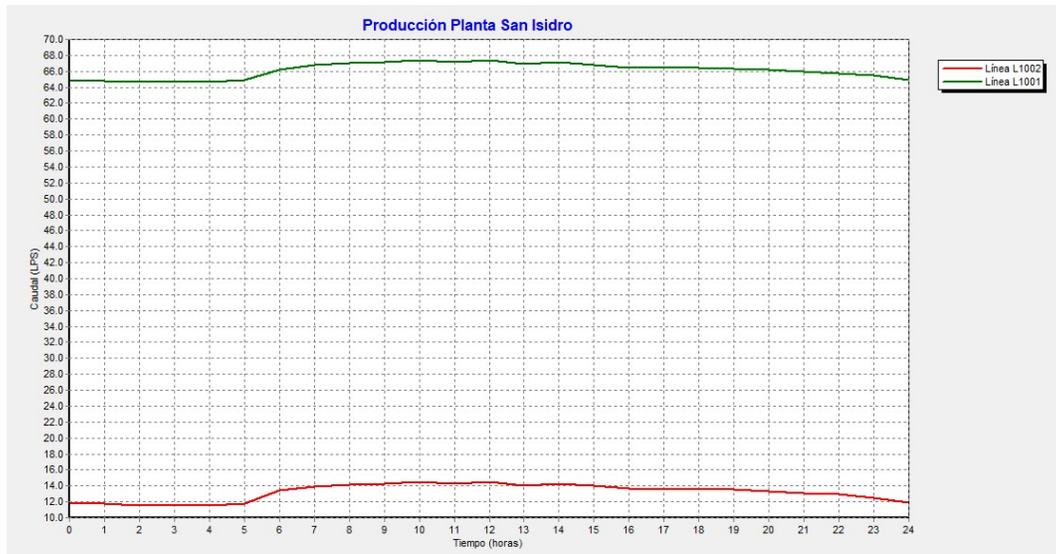


Figura 94. Producción PTAP San Isidro. (Conexión)

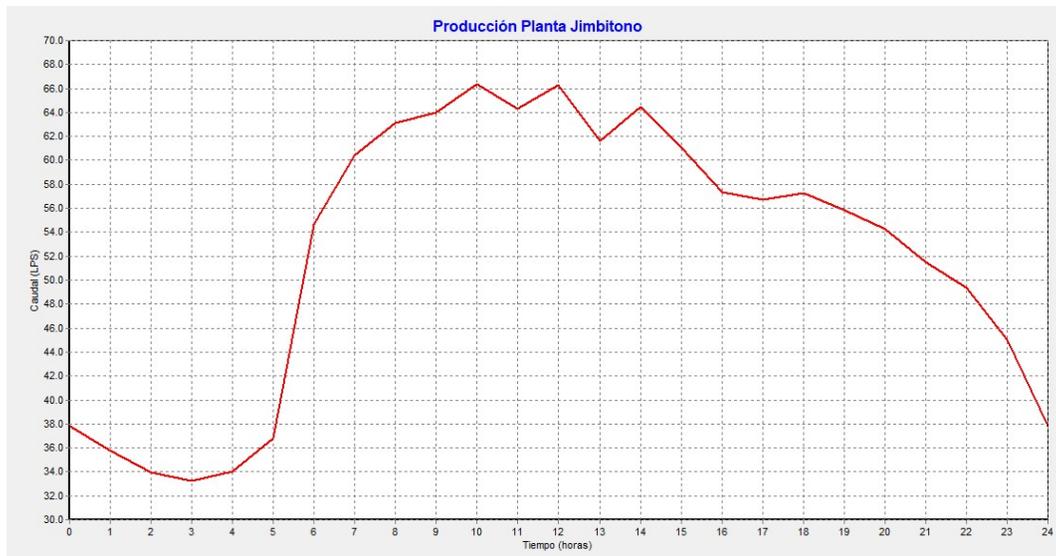


Figura 95. Producción PTAP Jimbitono. (Conexión)

Una vez realizada las reconexiones y haber cerrado tuberías, el sistema ha sido dividido en 14 sectores. En la figura 96 se presenta la red y sus respectivos sectores. En el *Anejo 04*, se muestran en detalle cada uno de los sectores con sus válvulas.

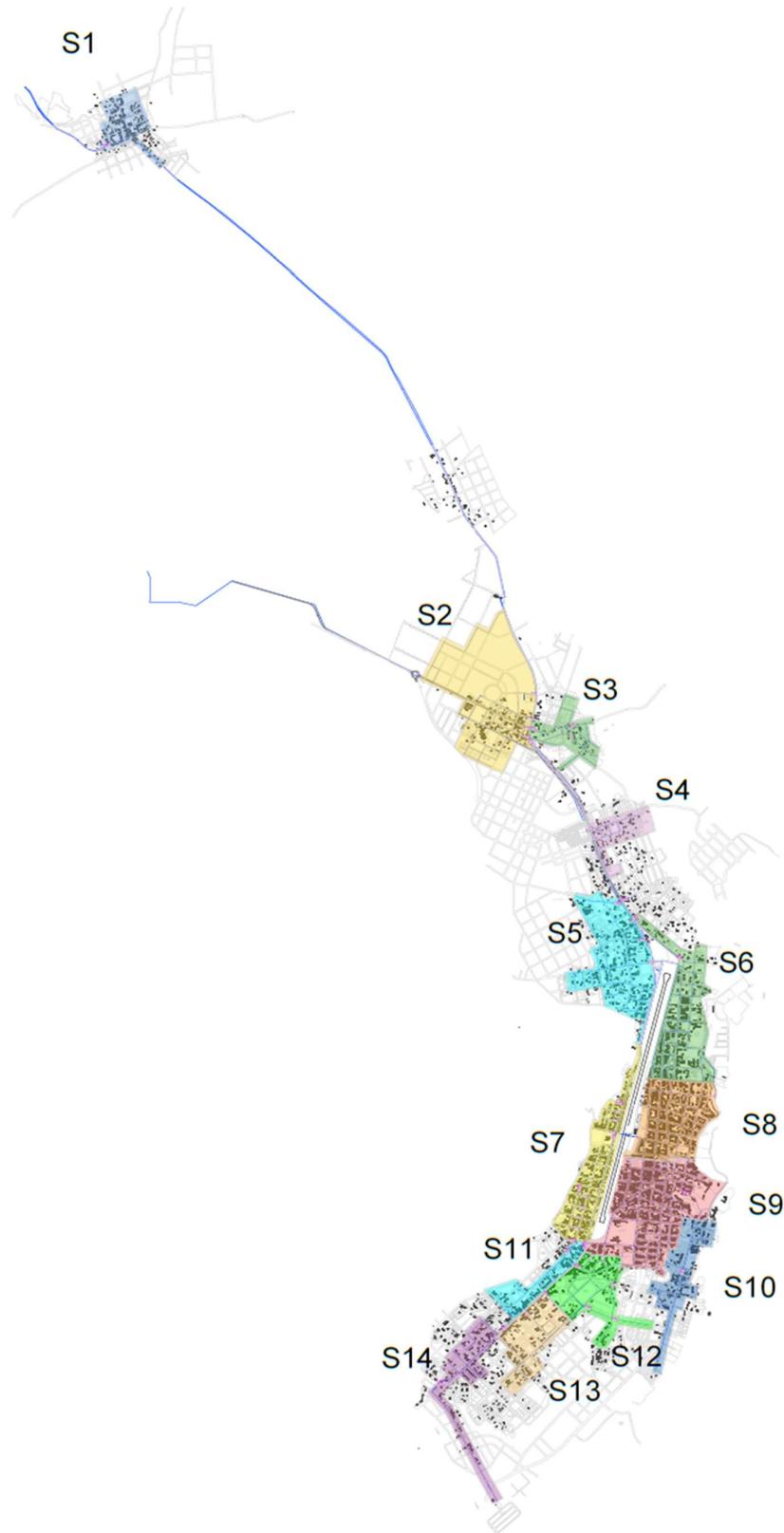


Figura 96. Propuesta de sectorización de la red de Macas.

7.2 VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN (VRP)

La válvula reductora de presión, a veces también llamada reguladora de presión, es una válvula de control hidráulico cuya consigna es reducir una presión aguas arriba de la válvula a un valor menor constante aguas abajo de la misma, independientemente de las variaciones de presión aguas arriba y de las variaciones del flujo o de la demanda en la línea. [20]

Epanet 2.0 permite agregar una válvula de manera directa en el modelo y dentro de su variedad de válvulas se encuentran las VRP [15]. Utilizando esta función, se han ingresado varias unidades en distintas partes de la red. El objetivo buscado al instalar dichas válvulas es reducir presiones elevadas, sobretodo en la zona norte y sur de la ciudad para poder trabajar dentro del rango de recomendado por la normativa ecuatoriana (10 mca – 50 mca) y de esta forma, reducir el nivel de agua fugada del sistema.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de las válvulas instaladas dentro de la red.

Tabla 44. VRP propuestas para la red de Macas.

Sector	Diámetro (mm)	Número
1	160	1
2	-	-
3	110	2
4	90	1
	50	1
5	63	1
	160	1
6	160	2
7	250	1
	110	1
	63	1
8	-	-
9	63	1
10	160	1
11	200	2
	110	1
12	90	1
	63	3
13	63	1
14	63	2
Total		24

En total se ubicaron 24 válvulas reductoras de presión de diámetros que varían desde los 50 mm a los 200 mm. Mediante el uso de estas válvulas se logra controlar las presiones

en las diferentes zonas de la red. En las figuras 97 y 98 se muestran para las horas valle y punta las presiones respectivas del sistema.

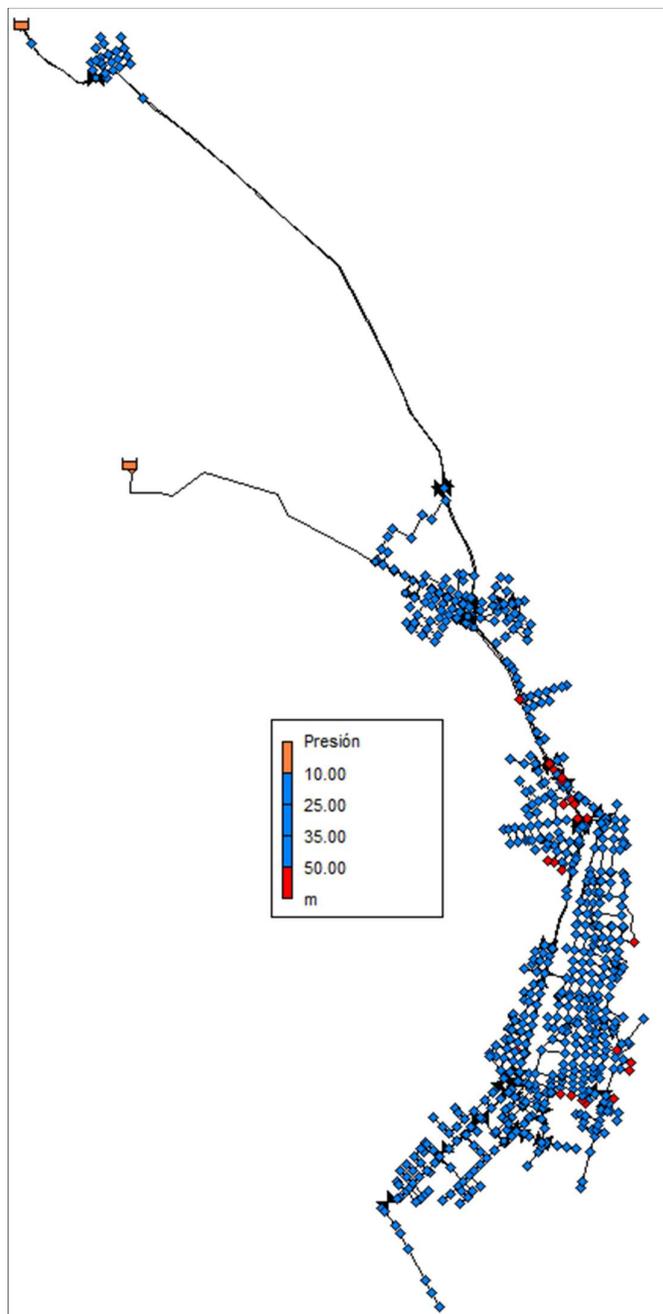


Figura 97. Presiones hora valle. Sistema con mejoras.

Como puede observarse en hora valle, donde las presiones son máximas se ha logrado que la mayoría de los nudos se encuentren dentro de las presiones recomendadas. Existen ciertos puntos aislados de la red donde las presiones están por encima de los 50 mca. Éstas son en tuberías arteriales al norte de la ciudad y en las zonas baja del centro.

De igual forma en la hora punta las presiones se encuentran en su mayoría dentro del rango de 10 mca y 50 mca. Exceptuando ciertas zonas en el norte de la ciudad.

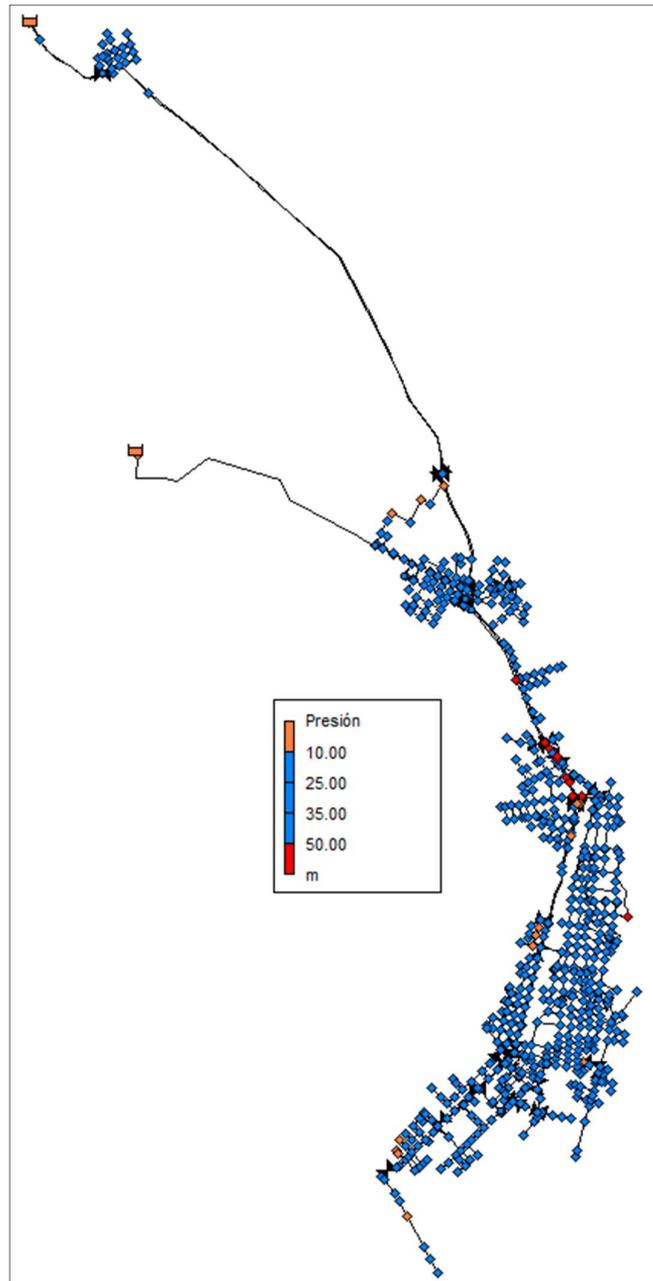


Figura 98. Presiones hora punta. Sistema con mejoras.

