

# Trabajo Fin de Máster

## **MODELO MATEMÁTICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN SUCÚA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO, ECUADOR: ANÁLISIS, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTAS DE MEJORA.**

**Intensificación: HIDRÁULICA URBANA**

**Autor:**

**DANIEL ABDALÁ RODRÍGUEZ PACHECO**

**Tutor:**

**DR. F. JAVIER MARTÍNEZ SOLANO**

**Cotutor:**

**DR. PEDRO L. IGLESIAS REY**

**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:** Modelo matemático de la red de distribución de agua potable del cantón Sucúa, provincia de Morona Santiago, Ecuador: Análisis, diagnóstico y propuestas de mejora.

**Título del TFM en inglés:** Mathematical model of the drinking water distribution network of the Sucúa canton, province of Morona Santiago, Ecuador: Analysis, diagnosis and improvement proposals.

**Título del TFM en Valenciano:** Model matemàtic de la xarxa de distribució d'aigua potable de l'cantó Sucúa, província de Morona Santiago, Equador: Anàlisi, diagnòstic i propostes de millora.

**Alumno:** DANIEL ABDALÁ RODRÍGUEZ PACHECO.

**Tutor:** DR. F. JAVIER MARTÍNEZ SOLANO.

**Cotutor:** DR. PEDRO L. IGLESIAS REY.

**Director experimental:**

**Fecha de Lectura:** FEBRERO, 2020

### Resumen

#### En español:

El presente trabajo tiene como objetivo la elaboración del modelo matemático de la red de distribución de agua potable del cantón Sucúa, el cual permitirá realizar un diagnóstico del estado actual del sistema, identificar los principales problemas de la red y posteriormente realizar propuestas de mejoras. Además, se evaluará el comportamiento que tuvo el sistema de Sucúa con la unificación del sistema de Santa Marianita, la cual se realizó en mayo del 2016.

Para realizar el modelo matemático se dispone de información proporcionada por la empresa municipal EPMAPA-S, la cual fue entregada en formato digital. El software que se ha utilizado para la simulación hidráulica es Epanet 2.0.

El modelo matemático ha sido creado basándose en los datos y registros de diciembre de 2014, debido a que, para esa fecha existen datos de caudal inyectado al sistema (macromedición). Con los volúmenes inyectados y facturados se ha calculado el balance hídrico técnico de la red y se ha estimado el rendimiento volumétrico global del sistema (48.1 %), el cual le corresponde una calificación de “*Inacceptable*”.

La esqueletización de la red se ha realizado con el plano base de redes del cantón. Para la asignación de cotas en los nodos se ha utilizado las curvas de nivel de la zona y para la asignación de demandas en los nodos se empleó los consumos mensuales registrado por los micromedidores. La calibración del modelo matemático ha sido realizada en dos fases; la fase I propuso un *ajuste diario*, mediante la estimación de un valor del coeficiente global de los emisores y la fase II formula el *ajuste horario*, mediante el ajuste del patrón de variación temporal de la demanda.

El principal problema que presenta el sistema es el elevado porcentaje de fugas, el cual está asociado a las sobrepresiones de la red, estas presiones superan los límites permisibles por la normativa nacional. Es por ello, como propuesta de mejora se ha planteado realizar la gestión de las presiones mediante la instalación de válvulas

reductoras de presión, con esto se ha logrado reducir el valor de la presión media de 43.2 mca a 23.1 mca, esta disminución provoca un descenso del volumen de agua fugada, lo cual representa un ahorro económico para la empresa. La sectorización actual es deficiente, por lo que se ha propuesto una nueva sectorización, en la que se ha procurado respetar el trazado actual y dar uso a los accesorios existentes (que estuvieran en buen estado), esto con el afán de no encarecer el presupuesto para su implementación. Además, se ha incluido en la sectorización tres nuevos sectores: barrio Progreso, barrio la Cruz y urbanización Pazan-Medina. Luego de las mejoras propuestas en la red, el rendimiento global del sistema alcanza un valor de 54.9 %, pasando a una calificación de “*Mala*”.

Una vez concluido el presente trabajo, se ha logrado elaborar el modelo matemático de la red de distribución de agua potable del cantón Sucúa, el cual ha permitido realizar el diagnóstico del estado actual del sistema, identificar los principales problemas de la red y posteriormente realizar propuestas de mejoras, las cuales son factibles, necesarias y rentables para la empresa pública EPMAPA-S. Concerniente a la unificación de los dos sistemas, se puede concluir que la unión no representa un beneficio para el sistema de Sucúa, ya que solo acrecentó el gran problema de fugas que tiene la red por el aumento de las presiones en la zona de unión.

#### **En valenciano:**

El present treball té com a objectiu l'elaboració del model matemàtic de la xarxa de distribució d'aigua potable del cantó Sucúa, el qual permetrà realitzar un diagnòstic de l'estat actual del sistema, identificar els principals problemes de la xarxa i posteriorment realitzar propostes de millores. A més, s'avaluarà el comportament que va tindre el sistema de Sucúa amb la unificació del sistema de Santa Marianita, la qual es va realitzar al maig del 2016.

Per a realitzar el model matemàtic es disposa d'informació proporcionada per l'empresa municipal EPMAPA-S, la qual va ser entregada en format digital. El programari que s'ha utilitzat per a la simulació hidràulica és Epanet 2.0.

El model matemàtic ha sigut creat sobre la base de les dades i registres de desembre de 2014, pel fet que, per a aqueixa data existeix dades de cabal injectat al sistema (macromedició). Amb els volums injectats i facturats s'ha calculat el balanç hídric tècnic de la xarxa i s'ha estimat el rendiment volumètric global del sistema (48.1%), el qual li correspon una qualificació de “*Inacceptable*”.

L'esqueletització de la xarxa s'ha realitzat amb el pla base de