En la tabla 45 se presenta en detalle los porcentajes de nodos que se encuentran dentro del rango. Tanto para hora valle como para hora punta, sobre el 94% de las conexiones tienen la presión requerida. Los demás puntos que se encuentran fuera del rango, especialmente con valores por debajo de los 10 mca son nodos a la salida de los depósitos, donde no existe consumo.

Tabla 45. Presiones en nodos horas valle y punta. Sistema con mejoras.

Hora	Nodos		
	Presiones < 10 mca	Presiones 10 < P < 50	Presiones > 50 mca
Valle	4	662	33
	0.57%	94.71%	4.72%
Punta	21	661	17
	3.00%	94.56%	2.43%

Si tomamos como valores extremos las presiones bajas a la hora punta y las presiones altas en las horas valle, podemos decir que la mayoría de nodos del sistema se encuentran dentro del rango permitido a lo largo del día.

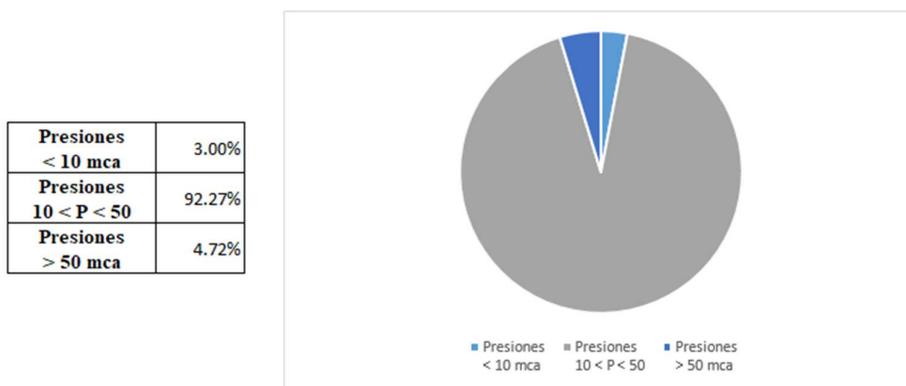


Figura 99. Presiones en nodos horas valle y punta. Sistema con mejoras.

Si se realiza una comparación de las presiones del modelo sin la sectorización y el modelo con la propuesta de sectorización e instalación de VRP se puede observar que existe una mejora sustancial en cuanto a la calidad de las presiones.

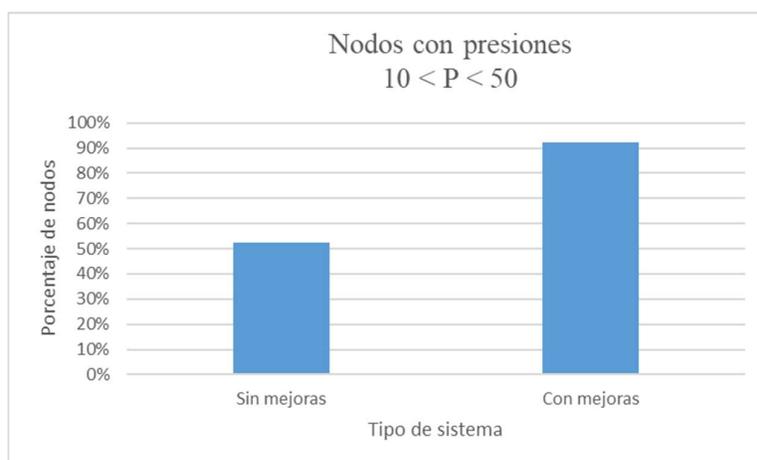


Figura 100. Porcentaje de nodos con presiones dentro de la normativa.

7.3 REEMPLAZO DE TUBERÍAS DEBIDO A PÉRDIDAS UNITARIAS

Se revisaron las tuberías que presentan pérdidas unitarias mayores a 15 m/km y que pudieran constituir un cuello de botella en el sistema. (Capítulo 6). En total se identificaron 62 tramos de tuberías que presentaban este problema. Estos tramos fueron reemplazados por tuberías de diámetro mayor hasta que las pérdidas unitarias sean razonables. La tabla 46 muestra los diámetros y longitudes de los tramos a ser reemplazados.

Tabla 46. Tuberías a reemplazar.

Tubería	Longitud (m)	Diámetro Original (mm)	Diámetro Propuesto (mm)	Tubería	Longitud (m)	Diámetro Original (mm)	Diámetro Propuesto (mm)
L507	88.02	63	90	L91	65.25	63	90
L499	104.37	160	200	L863	136.48	90	110
L480	118.16	63	160	L790	9.04	63	90
L387	46.32	110	160	L79	139.46	63	90
L385	66.98	63	90	L778	169.94	32	63
L384	65.61	63	90	L774	46.48	63	110
L381	47.12	63	110	L759	115.77	110	160
L375	90.49	110	160	L756	40.28	63	110
L367	77.23	63	110	L750	81.93	63	90
L366	51.91	63	90	L75	131.42	50	160
L362	70.70	63	90	L74	148.77	110	160
L361	37.62	63	90	L738	121.74	63	90
L350	647.16	63	90	L737	16.66	63	90
L34	193.27	63	160	L736	211.35	63	90
L327	84.92	32	63	L732	132.08	63	110
L301	94.28	63	90	L731	131.62	63	160
L260	104.43	90	110	L728	137.34	63	110
L259	103.44	63	110	L727	148.54	63	110
L250	50.60	63	110	L721	155.57	63	90
L25	113.52	32	63	L710	70.94	32	63
L223	66.00	110	160	L706	86.67	63	90
L22	99.17	63	160	L705	106.82	63	90
L177	121.99	63	90	L688	33.55	63	90
L160	48.88	63	90	L687	93.12	63	90
L150	69.38	63	90	L683	54.50	50	90
L145	63.44	50	90	L682	54.95	50	90
L144	176.12	63	90	L681	99.09	50	90
L130	101.35	63	90	L680	112.17	50	90
L111	107.69	63	110	L678	146.93	32	63
L110	105.14	63	110	L677	42.52	40	63
L96	26.08	63	90	L676	191.27	40	63

La tabla 47 presenta en resumen, los diámetros de tuberías y la longitud total de los cambios propuestos.

Tabla 47. Resumen tuberías a reemplazar.

Diámetro (mm)	Longitud total (m)
63	820.04
90	3,171.40
110	1,236.88
160	1,141.00
200	104.37
Total	6,473.68

Respecto a los aproximadamente 120 km de tuberías instaladas, el porcentaje de la red a ser cambiada para cumplir con las pérdidas unitarias propuestas es del 5%. Una vez realizados los cambios se muestra en la figura 101 la red y sus respectivas pérdidas unitarias expresadas en color rojo aquéllas que superan los 15 m/km.

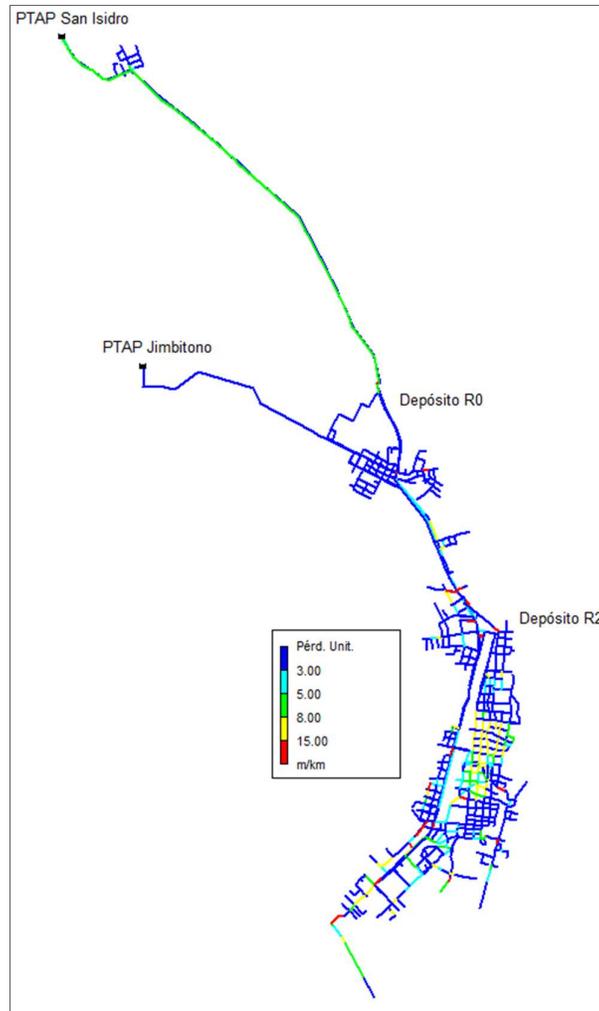


Figura 101. Pérdidas unitarias con tuberías reemplazadas.

Una vez realizados los cambios se puede observar en la figura 102, que aproximadamente toda la red (exceptuando las válvulas) presentan pérdidas unitarias inferiores a los 15 m/km.



Figura 102. Gráfico de frecuencia de distribución de pérdidas unitarias en la red.

7.4 CONTROL ACTIVO DE FUGAS

El control activo de fugas (CAF) es un “método de intervención para contrarrestar las pérdidas reales de agua en el que una empresa de agua utiliza fondos, personal y equipo técnico para detectar y reparar activamente fugas que actualmente existen bajo tierra pero que no están detectadas”. Cabe recalcar que “el propósito principal del CAF es reducir el tiempo durante el cual drenan las fugas ocultas para minimizar las pérdidas reales de agua”. [19]

Es importante conocer los tipos de fugas existentes, ya que la misma permite al gestor determinar la mejor forma de abordarlas y solventarlas. De acuerdo al tipo de fuga, las mismas pueden clasificarse en tres tipos: fugas de fondo, fugas comunicadas y fugas no comunicadas. [21]

- **Fugas de fondo:** Son pequeñas fugas que debido a su tamaño son de difícil detección. Este tipo de fugas pueden ocurrir en tuberías, uniones, accesorios ubicados antes o después del punto de medición. [22]
- **Fugas comunicadas:** Son fugas y roturas reportadas, de caudales de fuga altos, pero de corto periodo de duración. [23]
- **Fugas no comunicadas:** Son fugas y roturas no reportadas, de caudales de fuga moderados cuyo promedio de duración depende del método del CAF aplicado. [23]

El procedimiento para la realización de correcto CAF comprende de cuatro etapas definidas:

- Detectar la existencia de una fuga
- Localizar la fuga con precisión
- Confirmar visualmente la fuga
- Reparación de la fuga [10]

Existen métodos e instrumentación para llevar a cabo un CAF adecuado; sin embargo, el principal problema casi siempre será la detección y ubicación de las fugas. Efectos tales como: ruido, propiedades eléctricas del terreno y transitorios producidos por pulso de presión pueden delatar una fuga. [10]

Los equipos más comunes para la detección de fugas son:

- Varillas de escucha
- Geófonos
- Correladores acústicos

Sin embargo, existen además otros menos extendidos como:

- Georadar
- Gas inyectado
- Transitorios hidráulicos

Cualquiera de estas herramientas, juntamente con la gestión de la presión, la gestión patrimonial de la infraestructura y una oportuna actuación ante la aparición de una fuga pueden ayudar al DGAPA de la ciudad de Macas a gestionar mejor su red y reducir así las pérdidas reales.

7.5 RENDIMIENTO DEL SISTEMA

Una vez planteadas las mejoras al sistema es posible realizar una comparación de los rendimientos del mismo antes y después de las propuestas. Tomando en cuenta que del modelo calibrado se tenía los siguientes datos:

$$\begin{aligned}Q_{inyectado} &= 140.79 \text{ l/s} \\Q_{consumido} &= 84.95 \text{ l/s} \\Q_{fugado} &= 55.84 \text{ l/s}\end{aligned}$$

Del modelo sectorizado y con VRP instaladas se obtiene

$$\begin{aligned}Q_{inyectado} &= 131.53 \text{ l/s} \\Q_{consumido} &= 84.95 \text{ l/s} \\Q_{fugado} &= 46.58 \text{ l/s}\end{aligned}$$

Y partiendo de que, para este sistema,

$$Q_{consumido} = Q_{registrado} + Q_{incontrolado-consumido} \quad (15)$$

Basados en los valores obtenidos en el balance técnico del capítulo 4, en donde se obtuvo que aproximadamente,

$$Q_{registrado} = 0.86 * Q_{consumido} \quad (16)$$

Se puede realizar la siguiente tabla

Tabla 48. Comparación de caudales. Sistema sin mejoras y con mejoras.

Caudal	Sin mejoras (l/s)	Con mejoras (l/s)
Q inyectado Q	140.79	131.53
Q consumido Qc	84.95	84.95
Q registrado Qr	73.06	73.06
Q incontrolado consumido Qic	11.89	11.89
Q fugado Qif	55.84	46.58

De estos valores, aplicando los criterios del balance hídrico técnico en el cual el rendimiento global viene dado por la expresión

$$\eta_s = \frac{Q_r}{Q} \quad (17)$$

Se obtiene que para el modelo original,

$$\eta_s = 0.52$$

Mientras que para el modelo mejorado,

$$\eta_s = 0.56$$

Ambos considerados como inaceptables de acuerdo con la valoración propuesta en *Auditoria de redes de distribución de agua* (Cabrera y col., 1999) [13]. No obstante, si se nota una mejora.

La reducción del caudal fugado se ve reducida en 9.26 l/s lo que en términos económicos significa un ahorro para municipalidad. Tabla 49.

Tabla 49. Ahorro económico del sistema con mejoras.

Modelo	Volumen fugado (m ³ /año)	Coste Unitario	Coste Total
Sin mejoras	1,760,970	0.42	739,607
Con mejoras	1,468,947	0.42	616,957
Diferencia			122,650

Al cabo de un año, comparando el volumen fugado de los sistemas con y sin mejoras, se puede establecer que dichas mejoras supondrían un ahorro de \$ **122,650** dólares.



CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

Una vez finalizado el presente trabajo, se presentan las siguientes conclusiones generales:

- A partir de la información proporcionada por la municipalidad del cantón Morona se ha logrado construir el modelo matemático de la red de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Macas. Dicho modelo posee las respectivas características físicas de la red (diámetros, longitudes, cotas, etc.), así como la carga hidráulica actual.
- En general, la asignación de consumos se ha realizado mediante el conteo de viviendas por manzanas; asignando a cada vivienda, en función del número de plantas, una acometida. Los denominados grandes consumidores han sido plenamente identificados en base al catastro de usuarios y su caudal consumido asignado en el nodo exacto dentro del modelo matemático. Realizar la asignación de caudales de esta manera ha sido factible debido a que la ciudad es pequeña (33,757 habitantes) al igual que su número de abonados (7,011); Sin embargo, de esta forma se pretende representar de la mejor manera la realidad en cuanto a la distribución de los consumos en la red.
- Se ha realizado una calibración básica de la red centrada en la modificación del factor de demanda (FD) de Epanet 2.0. El pasar de $FD=1.000$ a $FD=1.102$ ha permitido que las presiones en los puntos de control existentes al igual que los caudales a las salidas del depósito R2, sean lo más parecidos a la realidad. Es decir, tanto los valores simulados como medidos se ajustan de mejor manera.
- El mayor problema identificado es las sobrepresiones (>50 mca) que existen dentro del sistema, especialmente a la hora valle (44.21% de nodos). Estas desencadenan principalmente en el aumento de fugas, las cuales dependen directamente de la presión y constituyen pérdidas de agua y consecuentemente pérdidas económicas a la municipalidad. Realizando la gestión adecuada de las presiones, por medio de la instalación de válvulas reductoras de presión (VRP), así como de reconexiones y cambios de tubería se ha logrado conseguir que el sistema trabaje dentro del rango recomendado por la normativa ecuatoriana (10 mca – 50 mca). Logrando así pasar de 52.50% de nodos que cumplen la normativa en el funcionamiento actual del sistema a 92.27% con las mejoras propuestas.
- La red ha sido dividida en 14 sectores, aprovechando para ello los diferentes niveles topográficos que presenta la zona, así como las características topológicas que tiene la red. Se plantean en total la utilización de 24 VRP para el control de las presiones.

- Una vez realizados los cambios propuestos se ha conseguido una red sectorizada, la cual de acuerdo a su balance hídrico técnico se encontraba con un rendimiento global $\eta_s = 0.52$ a una red con un rendimiento de $\eta_s = 0.56$. No obstante, esto se traduce que, al cabo de un año, sólo con la gestión de la presión, la municipalidad tendría un ahorro de \$ **122,650** dólares americanos.
- Finalmente, cabe mencionar que, a partir del presente trabajo, la municipalidad del cantón Morona, y específicamente su Departamento de Gestión de Agua Potable y Alcantarillado (DGAPA) cuentan con un modelo matemático. Este modelo, podría ser utilizado por el departamento como un punto de partida para la elaboración de mejores modelos, ampliados y precisos los cuales les permitan tomar decisiones y realizar actuaciones en cuanto a la gestión del sistema de agua potable se refiere. Cumpliendo así, el objetivo intrínseco de este TFM, que era el de proporcionar un modelo matemático al DGAPA, del cual carecían inicialmente.

8.2 RECOMENDACIONES

Finalizado el trabajo de elaboración, análisis y diagnóstico de la red de agua potable de la ciudad de Macas se realizan las siguientes recomendaciones:

- Dadas las limitaciones de información con la que se encontró para la realización del presente TFM se recomienda al DGAPA la recopilación continua y de calidad de datos. Realizando para la ello la instalación de caudalímetros en puntos clave de la red, como son: salida de las plantas de tratamiento, entrada y salida de depósitos existentes y sectores donde se identifiquen grandes consumidores.
- Instalación de contadores en todas las acometidas existentes, incluso en aquellas que sean de propiedad de la municipalidad. Esto con el objetivo de tener un mejor control del agua consumida y que permita tener datos reales, mas no sólo estimaciones. Con la finalidad de obtener balances lo más próximos a la realidad.
- Homologar el parque de contadores, empezando para ello con el reemplazo de aquéllos que se encuentren visiblemente en mal estado o hayan cumplido su vida útil. Solicitando para esto, una certificación de calidad y la realización de ensayos en bancos de pruebas para conocer realmente que instrumentación se está implementando y obtener valores reales de subcontaje.
- Realizar por parte de la municipalidad una gestión oportuna de presión del sistema, debido a las grandes pérdidas de agua que se tienen por carencia de ella. Un programa de control activo de fugas, les permitiría detectar, localizar y reparar las averías que se presenten, logrando así juntamente con la gestión de la presión a valores de fugas aceptables.



CAPÍTULO 9

BIBLIOGRAFÍA

9 BIBLIOGRAFÍA

- [1] GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTÓN MORONA, «Plan cantonal de desarrollo y ordenamiento territorial de Morona,» Macas, 2014.
- [2] GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTÓN MORONA, «Gobierno Municipal del cantón Morona,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.morona.gob.ec>.
- [3] wikipedia, «Cantón Morona,» 2019. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Cant%C3%B3n_Morona.
- [4] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS , «INEC,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>.
- [5] wikipedia, «Provincia de Morona Santiago,» 2019. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Morona_Santiago.
- [6] INAMHI, «Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.gob.ec/inamhi>.
- [7] EcuRed, «Amazonía Ecuador,» 2019. [En línea]. Available: [https://www.ecured.cu/Amazon%C3%ADa_\(regi%C3%B3n_de_Ecuador\)](https://www.ecured.cu/Amazon%C3%ADa_(regi%C3%B3n_de_Ecuador)).
- [8] P. Durán, «Estudio definitivo de los planes maestros de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Macas,» Macas, 2005.
- [9] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS, «Agua y ciudades,» 2010.
- [10] E. Gómez, «Gestión técnica de abastecimientos de agua urbanos sostenibles: Pérdidas de agua,» Valencia, 2015.
- [11] Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, «Guía para la reducción de pérdidas de agua,» Lima, 2019.
- [12] R. Liemberger, «Recommendations for Initial Non-Revenue Water Assessment,» *IWA*, 2010.
- [13] E. Cabrera, J. Almandoz, F. Arruegui y J. García-Serra, «Auditoria de redes de distribución de agua,» p. 13, 1999.
- [14] GLOBAL OMNIUM, «Global Omnium Aguas de Valencia,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.aguasdevalencia.es/Grupo/Inicio/>.



- [15] P. Iglesias Rey y J. Martínez Solano, Análisis y diseño de redes de distribución de agua mediante Epanet 2 VE, Universidad Politécnica de Valencia, 2012.
- [16] L. A. Rossman, Epanet 2.0 en Español. Análisis Hidráulico y de Calidad en Redes de Distribución de Agua. Manual de Usuario., Valencia, 2017, p. 296.
- [17] MINISTERIO DE URBANIZACIÓN Y VIVIENDA, «Abastecimiento de agua potable y eliminación de aguas residuales en el área urbana,» Quito, 2010.
- [18] V. Gallardo, «ELABORACION DEL INFORME SITUACIONAL DE INGRESOS Y GASTOS, ESTUDIOS TARIFARIO Y PLAN DE GRADUALIDAD POR LA PRESTACION DE SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DEL GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA, PROINCIA DE MORONA SANTIAGO,» Macas, 2019.
- [19] P. Fallist, E. Oertle, P. Klingel y R. Trujillo , «Guía para la reducción de las pérdidas de agua. Un enfoque en la gestión de la presión.,» Eschborn, Alemania, 2011.
- [20] INGENIERIA DE FLUIDOS, «INGENIERIA DE FLUIDOS,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ingenieriadefluidos.com/valvula-reductora-de-presion>.
- [21] A. Lambert, «Accounting for losses: The burst and background concept,» *Water and Environmental Journal*, Wiley Online Library, 1994.
- [22] X. V. Delgado, Tesis Doctoral: Aplicación del método de jerarquías analíticas a la gestión de pérdidas de agua en redes de abastecimiento, Valencia, 2011.
- [23] S. X. Molina, Metodología para reducción de pérdidas técnicas en el sistema de distribución de agua potable del suburbio oeste de la ciudad de Guayaquil, Guayaquil, 2009, p. 391.



CAPÍTULO 10

ANEJOS



10 ANEJOS

10.1 ANEJO 1. Conteo de viviendas por manzanas.

CONTEO DE EDIFICACIONES PLANO CATASTRAL 2019													
MANZANA	1	2	3	4	5	6	7	8	Acometidas Domiciliarias	Acometidas comerciales	Acometidas especiales	TOTAL POR MANZANA	
M1	8								8	0			8
M2	7	2	1						12	1			13
M3	11		1						14	1			15
M4	15	2	2						23	2			25
M5	15	1	1	1					23	2			25
M6		1							1	0			1
M7	4								4	0			4
M8	2	1							3	0			3
M9	7	3							10	0			10
M10	1	2							3	0			3
M11	6	3							9	0			9
M12	3								3	0			3
M13	6	2							8	0			8
M14	10	3							13	0			13
M15	9	5							14	0			14
M16	3								3	0			3
M17	3			1					7	1			8
M18	1	1	1						5	1			6
M19	5								5	0			5
M20	16	7		1	1				32	2			34
M21	12	2		1					18	1			19
M22	2	3							5	0			5
M23	5	3		1					12	1			13
M24	6	2							8	0			8
M25	8								8	0			8
M26	9								9	0			9
M27	1	2							3	0			3
M28	5	3							8	0			8
M29	12	2							14	0			14
M30	13								13	0			13
M31	1								1	0			1
M32	7	1							8	0			8
M33	7	2							9	0			9
M34	6	2							8	0			8
M35	9								9	0			9
M36	3	1							4	0			4
M37	14	5							19	0			19
M38	13	8							21	0			21
M39	12	5		2					25	2			27
M40	5	3	1						11	1			12
M41	22	9							31	0			31
M42	20	6							26	0			26
M43									0	0			0
M44	5			1					9	1			10
M45	2								2	0			2
M46	5			1					9	1			10
M47	1								1	0			1
M48	3	4							7	0			7
M49	11	3							14	0			14
M50	9				1				14	1			15
M51	9	6	2						21	2			23
M52	10	2							12	0			12
M53	11	7		1					22	1			23
M54	7	2							9	0			9
M55	8			2					16	2			18
M56	1			1					5	1			6
M57	3								3	0	1		4
M58	9	8		1					21	1	1		23
M59									0	0	4		4
M60	1								1	0	1		2
M61									0	0			0
M62	1								1	0			1
M63	4	1							5	0			5
M64	14	3							17	0			17
M65	5	1							6	0			6
M66									0	0	4		4
M67	3	1		1					8	1			9
M68									0	0			0
M69	21	4		1					29	1			30
M70	6	7							13	0			13
M71	13	4							17	0			17
M72	6	2							8	0			8
M72B	8	2							10	0			10
M73	9	4	1						16	1			17
M74	1	2							3	0			3
M75	14	2							16	0			16
M76									0	0	1		1
M77									0	0	4		4



M78	3									3	0		1	4
M79										0	0			0
M80	6	3	2							15	2			17
M81	2	1								3	0			3
M82	1									1	0			1
M83	33	11								44	0			44
M84	17	9								26	0			26
M85	30	9		1						43	1			44
M86	13	7	1							23	1			24
M87	18	2								20	0			20
M88	5	6								11	0			11
M89	4	4	1							11	1			12
M90	14	5								19	0			19
M91	12									12	0			12
M92	7	6	2							19	2			21
M93	1	1								2	0			2
M94	2									2	0			2
M95	4	1	1							8	1			9
M96	3									3	0			3
M97	7	2								9	0			9
M98	5	2								7	0			7
M99	6	1								7	0			7
M100	0	1								1	0			1
M101	12	2	2							20	2			22
M102	13	1								14	0			14
M103	8	2								10	0			10
M104	14	6	1							23	1			24
M105	1	4	1			1				14	2			16
M106	0									0	0			0
M107	8	6	1							17	1			18
M108	10	4								14	0			14
M109	3	4								7	0			7
M110	9	5								14	0			14
M111	15	2								17	0			17
M112	3	4	1							10	1		1	12
M113	3	1								4	0		4	8
M114	8	6	1							17	1		1	19
M115	6	3		1						13	1			14
M116	6	2	1							11	1			12
M117	0	4								4	0			4
M118	0									0	0			0
M119	4	5								9	0			9
M120	1	2		1						7	1			8
M121	2	4	1							9	1			10
M122	2	7								9	0			9
M123	12	11	4							35	4			39
M124	15	6								21	0			21
M125	5	5	2	2						24	4			28
M126	5	11	1							19	1			20
M127	7	4			1					16	1			17
M128	6	9								15	0			15
M129	27	19	3	1						59	4			63
M130	16	15	1							34	1			35
M131	15	10	1	2						36	3			39
M132	7	4	1							14	1			15
M133	11	3								14	0			14
M134	13	7	8							44	8			52
M135	1	5	3	2						23	5			28
M136	6	19	5							40	5			45
M137	5	10	4	1	1					36	6			42
M138	6	10	3	1	1					34	5			39
M139	4	9	4							25	4			29
M140	4	6			1					15	1			16
M141	7	12	3	1						32	4			36
M142	18	16	6	1	1					61	8			69
M143	0	2								2	0			2
M144	11	17	6	2						54	8			62
M145	18	15	2	1						43	3			46
M146	9	3	3							24	3			27
M147	5	8								13	0		1	14
M148	12	11	3	1						36	4		4	44
M149	32	27	5							74	5		1	80
M150	15	16	5	4	1					67	10			77
M151	17	27	7	5		3				103	15			118
M152	11	5	3	1	1	1				40	6			46
M153	12	23	6	1	1					62	8			70
M154	12	16	6	1						50	7			57
M155	3	3	2							12	2			14
M156	2	2	1	2						15	3			18
M157	6	15	2	2	2					45	6			51
M158	9	8	2	2						31	4			35
M159	5	11	1							19	1		1	21
M160	6	6	2		1					23	3		3	29



M161	5	19	1					27	1	1	29
M162	0							0	0	4	4
M163	7	16	4		1		1	49	6	1	56
M164	4	9	1					16	1	1	18
M165	3	3	3	1				19	4	4	27
M166	0	11	5	1				30	6	1	37
M167	6	11	2					23	2	1	26
M168	0							0	0	4	4
M169	0	3	3	2	1	1		31	7	1	39
M170	0	11	4	3				35	7	1	43
M171	0	2	1	3				17	4	4	25
M172	0							0	0	1	1
M173	0							0	0		0
M174	0	2						2	0		2
M175	9	9	5					33	5		38
M176	10	12	5	2	1			50	8		58
M177	8	14	10	1	1			61	12	1	74
M178	0							0	0	4	4
M179	0							0	0	4	4
M180	0							0	0	4	4
M181	5	12	4		1			34	5	1	40
M182	10	10	2		2			36	4	4	44
M183	6	10	3		1		1	37	5	1	43
M184	16	6	1		5			50	6		56
M185	2	3	3					14	3		17
M186	18	9	2	1				37	3		40
M187	11	14	3	1				38	4		42
M188	11	15	3	1				39	4		43
M189	16	9	2					31	2		33
M190	7	2						9	0		9
M191	9	11	5					35	5		40
M192	1	9	5					25	5		30
M193	15	12	5					42	5		47
M194	9	5	2					20	2		22
M195	5	4						9	0		9
M196	16	12	6	1				50	7		57
M197	13	11	6					42	6		48
M198	13	13	3					35	3		38
M199	14	9	3					32	3		35
M200	5	6						11	0		11
M201	8	7	3	1				28	4		32
M202	2	7	1					12	1		13
M203	3	6	3					18	3		21
M204	4	7						11	0	1	12
M205	0							0	0	4	4
M206	11	6	4					29	4	1	34
M207	9	7	3					25	3		28
M208	1	4						5	0		5
M209	9	5	3		1			29	4		33
M210	7	6	1					16	1		17
M211	9	4		1				17	1		18
M212	8	9	3					26	3		29
M213	10	6	1					19	1		20
M214	4	4		1				12	1		13
M215	3	1	1					7	1		8
M216	0							0	0		0
M217	3	3						6	0		6
M218	10	3	3					22	3		25
M219	5	5	1					13	1		14
M220	0							0	0	4	4
M221	0							0	0	4	4
M222	9	8	4					29	4	1	34
M223	9	1	1					13	1	1	15
M224	0							0	0	4	4
M225	6	5						11	0	1	12
M226	1	7						8	0	1	9
M227	10	6	1					19	1	1	21
M228	0							0	0	4	4
M229	3	8	3					20	3	1	24
M230	2	2						4	0	1	5
M231	0							0	0	4	4
M232	0							0	0	4	4
M233	0							0	0	4	4
M234	7	1						8	0	1	9
M235	2		2					8	2		10
M236	6	6	1					15	1		16
M237	0	1	2					7	2		9
M238	5	1						6	0		6
M239	0	3						3	0		3
M240	0							0	0		0



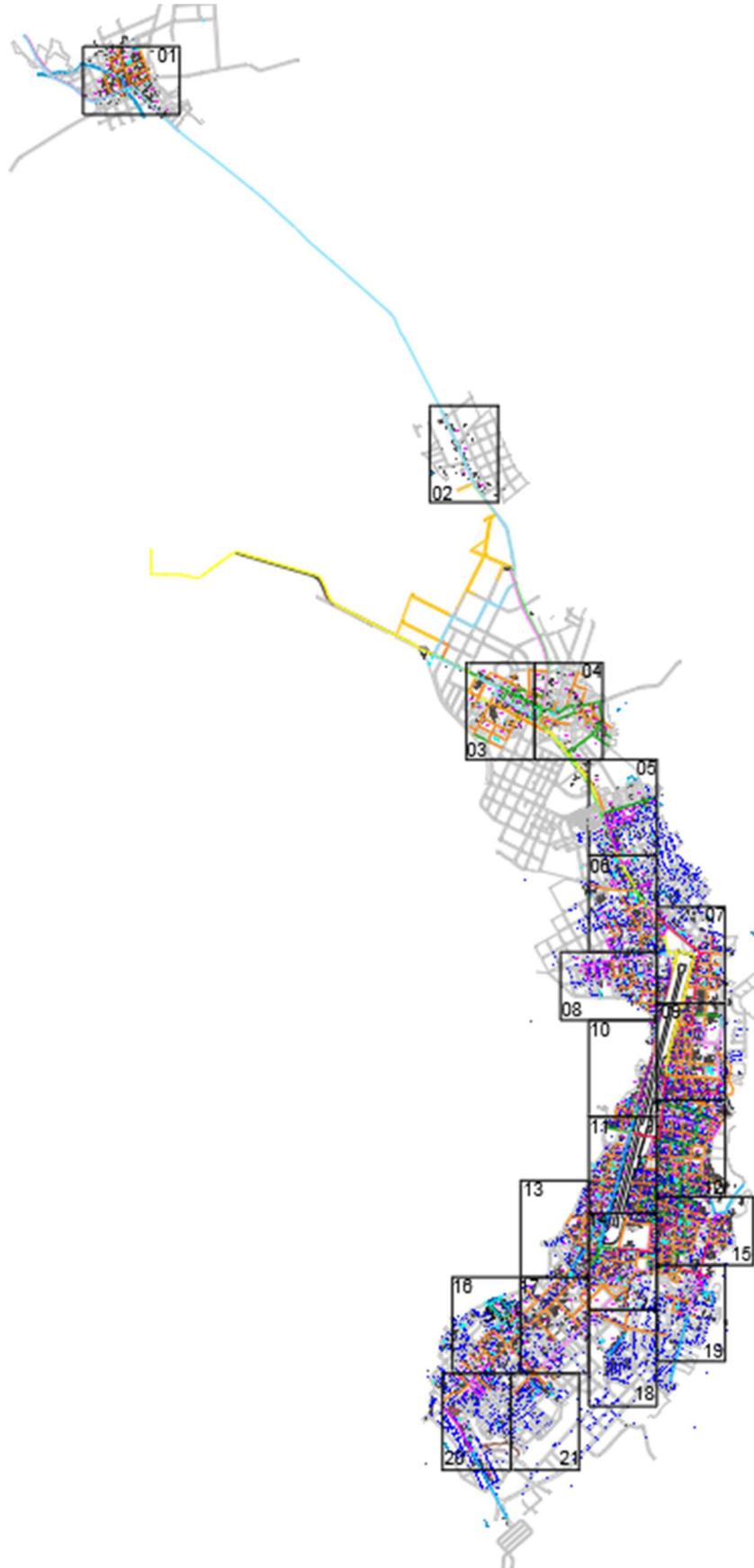
M241	7	4							11	0			11
M242	15	5							20	0			20
M243	8	5							13	0			13
M244	9	7	2						22	2	1		25
M245	2	2							4	0	4		8
M246	10	4							14	0	1		15
M247	17	6							23	0			23
M248	10	6							16	0			16
M249	4	5							9	0			9
M250	5	6	3						20	3			23
M251	6	5							11	0			11
M252	11	6	2						23	2			25
M253	2	5	1						10	1			11
M254	9	4	1						16	1			17
M255	10	8							18	0			18
M256	9	6	1						18	1			19
M257	17	7							24	0			24
M258	11	5							16	0			16
M259	10	5							15	0			15
M260	20	5							25	0			25
M261	13	1							14	0			14
M262	12	5							17	0			17
M263	8	1							9	0			9
M264	15	2							17	0	1		18
M265	0								0	0	4		4
M266	25	7	2						38	2	1		41
M267	17	5							22	0			22
M268	11	1	1						15	1			16
M269	7	2	1						12	1			13
M270	4	1							5	0			5
M271	4	2							6	0	1		7
M272	0	1	1						4	1	4		9
M273	14	1							15	0	1		16
M274	12	3							15	0	1		16
M275	7	1							8	0	1		9
M276	18								18	0	1		19
M277	0	2							2	0	4		6
M278	7	1							8	0	1		9
M279	6	2							8	0			8
M280	14	3							17	0			17
M281	10	2							12	0			12
M282	6	2							8	0			8
M283	4								4	0			4
M284	7	1	1						11	1			12
M285	8	5							13	0			13
M286	3								3	0			3
M287	3								3	0			3
M288	6	2							8	0			8
M289	14	1							15	0			15
M290	5	2							7	0			7
M291	10	6							16	0			16
M292	5	3							8	0	1		9
M293									0	0	4		4
M294	1	1							2	0	1		3
M295									0	0			0
M296	6	2	1						11	1			12
M297		1							1	0			1
M298	1	1							2	0			2
M299	1								1	0			1
M300									0	0			0
M301	10	5							15	0			15
M302	12	3							15	0			15
M303	13	2							15	0			15
M304	17	5							22	0			22
M305	7	5							12	0			12
M306	2	1							3	0			3
M307	5	4							9	0			9
M308	3	1							4	0			4
M309	5	1							6	0			6
M310	4	2							6	0			6
M311	8	5							13	0			13
M312	8	7							15	0			15
M313	12	6							18	0			18
M314	4								4	0			4
M315	3	7							10	0			10
M316	2	3							5	0			5
M317	6								6	0			6
M318	8	2							10	0			10
M319	4	1							5	0			5
M320	1								1	0			1

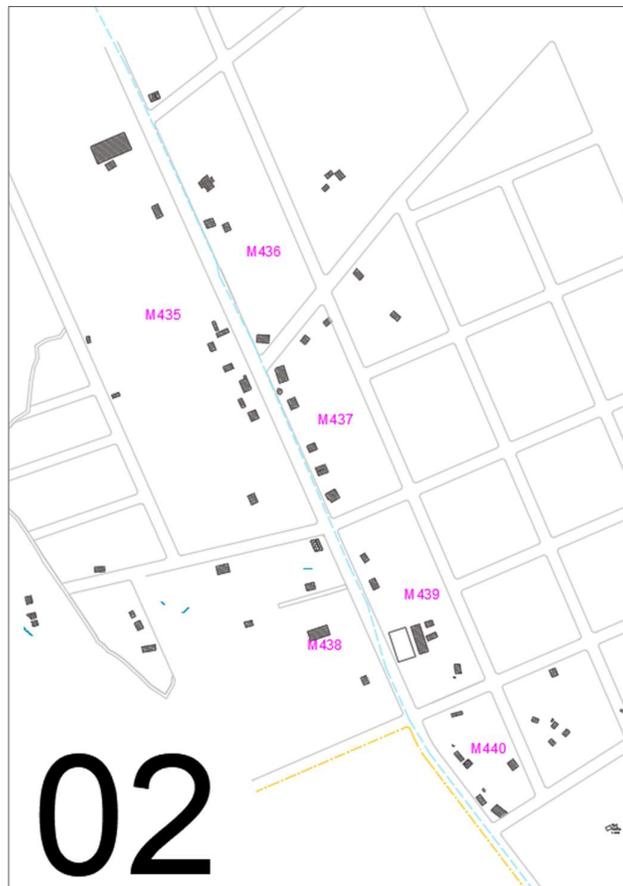
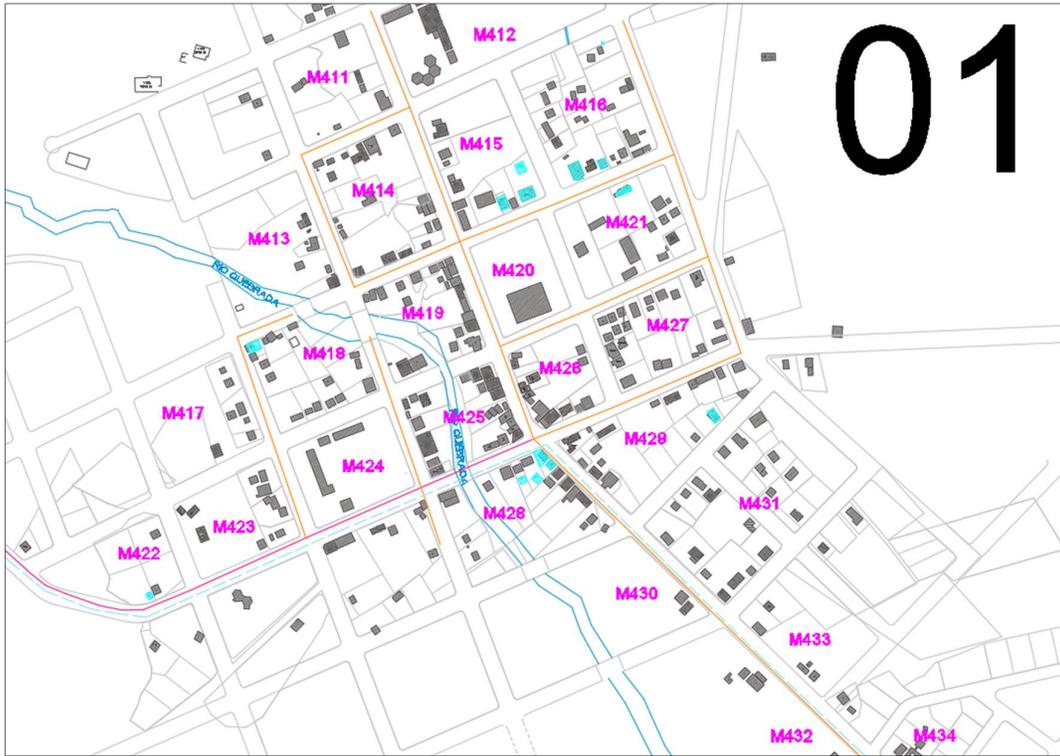


M321	1								1	0			1
M322	3								3	0			3
M323	4	2							6	0			6
M324	9	5							14	0			14
M325	4								4	0			4
M326	3								3	0			3
M327	4								4	0			4
M328	5	3							8	0			8
M329	2	2							4	0			4
M330	2	2	1						7	1			8
M331	3	1							4	0			4
M332	6	2							8	0			8
M333	6	1							7	0			7
M334	3	2							5	0		1	6
M335									0	0		4	4
M336	5	1	1						9	1		4	14
M337									0	0		1	1
M338	5	4							9	0			9
M339									0	0			0
M340	1								1	0			1
M341	2	3							5	0			5
M342	10								10	0			10
M343	4								4	0			4
M344	9	2							11	0			11
M345	4	1							5	0			5
M346	3	2							5	0		1	6
M347									0	0		4	4
M348	6	2							8	0		1	9
M349	3	2							5	0			5
M350	2								2	0			2
M351	2	2							4	0			4
M352	7	2							9	0			9
M353	1	1							1	0			1
M354	2	2							4	0			4
M355		1							1	0			1
M356	4	4							8	0			8
M357	6	1							7	0			7
M358	3	2							5	0			5
M359	13								13	0			13
M360	3	1							4	0			4
M361									0	0			0
M362	5								5	0			5
M363	4								4	0			4
M364	5								5	0			5
M365	8								8	0			8
M366	3								3	0			3
M367	9								9	0			9
M368	3								3	0			3
M369									0	0			0
M370	4								4	0			4
M371	9	2							11	0			11
M372									0	0			0
M373	3								3	0		1	4
M374									0	0		4	4
M375	12	1							13	0		1	14
M376									0	0			0
M377	2								2	0			2
M378									0	0			0
M379	2								2	0			2
M380	5	3							8	0			8
M381	16								16	0			16
M382	7	3							10	0			10
M383									0	0			0
M384	5								5	0			5
M385	7	1							8	0			8
M386	14	2							16	0			16
M387	18	5							23	0			23
M388	2								2	0			2
M389	1								1	0			1
M390	2								2	0			2
M391	1								1	0			1
M392	11	1							12	0			12
M393	2								2	0			2
M394	5	3							8	0			8
M395									0	0			0
M396	1								1	0		1	2
M397	3								3	0		4	7
M398	10	1							11	0		1	12
M399	3								3	0			3
M400	8	1							9	0			9

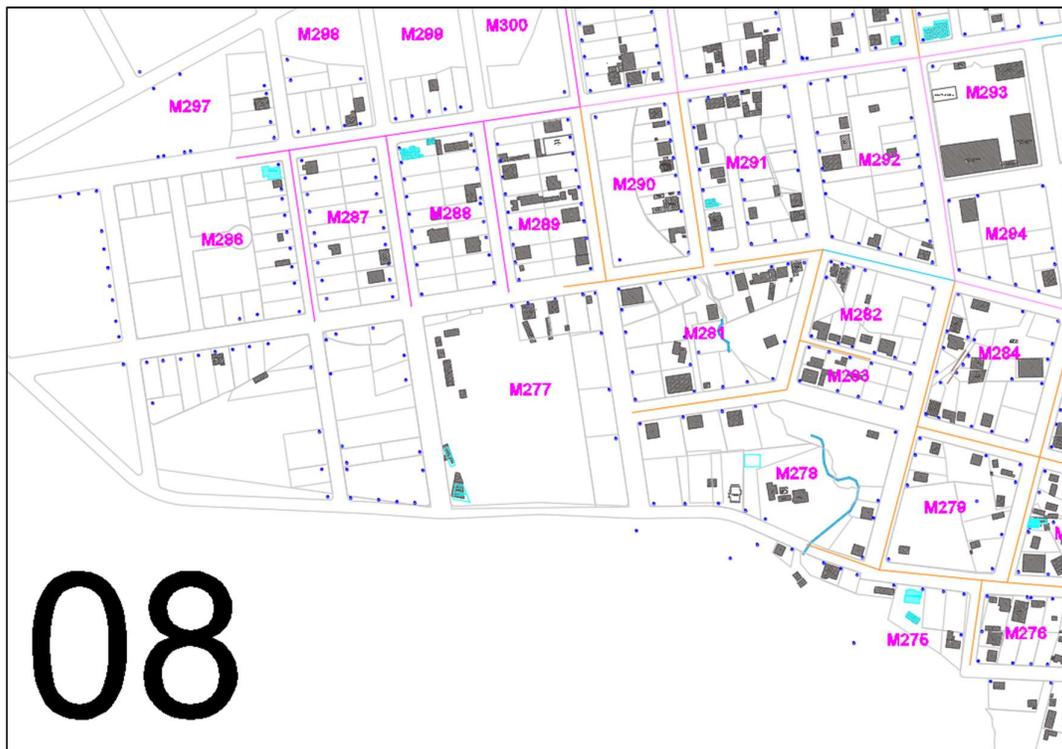
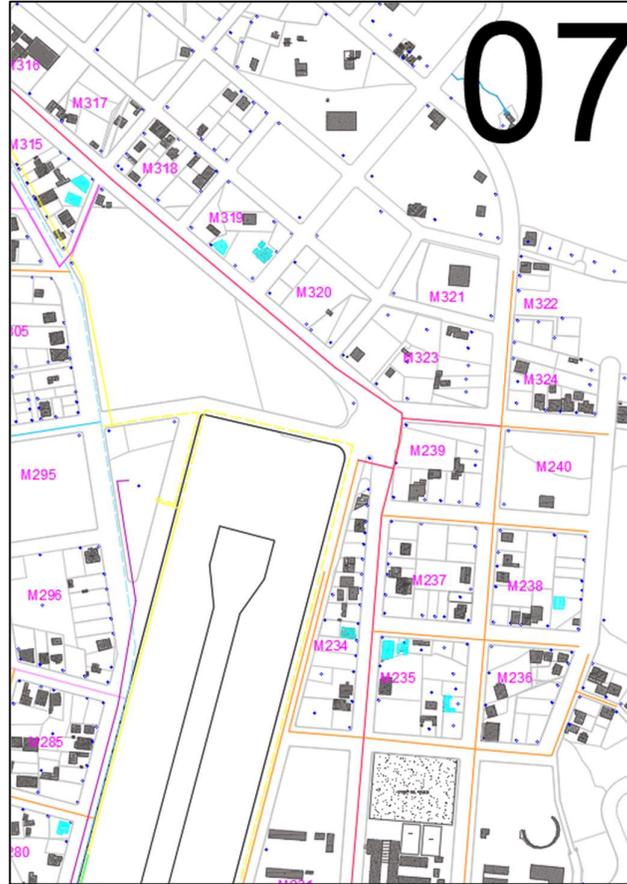


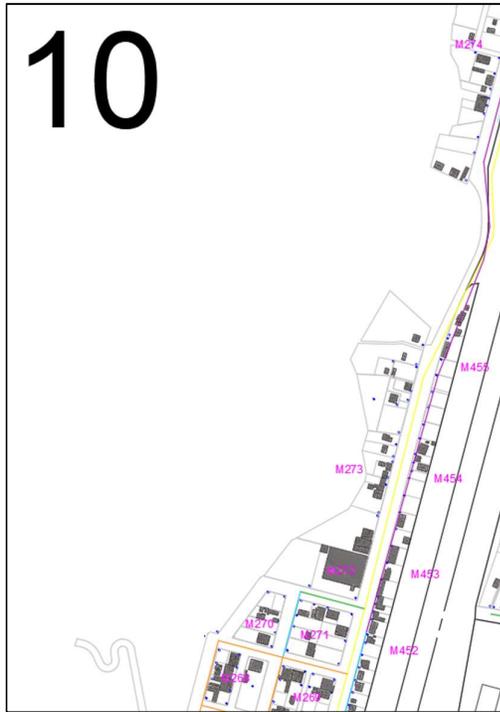
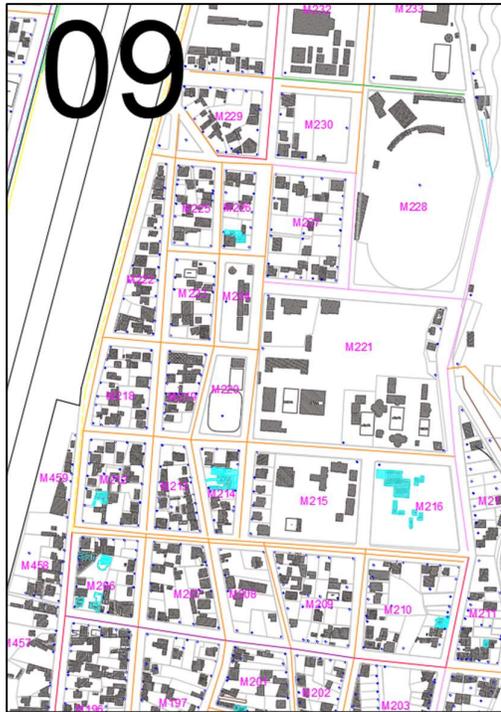
M401	3							3	0			3
M402	3	1						4	0			4
M403	5	1						6	0			6
M404	1							1	0			1
M405	7	1						8	0			8
M406	1							1	0			1
M407	4	1						5	0			5
M408	2	1						3	0		1	4
M409								0	0		4	4
M410	11	1						12	0		1	13
M411	6	1						7	0		1	8
M412								0	0		4	4
M413	5	1						6	0		1	7
M414	19	2						21	0			21
M415	11	1	1					15	1			16
M416	21	2						23	0			23
M417	6	1						7	0			7
M418	18							18	0			18
M419	21	2						23	0		1	24
M420								0	0		4	4
M421	10	2						12	0		1	13
M422	6							6	0		1	7
M423	11							11	0		1	12
M424								0	0		4	4
M424B	9	2						11	0		4	15
M425	16	6	2					28	2		1	31
M426	10	2						12	0			12
M427	22							22	0			22
M428	17	3						20	0			20
M429	13	5						18	0			18
M430	2							2	0			2
M431	18	3						21	0			21
M432	6	1						7	0			7
M433	8							8	0			8
M434	2							2	0			2
M435	10							10	0			10
M436	4							4	0			4
M437	8							8	0			8
M438	5							5	0			5
M439	6							6	0			6
M440	5	1						6	0			6
M441	6							6	0			6
M442	5							5	0			5
M443	1							1	0			1
M444	4							4	0			4
M445	7							7	0			7
M446	5							5	0			5
M447	12							12	0			12
M448	7							7	0			7
M449	4							4	0			4
M450	14							14	0			14
M451	7							7	0			7
M452	5							5	0			5
M453	7							7	0			7
M454	4							4	0			4
M455	5							5	0			5
M456	1							1	0			1
M457	14	13						27	0			27
M458	8	2						10	0			10
M459	7	3						10	0			10
M460	6	2						8	0			8
M461	4	1						5	0			5
M462	23	2						25	0			25
M463	14	4	1					21	1			22
M464	8	2						10	0			10
M465		3						3	0			3
M466	2	4						6	0		1	7
M467								0	0		4	4
M468	9	3	1					15	1		1	17
M469								0	0		4	4
M470	2							2	0		4	6
M471	3	3						6	0		1	7
M472	1	6	1					10	1		1	12
M473	7							7	0		1	8
M474	3	2	1					8	1		4	13
M475	6	1						7	0		1	8



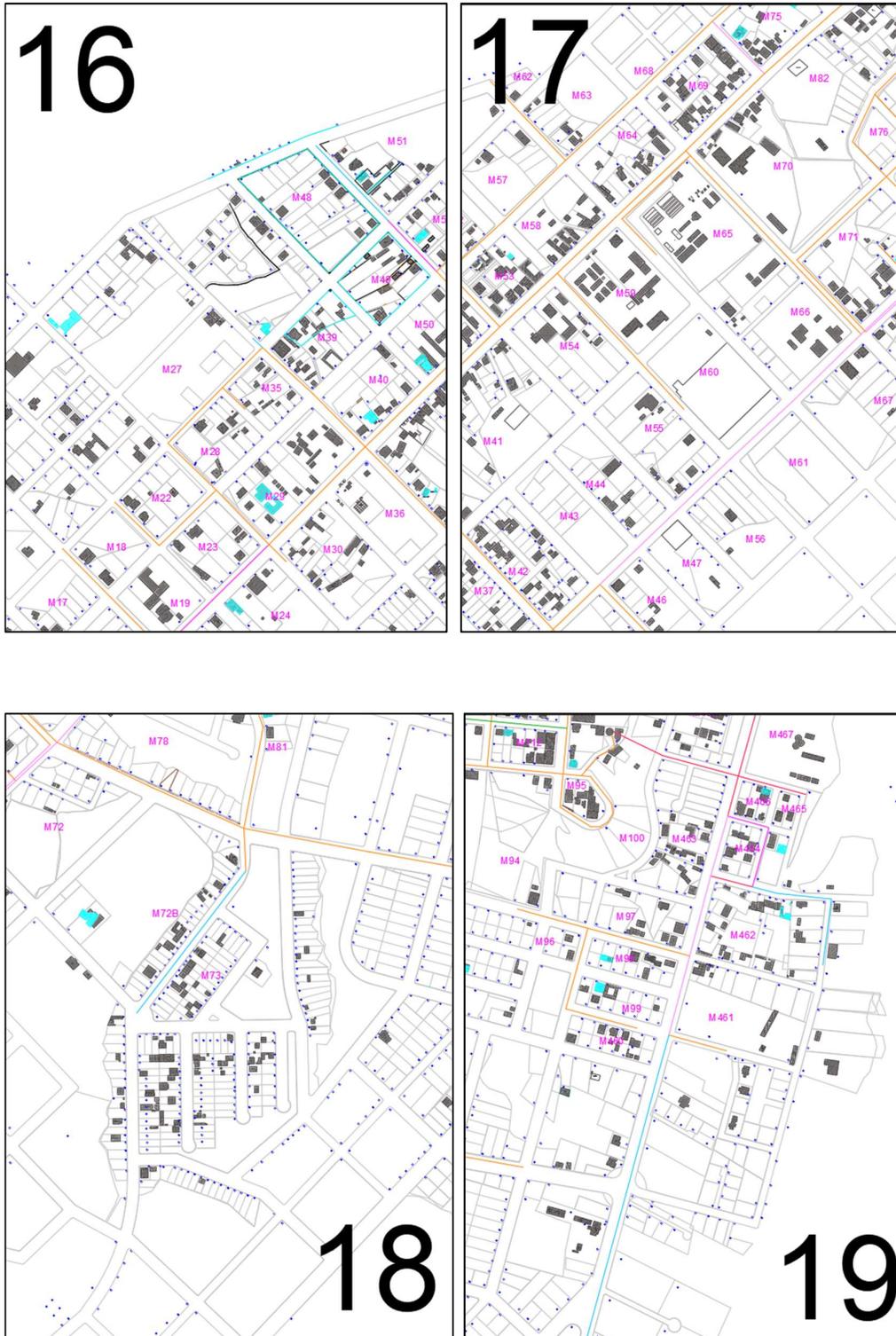


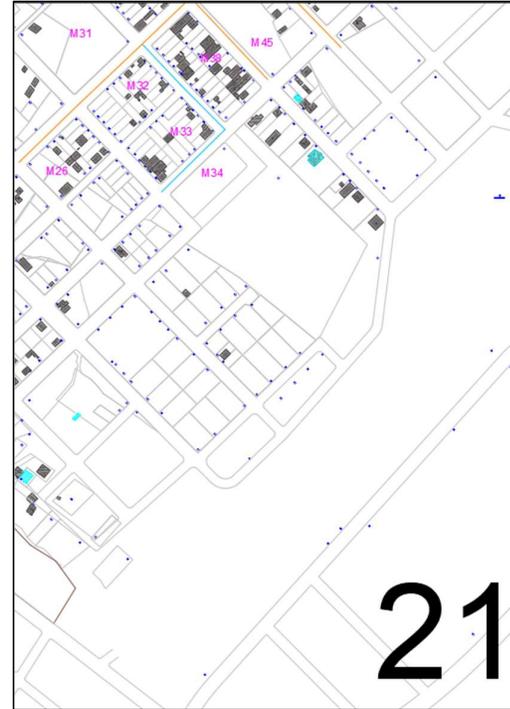
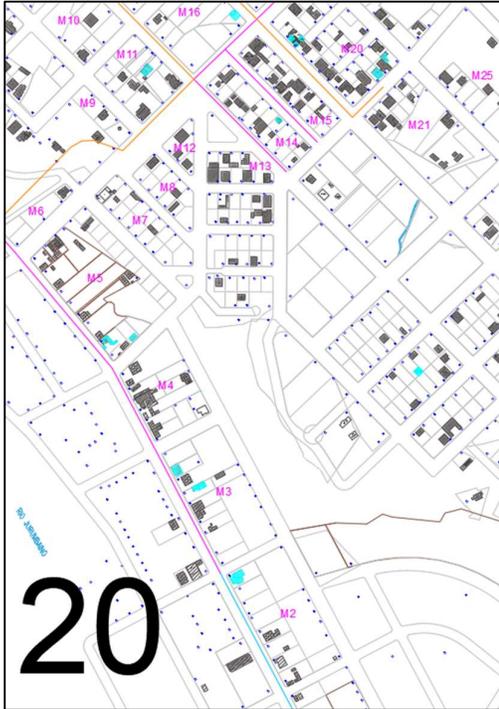














10.2 ANEJO 2. Conteo de acometidas especiales.

INSTITUCIÓN	DIRECCION	m3/mes	l/s	NODO
CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA BENJAMIN CARRION NUCLEO DE MORONA SANTIAGO	/ 10 de Agosto y Soasti	161.00	0.0601	151
COORDINACION ZONAL 6 MAG	CENTRO DE COMERCIALIZACION / Pasaje Peatonal Nelson Erazo	2.00	0.0007	129
COORDINACION ZONAL 6 MAG	CENTRO DE COMERCIALIZACION / Pasaje Peatonal Nelson Erazo	2.00	0.0007	129
DIRECCION GENERAL DE AVIACION CIVIL DIRECCION REGIONAL III	TORRE DE CONTROL / Av. Rio Amazonas y Mariscal Sucre	231.00	0.0862	456
DIRECCION PROVINCIAL AGROPECUARIA DE MORONA SANTIAGO	/ Av. Juan de la Cruz entre Av. 29 de Mayo y Guamoto	55.00	0.0205	142
DIRECCION PROVINCIAL AGROPECUARIA DE MORONA SANTIAGO	/ Av. Juan de la Cruz y Guamoto	27.00	0.0101	142
DIRECCION PROVINCIAL DEL AMBIENTE DE MORONA SANTIAGO	/ Av. Juan de la Cruz entre Av. 29 de Mayo y Guamoto	6.00	0.0022	142
GOBERNACION PROVINCIAL DE MORONA SANTIAGO	/ Av. 29 de Mayo entre Kiruba y Av. Rio Amazonas	18.00	0.0067	129
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	BATERIA SANITARIA MUNICIPAL / Domingo Comin entre Guamoto	228.00	0.0851	169
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	/ Guamoto y 10 de Agosto	5.00	0.0019	149
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	MERCADO NUEVO / Domingo Comin y Guamoto	485.00	0.1811	149
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	CENTRO COMERCIAL MUNICIPAL / Domingo Comin y Av. Rio Am	481.00	0.1798	162
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	(Salón Terminal T.) / 10 de Agosto y Av. Rio Amazonas	155.00	0.0579	162
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	LOCAL COMERCIAL / Tarqui entre Soasti y Av. Rio Amazonas	43.00	0.0161	151
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	MERCADO VIEJO / Domingo Comin entre Guamoto y Av. Rio Amaz	422.00	0.1576	162
OFICINA TECNICA MIDUVI MORONA SANTIAGO	Guamoto y Tarqui	44.00	0.0164	142
BANECAADOR B.P.	/ Simón Bolívar entre Soasti y 24 de Mayo	357.00	0.1333	171
CORPORACION NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES - CNT EP	/ 24 de Mayo entre Mariscal Sucre y Cuenca	8.00	0.0030	183
CORPORACION NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES - CNT EP	/ 24 de Mayo entre Mariscal Sucre y Cuenca	115.00	0.0429	183
CRUZ ROJA DE MORONA SANTIAGO	/ Gavino Rivadeneira entre Soasti y 24 de Mayo	134.00	0.0500	154
CUERPO DE BOMBEROS DEL GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	Esquina / 9 de Octubre y 10 de Agosto	69.00	0.0258	156
DIRECCION DE MOVILIZACION DEL COMANDO CONJUNTO DE LAS FUERZAS ARMADAS	Mariscal Sucre y 9 de Octubre	6.00	0.0022	178
DIRECCION DE MOVILIZACION DEL COMANDO CONJUNTO DE LAS FUERZAS ARMADAS	Mariscal Sucre y 9 de Octubre	7.00	0.0026	178
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	(SS.HH.) / Mariscal Sucre entre 24 de Mayo y 9 de Octubre	190.00	0.0709	178
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ 24 de Mayo entre Mariscal Sucre y Simón Bolívar	59.00	0.0220	178
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ 9 de Octubre y Simón Bolívar	97.00	0.0362	179
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Simón Bolívar y Don Bosco	185.00	0.0691	179
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Pastaza y Don Bosco	423.00	0.1579	158
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ 10 de Agosto y Don Bosco	2.00	0.0007	168
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ 10 de Agosto y Don Bosco	27.00	0.0101	168
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ 10 de Agosto y Don Bosco	148.00	0.0553	168
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ 10 de Agosto y Don Bosco	67.00	0.0250	168
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ 10 de Agosto y Don Bosco	45.00	0.0168	168
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ 10 de Agosto y Don Bosco	75.00	0.0280	168
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	cancha / Don Bosco entre Simón Bolívar y Mariscal Sucre	17.00	0.0063	179
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	(Cistema) / 10 de Agosto y Don Bosco	132.00	0.0493	160
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ 10 de Agosto y Don Bosco	185.00	0.0691	160
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Don Bosco entre 10 de Agosto y Simón Bolívar	3.00	0.0011	168
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	estadio / Don Bosco entre Mariscal Sucre y Simón Bolívar	5.00	0.0019	179
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-SALUD	Tras el generador / Gavino Rivadeneira y 9 de Octubre	461.00	0.1721	146
EMPRESA PUBLICA CORREOS DEL ECUADOR CDE E.P.	/ 9 de Octubre entre Domingo Comin y 10 de Agosto	9.00	0.0034	166
FEDERACION DEPORTIVA DE MORONA SANTIAGO	(Antiguas Oficinas) / 24 de Mayo entre Simón Bolívar y Mariscal Su	1.00	0.0004	180
FEDERACION DEPORTIVA DE MORONA SANTIAGO	Oficinas Administrativas / Don Bosco y Mariscal Sucre	172.00	0.0642	180
GAD DE LA PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO	/ Simón Bolívar y 24 de Mayo	365.00	0.1363	171
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	CASA BARRIAL MUNICIPAL / Gavino Rivadeneira entre 24 de Mayo	91.00	0.0340	154
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	TERCENA / Gavino Rivadeneira entre 24 de Mayo y Soasti	1.00	0.0004	154
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	/ 24 de Mayo y Domingo Comin	1257.00	0.4693	165
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	LOCAL COMERCIAL RECAUDACION EMAPSA-M / Mariscal Sucre	5.00	0.0019	182
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	TEATRO MUNICIPAL / Mariscal Sucre entre 24 de Mayo y Soasti	78.00	0.0291	182
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	9 de Octubre y Simón Bolívar	140.00	0.0523	178
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	/ 24 de Mayo entre Domingo Comin y 10 de Agosto	84.00	0.0314	165
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	BATERIA SANITARIA Parque Clíco / Simón Bolívar entre Don Bosc	21.00	0.0078	173
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	COLISEO LOS CANELOS MUNICIPAL / 9 de Octubre y Pastaza	6.00	0.0022	156
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	frente BNF / Domingo Comin y Peatonal General Proaño	7.00	0.0026	165
PARROQUIA PURISIMA DE MACAS	9 de Octubre y Domingo Comin	24.00	0.0090	174
PARROQUIA PURISIMA DE MACAS	/ Don Bosco y Simón Bolívar	27.00	0.0101	174
UNION NACIONAL DE EDUCADORES NUCLEO DE MORONA SANTIAGO (Rep. Legal Martha Torr	10 de Agosto entre Don Bosco y 9 de Octubre	5.00	0.0019	158
UNION NACIONAL DE EDUCADORES NUCLEO DE MORONA SANTIAGO (Rep. Legal Martha Torr	/ 10 de Agosto entre Don Bosco y 9 de Octubre	34.00	0.0127	158
CEFAS PATRONATO GOBIERNO AUTONOMO PROVINCIAL DE MORONA SANTIAGO	Cuenca entre Soasti y Av. Rio Amazonas	42.00	0.0157	186
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-SALUD	Luxemburgo / Av. Rio Amazonas y Riobamba	23.00	0.0086	457
DIRECCION GENERAL DE AVIACION CIVIL DIRECCION REGIONAL III	OFICINAS (TERMINAL) / Av. Rio Amazonas y Cuenca	172.00	0.0642	456
DIRECCION GENERAL DE AVIACION CIVIL DIRECCION REGIONAL III	HANGAR AUTOBOMBA / Riobamba y Av. Rio Amazonas	7.00	0.0026	456
DIRECCION GENERAL DE AVIACION CIVIL DIRECCION REGIONAL III	VILLAS / Cuenca y Av. Rio Amazonas	3.00	0.0011	456
DIRECCION GENERAL DE AVIACION CIVIL DIRECCION REGIONAL III	Villas / Cuenca y Av. Rio Amazonas	49.00	0.0183	456
DIRECCION GENERAL DE AVIACION CIVIL DIRECCION REGIONAL III	/ Cuenca y Av. Rio Amazonas	16.00	0.0060	456
DIRECCION GENERAL DE AVIACION CIVIL DIRECCION REGIONAL III	HANGAR AUTOBOMBA / Riobamba y Av. Rio Amazonas	7.00	0.0026	457
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	BATERIA SANITARIA / Riobamba entre 9 de Octubre y Don Bosco	183.00	0.0683	194
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	PARQUE RECREACIONAL / Randimpa y Don Bosco	10.00	0.0037	205
CASA DE LA CULTURA ECUATORIANA BENJAMIN CARRION NUCLEO DE MORONA SANTIAGO	/ Av. Ciudad	3.00	0.0011	151
CENTRO CLINICO QUIRURGICO AMBULATORIO (HOSPITAL DEL DIA) - MACAS	A lado de la Escuela Especial (construccion) / Av. Ciudad	1123.00	0.4193	469
CENTRO CLINICO QUIRURGICO AMBULATORIO (HOSPITAL DEL DIA) - MACAS	A lado de la Escuela Especial / Av. Ciudad	50.00	0.0187	469
CONGREGACION DE LAS HERMANITAS DE LOS ANCIANOS DESAMPARADOS	/ Av. Ciudad	50.00	0.0187	461
CONSEJO NACIONAL ELECTORAL DELEGACION PROVINCIAL DE MORONA SANTIAGO	/ Manuel Moncayo y 24 de Mayo	104.00	0.0388	95
CONTRALORIA GENERAL DEL ESTADO	A LADO DEL COLEGIO DE ARQUITECTOS / Comte. Manuel Bejar	177.00	0.0661	119
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	(LUXEMBURGO) / 24 de Mayo entre Manuel Moncayo y Mercedes f	49.00	0.0183	113
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Av. Ciudad	398.00	0.1486	467
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Av. Ciudad entre Julio Artega y Pedro Jaramillo Velín	57.00	0.0213	467
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Av. Ciudad	3.00	0.0011	467
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-SALUD	/ Julio Artega entre Av. Ciudad y Justo Elias Ortiz	497.00	0.1856	470
FISCALIA DE MORONA SANTIAGO	/ Av. Juan de la Cruz entre 24 de Mayo y Soasti	65.00	0.0243	138
GAD DE LA PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO	(MECANICA) / Av. Ciudad	528.00	0.1971	474
GOBERNACION PROVINCIAL DE MORONA SANTIAGO	Antes a nombre de Demarcacion Hidrograica / Kiruba entre Av. Rio A	10.00	0.0037	142
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	(PISCINA MUNICIPAL) / 24 de Mayo entre Av. Cap. José Villanueva	1621.00	0.6052	113
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	/ 24 de Mayo y Av. Cap. José Villanueva Maldonado	637.00	0.2378	113
INSTITUTO ECUATORIANO DE SEGURIDAD SOCIAL IESS	/ Justo Elias Ortiz y Julio Artega	42.00	0.0157	469
UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA -SEDE MACAS	(tote) / Av. Rio Amazonas entre Juan de Salinas y Av. Cap. José Vill	50.00	0.0187	123
UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA -SEDE MACAS	(tote) / Av. Rio Amazonas entre Juan de Salinas y Av. Cap. José Vill	50.00	0.0187	123
UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA	/ Comte. Manuel Bejarano y 9 de Octubre	1.00	0.0004	122



CENTRO AGRICOLA DEL CANTON MORONA	/ Pedro Canjal entre Hernando de Benavente y Padre Albino del C	21,00	0,0078	233
CENTRO AGRICOLA DEL CANTON MORONA	(Resinto Ferial) / Padre Albino del Curto y Pedro Noguera	142,00	0,0530	233
CENTRO AGRICOLA DEL CANTON MORONA	(Recinto Ferial) / Padre Albino del Curto y Dionisio Rvadenreira	12,00	0,0045	233
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Rafael Rvadenreira	27,00	0,0101	221
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Hernando de Benavente	725,00	0,2707	221
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Hernando de Benavente entre Pedro Noguera y Dionisio Rvadenreira	355,00	0,1325	231
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Rafael Rvadenreira entre Don Bosco y 9 de Octubre	73,00	0,0273	221
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Rafael Rvadenreira y 9 de Octubre	198,00	0,0739	221
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Hernando de Benavente entre Pedro Noguera y Dionisio Rvadenreira	11,00	0,0041	232
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Hernando de Benavente y Pedro Noguera	119,00	0,0444	232
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Don Bosco y Rafael Rvadenreira	236,00	0,0881	221
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Padre Albino del Curto y Pedro Noguera	397,00	0,1482	232
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Rafael Rvadenreira	126,00	0,0470	221
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Padre Albino del Curto y Pedro Noguera	31,00	0,0116	232
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Pedro Noguera entre Hernando de Benavente y Padre Albino del C	316,00	0,1180	232
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Hernando de Benavente y Pedro Noguera	378,00	0,1411	231
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-MIES	/ Hernando de Benavente y Manuel M. González	1,00	0,0004	224
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-MIES	/ Hernando de Benavente y Manuel M. González	7,00	0,0026	224
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-MIES	JUNTO INST. JOSE FELIX PINTADO / Hernando de Benavente y SN	117,00	0,0437	221
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-MIES	/ Hernando de Benavente y Mons. José Felix Pintado	174,00	0,0650	221
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	/ Don Bosco y Pedro Noguera	437,00	0,1632	233
FUNDACION CHANKUAP RECURSOS PARA EL FUTURO Rep. Legal Sosa Villacres Adriana Ionna	/ Vidal Rvadenreira entre 9 de Octubre y Hernando de Benavente	33,00	0,0123	215
FUNDACION CHANKUAP RECURSOS PARA EL FUTURO Rep. Legal Sosa Villacres Adriana Ionna	/ Vidal Rvadenreira entre 9 de Octubre y Hernando de Benavente	79,00	0,0295	215
INSTITUTO PARA EL ECODesarrollo REGIONAL AMAZONICO	/ Pedro Canjal entre Hernando de Benavente y Padre Albino del C	8,00	0,0030	227
MINISTERIO DEL DEPORTE	(Estadio) / Padre Albino del Curto y Mons. José Felix Pintado	96,00	0,0358	228
MINISTERIO DEL DEPORTE	(CASA DEL DEPORTISTA) / Padre Albino del Curto y Pedro Noguera	2,00	0,0007	228
MINISTERIO DEL DEPORTE	/ Don Bosco y Mons. José Felix Pintado	921,00	0,3439	228
MINISTERIO DEL DEPORTE	estadio / Pedro Noguera y Padre Albino del Curto	1764,00	0,6586	228
MINISTERIO DEL DEPORTE	(Estadio) / Mons. José Felix Pintado y Padre Albino del Curto	20,00	0,0075	228
DEFENSORIA DEL PUEBLO	/ Juan Cózar A.	35,00	0,0131	103
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-MIES	a tras del cementerio / Av. Luis Felipe Jaramillo y Av. 29 de Mayo	1,00	0,0004	166
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-MIES	ALBORADA (ORI) / 1 de Mayo y Martina Jaramillo	66,00	0,0246	166
UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA -SEDE MACAS	/ Av. Cap. José Villanueva Maldonado entre Av. 29 de Mayo y Av. F	32,00	0,0119	104
UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA -SEDE MACAS	/ Av. Cap. José Villanueva Maldonado entre Av. 29 de Mayo y Av. F	38,00	0,0142	104
AGENCIA NACIONAL DE REGULACION Y CONTROL DEL TRANSPORTE TERRESTRE TRANSITO	/ Av. 29 de Mayo	50,00	0,0187	165
ASOCIACION ECUATORIANA DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD DEL CANTON MORONA AP	/ Av. 29 de Mayo	8,00	0,0030	165
COMANDANCIA PROVINCIAL DE POLICIA MORONA SANTIAGO # 17	/ Av. 29 de Mayo	258,00	0,0963	59
COMANDANCIA PROVINCIAL DE POLICIA MORONA SANTIAGO # 17	(Comedor) / Av. 29 de Mayo	292,00	0,1090	59
COMANDANCIA PROVINCIAL DE POLICIA MORONA SANTIAGO # 17	/ Av. 29 de Mayo	462,00	0,1725	59
COORDINACION DE JUSTICIA, DERECHOS HUMANOS Y CULTOS PARA LA ZONA 6	/ Cap. Eduardo Zeas y Av. 29 de Mayo	799,00	0,2983	59
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Av. Luis Felipe Jaramillo y José María Rvadenreira	73,00	0,0273	45
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Modesta Rvadenreira entre Av. Luis Felipe Jaramillo y Avelino Jara	57,00	0,0213	45
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Modesta Rvadenreira entre Av. Luis Felipe Jaramillo y Avelino Jara	59,00	0,0220	45
EMPRESA ELECTRICA REGIONAL CENTRO SUR C.A.	Frete al cementerio / Benjamín Delgado y Av. 29 de Mayo	42,00	0,0157	70
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	CEMENTERIO MUNICIPAL / Av. 29 de Mayo	94,00	0,0351	65
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	CAMAL MUNICIPAL / Av. 29 de Mayo	1500,00	0,5600	6
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	camal / Av. 29 de Mayo	92,00	0,0343	6
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	Cementerio / Av. 29 de Mayo	8,00	0,0030	65
COORDINACION ZONAL 6 SERVICIO INTEGRADO DE SEGURIDAD ECU 911	/ Av. Jaime Roldos Aguilera y José María Velasco Ibarra	69,00	0,0258	265
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Pedro V. Maldonado y Vicente Rocafuerte	48,00	0,0179	245
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ 12 de Febrero y Isidro Ayora	20,00	0,0075	259
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ 12 de Febrero	7,00	0,0026	259
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Pedro V. Maldonado y Vicente Rocafuerte	50,00	0,0187	245
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ 12 de Febrero	50,00	0,0187	74
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ 12 de Febrero	20,00	0,0075	74
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-SALUD	/ Isidro Ayora y 12 de Febrero	17,00	0,0063	259
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	Tras del mercado la Union / Camino Real y Humberto Jácome	20,00	0,0075	272
CEFAS PATRONATO GOBIERNO AUTÓNOMO PROVINCIAL DE MORONA SANTIAGO	/ María Justa Rvadenreira y Padre Juan Brito	50,00	0,0187	328
CONAGOPARE MORONA SANTIAGO	/ Eulalia Velín y Tobias Rodríguez Cox	3,00	0,0011	336
CONGREGACION DE LAS HERMANITAS DE LOS ANCIANOS DESAMPARADOS	/ María Justa Rvadenreira	574,00	0,2143	336
COORDINACION ZONAL 6 DE REGISTRO CIVIL IDENTIFICACION Y CEDULACION	/ Leonador Rvadenreira y Mario Jaramillo Merino	119,00	0,0444	276
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-MIES	/ Luisa Jaramillo y Victor Delgado	203,00	0,0758	300
GAD DE LA PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO	(PALACIO DEL NIÑO) / Av.13 De Abril y María Justa Rvadenreira	113,00	0,0422	328
HOSPITAL GENERAL DE MACAS	/ Eulalia Velín y Tobias Rodríguez Cox	720,00	0,2688	337
MINISTERIO DEL INTERIOR	UPC / esquina / Cromacio Velín y Mario Jaramillo Merino	40,00	0,0149	294
DEMARCACION HIDROGRAFICA DE SANTIAGO	/ Av.13 De Abril	224,00	0,0836	358
MINISTERIO DEL DEPORTE	POLIDEPORTIVO Climaco Rvadenreira y / Av.13 De Abril	1127,00	0,4208	347
COMANDANCIA PROVINCIAL DE POLICIA MORONA SANTIAGO # 17	UPC tras la Junta P. de Proaño / c4* y CP*	13,00	0,0049	386
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	(1) / SN*	50,00	0,0187	382
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	(2) / SN*	165,00	0,0616	382
DIRECCION PROVINCIAL DEL CONSEJO DE LA JUDICATURA - MORONA SANTIAGO	(1) / ca* entre c5* y c6*	100,00	0,0373	397
DIRECCION PROVINCIAL DEL CONSEJO DE LA JUDICATURA - MORONA SANTIAGO	(2) / ca* entre c5* y c6*	1,00	0,0004	397
DIRECCION PROVINCIAL DEL CONSEJO DE LA JUDICATURA - MORONA SANTIAGO	(3) / ca* entre c5* y c6*	10,00	0,0037	397
GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO PARROQUIAL RURAL DE GENERAL PROAÑO	Oficinas / c4* entre cb* y Av 2 De Abril	21,00	0,0078	386
GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO PARROQUIAL RURAL DE GENERAL PROAÑO	espacio cubierto / Av 2 De Abril	22,00	0,0082	386
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	CASA COMUNAL / SN*	83,00	0,0310	386
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	MERCADO DE GRAL. PROAÑO / SN*	133,00	0,0497	382
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ Via A San Isidro	50,00	0,0187	440
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ SN*	76,00	0,0284	412
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ SN*	50,00	0,0187	412
DIRECCION DISTRITAL 14D01-MORONA-EDUCACION	/ 6 De Septiembre y Sangay	113,00	0,0422	412
DIRECCION PROVINCIAL DEL AMBIENTE DE MORONA SANTIAGO	/ SN*	3,00	0,0011	421
GOBIERNO AUTONOMO PARROQUIAL DE SAN ISIDRO	Seguro Campesino / 15 De Mayo y 6 De Septiembre	2,00	0,0007	420
GOBIERNO AUTONOMO PARROQUIAL DE SAN ISIDRO	Seguro Campesino / 15 De Mayo y 6 De Septiembre	1,00	0,0004	420
GOBIERNO AUTONOMO PARROQUIAL DE SAN ISIDRO	Seguro Campesino / 15 De Mayo y 6 De Septiembre	4,00	0,0015	420
GOBIERNO AUTONOMO PARROQUIAL DE SAN ISIDRO	Seguro Campesino / 15 De Mayo y 6 De Septiembre	8,00	0,0030	420
GOBIERNO AUTONOMO PARROQUIAL DE SAN ISIDRO	Seguro Campesino / 15 De Mayo y 6 De Septiembre	1,00	0,0004	420
GOBIERNO AUTONOMO PARROQUIAL DE SAN ISIDRO	Seguro Campesino / 15 De Mayo y 6 De Septiembre	183,00	0,0683	420
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	CASA COMUNAL SAN ISIDRO / SN*	2,00	0,0007	420
GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTON MORONA	(CIBV LOS TRAVESITOS) - SAN ISIDRO / SN*	69,00	0,0258	420
INSTITUTO ECUATORIANO DE SEGURIDAD SOCIAL IESS	Seguro Campesino / SN*	26,00	0,0097	421



10.3 ANEJO 3. Resumen asignación caudales.

MANZANA	TOTAL ACOMETIDAS NORMALES	CAUDAL ACOMETIDA lps	CAUDAL ESPECIALES lps	CAUDAL MANZANA lps	NODO	MANZANA	TOTAL ACOMETIDAS NORMALES	CAUDAL ACOMETIDA lps	CAUDAL ESPECIALES lps	CAUDAL MANZANA lps	NODO
M1	8	0.01024	0.0000	0.0819	580	M80	17	0.01024	0.0000	0.1740	560
M2	13	0.01024	0.0000	0.1331	581	M81	3	0.01024	0.0000	0.0307	118
M3	15	0.01024	0.0000	0.1536	587	M82	1	0.01024	0.0000	0.0102	241
M4	25	0.01024	0.0000	0.2559	588	M83	44	0.01024	0.0000	0.4505	240
M5	25	0.01024	0.0000	0.2559	589	M84	26	0.01024	0.0000	0.2662	243
M6	1	0.01024	0.5944	0.6046	590	M85	44	0.01024	0.0000	0.4505	236
M7	4	0.01024	0.0000	0.0410	601	M86	24	0.01024	0.0000	0.2457	235
M8	3	0.01024	0.0000	0.0307	601	M87	20	0.01024	0.0000	0.2048	231
M9	10	0.01024	0.0000	0.1024	601	M88	11	0.01024	0.0000	0.1126	233
M10	3	0.01024	0.0000	0.0307	604	M89	12	0.01024	0.0000	0.1229	229
M11	9	0.01024	0.0000	0.0921	603	M90	19	0.01024	0.0000	0.1945	228
M12	3	0.01024	0.0000	0.0307	602	M91	12	0.01024	0.0000	0.1229	116
M13	8	0.01024	0.0000	0.0819	599	M92	21	0.01024	0.0000	0.2150	114
M14	13	0.01024	0.0000	0.1331	599	M93	2	0.01024	0.0000	0.0205	112
M15	14	0.01024	0.0000	0.1433	599	M94	2	0.01024	0.0000	0.0205	111
M16	3	0.01024	0.0000	0.0307	597	M95	9	0.01024	0.0388	0.1310	105
M17	8	0.01024	0.0000	0.0819	604	M96	3	0.01024	0.0000	0.0307	653
M18	6	0.01024	0.0000	0.0614	605	M97	9	0.01024	0.0000	0.0921	324
M19	5	0.01024	0.0000	0.0512	606	M98	7	0.01024	0.0000	0.0717	652
M20	34	0.01024	0.0000	0.3481	607	M99	7	0.01024	0.0000	0.0717	326
M21	19	0.01024	0.0000	0.1945	608	M100	1	0.01024	0.0000	0.0102	258
M22	5	0.01024	0.0000	0.0512	611	M101	22	0.01024	0.0000	0.2252	216
M23	13	0.01024	0.0000	0.1331	610	M102	14	0.01024	0.0000	0.1433	217
M24	8	0.01024	0.0000	0.0819	595	M103	10	0.01024	0.0131	0.1154	221
M25	8	0.01024	0.0000	0.0819	623	M104	24	0.01024	0.0261	0.2718	222
M26	9	0.01024	0.0000	0.0921	623	M105	16	0.01024	0.0000	0.1638	223
M27	3	0.01024	0.0000	0.0307	613	M106	0	0.01024	0.0000	0.0000	222
M28	8	0.01024	0.0000	0.0819	609	M107	18	0.01024	0.0000	0.1843	200
M29	14	0.01024	0.0000	0.1433	594	M108	14	0.01024	0.0000	0.1433	201
M30	13	0.01024	0.0000	0.1331	612	M109	7	0.01024	0.0000	0.0717	112
M31	1	0.01024	0.0000	0.0102	622	M110	14	0.01024	0.0000	0.1433	224
M32	8	0.01024	0.0000	0.0819	622	M111	17	0.01024	0.0000	0.1740	237
M33	9	0.01024	0.0000	0.0921	583	M112	11	0.01024	0.0000	0.1126	111
M34	8	0.01024	0.0000	0.0819	583	M113	4	0.01024	0.8613	0.9023	104
M35	9	0.01024	0.0000	0.0921	585	M114	18	0.01024	0.0000	0.1843	199
M36	4	0.01024	0.0000	0.0410	618	M115	14	0.01024	0.0000	0.1433	219
M37	19	0.01024	0.0000	0.1945	619	M116	12	0.01024	0.0000	0.1229	102
M38	21	0.01024	0.0000	0.2150	620	M117	4	0.01024	0.0000	0.0410	188
M39	27	0.01024	0.0000	0.2764	585	M118	0	0.01024	0.0000	0.0000	206
M40	12	0.01024	0.0000	0.1229	617	M119	9	0.01024	0.0661	0.1582	197
M41	31	0.01024	0.0000	0.3174	617	M120	8	0.01024	0.0000	0.0819	211
M42	26	0.01024	0.0000	0.2662	620	M121	10	0.01024	0.0000	0.1024	101
M43	0	0.01024	0.0000	0.0000	625	M122	9	0.01024	0.0004	0.0925	187
M44	10	0.01024	0.0000	0.1024	645	M123	39	0.01024	0.0373	0.4366	196
M45	2	0.01024	0.0706	0.0910	621	M124	21	0.01024	0.0000	0.2150	181
M46	10	0.01024	0.0000	0.1024	626	M125	28	0.01024	0.0000	0.2867	100
M47	1	0.01024	0.0000	0.0102	645	M126	20	0.01024	0.0000	0.2048	186
M48	7	0.01024	0.0000	0.0717	591	M127	17	0.01024	0.0000	0.1740	205
M49	14	0.01024	0.0000	0.1433	592	M128	15	0.01024	0.0000	0.1536	191
M50	15	0.01024	0.0000	0.1536	628	M129	63	0.01024	0.0082	0.6532	191
M51	23	0.01024	0.0000	0.2355	591	M130	35	0.01024	0.0000	0.3583	195
M52	12	0.01024	0.0000	0.1229	593	M131	39	0.01024	0.0000	0.3993	180
M53	23	0.01024	0.0000	0.2355	628	M132	15	0.01024	0.0000	0.1536	210
M54	9	0.01024	0.0000	0.0921	629	M133	14	0.01024	0.0000	0.1433	185
M55	18	0.01024	0.0000	0.1843	633	M134	52	0.01024	0.0000	0.5324	168
M56	6	0.01024	0.0000	0.0614	646	M135	28	0.01024	0.0000	0.2867	168
M57	3	0.01024	0.0000	0.0307	638	M136	45	0.01024	0.0000	0.4607	168
M58	22	0.01024	0.0000	0.2252	638	M137	42	0.01024	0.0000	0.4300	194
M59	0	0.01024	0.6761	0.6761	629	M138	39	0.01024	0.0243	0.4235	179
M60	1	0.01024	0.0000	0.0102	632	M139	29	0.01024	0.0000	0.2969	202
M61	0	0.01024	0.0000	0.0000	647	M140	16	0.01024	0.0000	0.1638	184
M62	1	0.01024	0.0000	0.0102	636	M141	36	0.01024	0.0000	0.3686	170
M63	5	0.01024	0.0000	0.0512	635	M142	69	0.01024	0.0530	0.7594	167
M64	17	0.01024	0.0000	0.1740	634	M143	2	0.01024	0.0000	0.0205	171
M65	6	0.01024	0.0381	0.0995	641	M144	62	0.01024	0.0000	0.6348	172
M66	0	0.01024	0.0000	0.0000	648	M145	46	0.01024	0.0000	0.4709	173
M67	9	0.01024	0.0000	0.0921	239	M146	27	0.01024	0.1721	0.4485	174
M68	0	0.01024	0.0000	0.0000	637	M147	13	0.01024	0.0000	0.1331	183
M69	30	0.01024	0.0000	0.3071	631	M148	40	0.01024	0.0000	0.4095	358
M70	13	0.01024	0.0157	0.1488	642	M149	79	0.01024	0.1829	0.9917	169
M71	17	0.01024	0.0000	0.1740	555	M150	77	0.01024	0.0000	0.7883	166
M72	8	0.01024	0.0000	0.0819	239	M151	118	0.01024	0.0773	1.2854	86
M72B	10	0.01024	0.0000	0.1024	121	M152	46	0.01024	0.0000	0.4709	354
M73	17	0.01024	0.0000	0.1740	122	M153	70	0.01024	0.0000	0.7167	92
M74	3	0.01024	0.0261	0.0568	242	M154	57	0.01024	0.0844	0.6679	178
M75	16	0.01024	0.0000	0.1638	241	M155	14	0.01024	0.0000	0.1433	661
M76	0	0.01024	0.0000	0.0000	567	M156	18	0.01024	0.0280	0.2123	175
M77	0	0.01024	0.0000	0.0000	559	M157	51	0.01024	0.0000	0.5221	353
M78	3	0.01024	0.0000	0.0307	571	M158	35	0.01024	0.1725	0.5308	135
M79	0	0.01024	0.0000	0.0000	565	M159	20	0.01024	0.0000	0.2048	148



MANZANA	TOTAL ACOMETIDAS NORMALES	CAUDAL ACOMETIDA lps	CAUDAL ESPECIALES lps	CAUDAL MANZANA lps	NODO	MANZANA	TOTAL ACOMETIDAS NORMALES	CAUDAL ACOMETIDA lps	CAUDAL ESPECIALES lps	CAUDAL MANZANA lps	NODO
M160	26	0.01024	0.1184	0.3845	147	M240	0	0.01024	0.0000	0.0000	370
M161	28	0.01024	0.0000	0.2867	176	M241	11	0.01024	0.0000	0.1126	213
M162	0	0.01024	0.3950	0.3950	165	M242	20	0.01024	0.0000	0.2048	213
M163	55	0.01024	0.0000	0.5631	85	M243	13	0.01024	0.0000	0.1331	214
M164	17	0.01024	0.0000	0.1740	91	M244	24	0.01024	0.0000	0.2457	215
M165	23	0.01024	0.5249	0.7604	346	M245	4	0.01024	0.0366	0.0775	287
M166	36	0.01024	0.0284	0.3969	345	M246	14	0.01024	0.0000	0.1433	279
M167	25	0.01024	0.0000	0.2559	134	M247	23	0.01024	0.0000	0.2355	270
M168	0	0.01024	0.1370	0.1370	146	M248	16	0.01024	0.0000	0.1638	285
M169	38	0.01024	0.0851	0.4742	162	M249	9	0.01024	0.0000	0.0921	280
M170	42	0.01024	0.0000	0.4300	351	M250	23	0.01024	0.0000	0.2355	271
M171	21	0.01024	0.2696	0.4846	349	M251	11	0.01024	0.0000	0.1126	289
M172	0	0.01024	0.0000	0.0000	348	M252	25	0.01024	0.0000	0.2559	281
M173	0	0.01024	0.0078	0.0078	350	M253	11	0.01024	0.0000	0.1126	272
M174	2	0.01024	0.0190	0.0395	145	M254	17	0.01024	0.0000	0.1740	291
M175	38	0.01024	0.0000	0.3890	160	M255	18	0.01024	0.0000	0.1843	282
M176	58	0.01024	0.0000	0.5938	84	M256	19	0.01024	0.0000	0.1945	273
M177	73	0.01024	0.0000	0.7474	90	M257	24	0.01024	0.0000	0.2457	283
M178	0	0.01024	0.1501	0.1501	99	M258	16	0.01024	0.0000	0.1638	274
M179	0	0.01024	0.1135	0.1135	133	M259	15	0.01024	0.0164	0.1700	292
M180	0	0.01024	0.0646	0.0646	145	M260	25	0.01024	0.0000	0.2559	275
M181	39	0.01024	0.0000	0.3993	83	M261	14	0.01024	0.0000	0.1433	293
M182	40	0.01024	0.0310	0.4405	89	M262	17	0.01024	0.0000	0.1740	276
M183	42	0.01024	0.0459	0.4759	98	M263	9	0.01024	0.0000	0.0921	294
M184	56	0.01024	0.0000	0.5733	132	M264	17	0.01024	0.0000	0.1740	277
M185	17	0.01024	0.0000	0.1740	144	M265	0	0.01024	0.0258	0.0258	266
M186	40	0.01024	0.0157	0.4252	158	M266	40	0.01024	0.0000	0.4095	303
M187	42	0.01024	0.0000	0.4300	88	M267	22	0.01024	0.0000	0.2252	268
M188	43	0.01024	0.0000	0.4402	97	M268	16	0.01024	0.0000	0.1638	302
M189	33	0.01024	0.0000	0.3379	131	M269	13	0.01024	0.0000	0.1331	300
M190	9	0.01024	0.0000	0.0921	143	M270	5	0.01024	0.0000	0.0512	301
M191	40	0.01024	0.0000	0.4095	157	M271	6	0.01024	0.0000	0.0614	299
M192	30	0.01024	0.0000	0.3071	87	M272	5	0.01024	0.0075	0.0587	298
M193	47	0.01024	0.0000	0.4812	96	M273	15	0.01024	0.0000	0.1536	298
M194	22	0.01024	0.0683	0.2936	130	M274	15	0.01024	0.0000	0.1536	364
M195	9	0.01024	0.0000	0.0921	142	M275	8	0.01024	0.0000	0.0819	363
M196	57	0.01024	0.0000	0.5836	154	M276	18	0.01024	0.0444	0.2287	363
M197	48	0.01024	0.0000	0.4914	72	M277	2	0.01024	0.0000	0.0205	367
M198	38	0.01024	0.0000	0.3890	95	M278	8	0.01024	0.0000	0.0819	365
M199	35	0.01024	0.0000	0.3583	129	M279	8	0.01024	0.0000	0.0819	50
M200	11	0.01024	0.0000	0.1126	140	M280	17	0.01024	0.0000	0.1740	52
M201	32	0.01024	0.0000	0.3276	94	M281	12	0.01024	0.0000	0.1229	367
M202	13	0.01024	0.0000	0.1331	125	M282	8	0.01024	0.0000	0.0819	362
M203	21	0.01024	0.0000	0.2150	128	M283	4	0.01024	0.0000	0.0410	366
M204	11	0.01024	0.0000	0.1126	138	M284	12	0.01024	0.0000	0.1229	49
M205	0	0.01024	0.0037	0.0037	139	M285	13	0.01024	0.0000	0.1331	53
M206	33	0.01024	0.0000	0.3379	392	M286	3	0.01024	0.0000	0.0307	42
M207	28	0.01024	0.0000	0.2867	73	M287	3	0.01024	0.0000	0.0307	42
M208	5	0.01024	0.0000	0.0512	81	M288	8	0.01024	0.0000	0.0819	43
M209	33	0.01024	0.0000	0.3379	124	M289	15	0.01024	0.0000	0.1536	44
M210	17	0.01024	0.0000	0.1740	127	M290	7	0.01024	0.0000	0.0717	36
M211	18	0.01024	0.0000	0.1843	137	M291	16	0.01024	0.0000	0.1638	38
M212	29	0.01024	0.0000	0.2969	82	M292	8	0.01024	0.0000	0.0819	35
M213	20	0.01024	0.0000	0.2048	75	M293	0	0.01024	0.0000	0.0000	671
M214	13	0.01024	0.0000	0.1331	79	M294	2	0.01024	0.0149	0.0354	34
M215	8	0.01024	0.0418	0.1237	123	M295	0	0.01024	0.0000	0.0000	33
M216	0	0.01024	0.0000	0.0000	126	M296	12	0.01024	0.0000	0.1229	430
M217	6	0.01024	0.0000	0.0614	136	M297	1	0.01024	0.0000	0.0102	433
M218	25	0.01024	0.0000	0.2559	64	M298	2	0.01024	0.0000	0.0205	41
M219	14	0.01024	0.0000	0.1433	65	M299	1	0.01024	0.0000	0.0102	40
M220	0	0.01024	0.0000	0.0000	66	M300	0	0.01024	0.0758	0.0758	39
M221	0	0.01024	0.6257	0.6257	28	M301	15	0.01024	0.0000	0.1536	32
M222	33	0.01024	0.0000	0.3379	63	M302	15	0.01024	0.0000	0.1536	4
M223	14	0.01024	0.0000	0.1433	76	M303	15	0.01024	0.0000	0.1536	431
M224	0	0.01024	0.0030	0.0030	68	M304	22	0.01024	0.0000	0.2252	46
M225	11	0.01024	0.0000	0.1126	77	M305	12	0.01024	0.0000	0.1229	33
M226	8	0.01024	0.0000	0.0819	69	M306	3	0.01024	0.0000	0.0307	670
M227	20	0.01024	0.0030	0.2077	25	M307	9	0.01024	0.0000	0.0921	429
M228	0	0.01024	1.0465	1.0465	56	M308	4	0.01024	0.0000	0.0410	322
M229	23	0.01024	0.0000	0.2355	388	M309	6	0.01024	0.0000	0.0614	317
M230	4	0.01024	0.0000	0.0410	24	M310	6	0.01024	0.0000	0.0614	316
M231	0	0.01024	0.2737	0.2737	391	M311	13	0.01024	0.0000	0.1331	669
M232	0	0.01024	0.3263	0.3263	385	M312	15	0.01024	0.0000	0.1536	320
M233	0	0.01024	0.2285	0.2285	151	M313	18	0.01024	0.0000	0.1843	429
M234	8	0.01024	0.0000	0.0819	374	M314	4	0.01024	0.0000	0.0410	17
M235	10	0.01024	0.0000	0.1024	304	M315	10	0.01024	0.0000	0.1024	435
M236	16	0.01024	0.0000	0.1638	58	M316	5	0.01024	0.0000	0.0512	380
M237	9	0.01024	0.0000	0.0921	377	M317	6	0.01024	0.0000	0.0614	381
M238	6	0.01024	0.0000	0.0614	59	M318	10	0.01024	0.0000	0.1024	381
M239	3	0.01024	0.0000	0.0307	376	M319	5	0.01024	0.0000	0.0512	382



MANZANA	TOTAL ACOMETIDAS NORMALES	CAUDAL ACOMETIDA lps	CAUDAL ESPECIALES lps	CAUDAL MANZANA lps	NODO	MANZANA	TOTAL ACOMETIDAS NORMALES	CAUDAL ACOMETIDA lps	CAUDAL ESPECIALES lps	CAUDAL MANZANA lps	NODO
M320	1	0.01024	0.0000	0.0102	675	M400	9	0.01024	0.0000	0.0921	496
M321	1	0.01024	0.0000	0.0102	372	M401	3	0.01024	0.0000	0.0307	490
M322	3	0.01024	0.0000	0.0307	372	M402	4	0.01024	0.0000	0.0410	495
M323	6	0.01024	0.0000	0.0614	379	M403	6	0.01024	0.0000	0.0614	469
M324	14	0.01024	0.0000	0.1433	371	M404	1	0.01024	0.0000	0.0102	543
M325	4	0.01024	0.0000	0.0410	318	M405	8	0.01024	0.0000	0.0819	454
M326	3	0.01024	0.0000	0.0307	340	M406	1	0.01024	0.0000	0.0102	453
M327	4	0.01024	0.0000	0.0410	669	M407	5	0.01024	0.0000	0.0512	517
M328	8	0.01024	0.0609	0.1428	315	M408	3	0.01024	0.0000	0.0307	489
M329	4	0.01024	0.0000	0.0410	312	M409	0	0.01024	0.0000	0.0000	688
M330	8	0.01024	0.0000	0.0819	676	M410	12	0.01024	0.0000	0.1229	687
M331	4	0.01024	0.0000	0.0410	676	M411	7	0.01024	0.0000	0.0717	405
M332	8	0.01024	0.0000	0.0819	451	M412	0	0.01024	0.0892	0.0892	405
M333	7	0.01024	0.0000	0.0717	16	M413	6	0.01024	0.0000	0.0614	400
M334	5	0.01024	0.0000	0.0512	336	M414	21	0.01024	0.0000	0.2150	410
M335	0	0.01024	0.0000	0.0000	338	M415	16	0.01024	0.0000	0.1638	407
M336	10	0.01024	0.2154	0.3178	339	M416	23	0.01024	0.0000	0.2355	411
M337	0	0.01024	0.2688	0.2688	338	M417	7	0.01024	0.0000	0.0717	400
M338	9	0.01024	0.0000	0.0921	683	M418	18	0.01024	0.0000	0.1843	401
M339	0	0.01024	0.0000	0.0000	682	M419	23	0.01024	0.0000	0.2355	402
M340	1	0.01024	0.0000	0.0102	682	M420	0	0.01024	0.1008	0.1008	408
M341	5	0.01024	0.0000	0.0512	684	M421	12	0.01024	0.0108	0.1337	417
M342	10	0.01024	0.0000	0.1024	684	M422	6	0.01024	0.0000	0.0614	396
M343	4	0.01024	0.0000	0.0410	685	M423	11	0.01024	0.0000	0.1126	396
M344	11	0.01024	0.0000	0.1126	681	M424	0	0.01024	0.0000	0.0000	396
M345	5	0.01024	0.0000	0.0512	329	M424B	11	0.01024	0.0000	0.1126	404
M346	5	0.01024	0.0000	0.0512	331	M425	30	0.01024	0.0000	0.3071	397
M347	0	0.01024	0.4208	0.4208	15	M426	12	0.01024	0.0000	0.1229	398
M348	8	0.01024	0.0000	0.0819	681	M427	22	0.01024	0.0000	0.2252	416
M349	5	0.01024	0.0000	0.0512	329	M428	20	0.01024	0.0000	0.2048	404
M350	2	0.01024	0.0000	0.0205	331	M429	18	0.01024	0.0000	0.1843	416
M351	4	0.01024	0.0000	0.0410	333	M430	2	0.01024	0.0000	0.0205	418
M352	9	0.01024	0.0000	0.0921	678	M431	21	0.01024	0.0000	0.2150	418
M353	1	0.01024	0.0000	0.0102	679	M432	7	0.01024	0.0000	0.0717	418
M354	4	0.01024	0.0000	0.0410	330	M433	8	0.01024	0.0000	0.0819	418
M355	1	0.01024	0.0000	0.0102	332	M434	2	0.01024	0.0000	0.0205	418
M356	8	0.01024	0.0000	0.0819	678	M435	10	0.01024	0.0000	0.1024	697
M357	7	0.01024	0.0000	0.0717	342	M436	4	0.01024	0.0000	0.0410	697
M358	5	0.01024	0.0836	0.1348	510	M437	8	0.01024	0.0000	0.0819	697
M359	13	0.01024	0.0000	0.1331	510	M438	5	0.01024	0.0000	0.0512	697
M360	4	0.01024	0.0000	0.0410	14	M439	6	0.01024	0.0000	0.0614	697
M361	0	0.01024	0.0000	0.0000	511	M440	6	0.01024	0.0187	0.0801	697
M362	5	0.01024	0.0000	0.0512	509	M441	6	0.01024	0.0000	0.0614	216
M363	4	0.01024	0.0000	0.0410	468	M442	5	0.01024	0.0000	0.0512	288
M364	5	0.01024	0.0000	0.0512	508	M443	1	0.01024	0.0000	0.0102	286
M365	8	0.01024	0.0000	0.0819	467	M444	4	0.01024	0.0000	0.0410	290
M366	3	0.01024	0.0000	0.0307	512	M445	7	0.01024	0.0000	0.0717	261
M367	9	0.01024	0.0000	0.0921	466	M446	5	0.01024	0.0000	0.0512	262
M368	3	0.01024	0.0000	0.0307	505	M447	12	0.01024	0.0000	0.1229	263
M369	0	0.01024	0.0000	0.0000	529	M448	7	0.01024	0.0000	0.0717	264
M370	4	0.01024	0.0000	0.0410	503	M449	4	0.01024	0.0000	0.0410	265
M371	11	0.01024	0.0000	0.1126	527	M450	14	0.01024	0.0000	0.1433	267
M372	0	0.01024	0.0000	0.0000	497	M451	7	0.01024	0.0000	0.0717	295
M373	3	0.01024	0.0000	0.0307	498	M452	5	0.01024	0.0000	0.0512	296
M374	0	0.01024	0.0000	0.0000	461	M453	7	0.01024	0.0000	0.0717	297
M375	13	0.01024	0.0000	0.1331	460	M454	4	0.01024	0.0000	0.0410	297
M376	0	0.01024	0.0000	0.0000	461	M455	5	0.01024	0.0000	0.0512	297
M377	2	0.01024	0.0000	0.0205	459	M456	1	0.01024	0.1785	0.1887	157
M378	0	0.01024	0.0000	0.0000	458	M457	27	0.01024	0.0112	0.2876	313
M379	2	0.01024	0.0000	0.0205	526	M458	10	0.01024	0.0000	0.1024	392
M380	8	0.01024	0.0000	0.0819	421	M459	10	0.01024	0.0000	0.1024	439
M381	16	0.01024	0.0000	0.1638	491	M460	8	0.01024	0.0000	0.0819	326
M382	10	0.01024	0.1299	0.2323	13	M461	5	0.01024	0.0187	0.0699	260
M383	0	0.01024	0.0000	0.0000	523	M462	25	0.01024	0.0000	0.2559	652
M384	5	0.01024	0.0000	0.0512	456	M463	22	0.01024	0.0000	0.2252	258
M385	8	0.01024	0.0000	0.0819	479	M464	10	0.01024	0.0000	0.1024	258
M386	16	0.01024	0.0519	0.2157	480	M465	3	0.01024	0.0000	0.0307	254
M387	23	0.01024	0.0000	0.2355	475	M466	6	0.01024	0.0000	0.0614	253
M388	2	0.01024	0.0000	0.0205	541	M467	0	0.01024	0.1710	0.1710	208
M389	1	0.01024	0.0000	0.0102	535	M468	16	0.01024	0.0000	0.1638	208
M390	2	0.01024	0.0000	0.0205	457	M469	0	0.01024	0.4536	0.4536	208
M391	1	0.01024	0.0000	0.0102	534	M470	2	0.01024	0.1856	0.2060	470
M392	12	0.01024	0.0000	0.1229	479	M471	6	0.01024	0.0000	0.0614	247
M393	2	0.01024	0.0000	0.0205	480	M472	11	0.01024	0.0000	0.1126	246
M394	8	0.01024	0.0000	0.0819	475	M473	7	0.01024	0.0000	0.0717	250
M395	0	0.01024	0.0000	0.0000	538	M474	9	0.01024	0.1971	0.2893	668
M396	1	0.01024	0.0000	0.0102	536	M475	7	0.01024	0.0000	0.0717	668
M397	3	0.01024	0.0414	0.0722	533						
M398	11	0.01024	0.0000	0.1126	482						
M399	3	0.01024	0.0000	0.0307	483						

10.4 ANEJO 4. Sectorización. Válvulas de operación, cierre y reductoras de presión.

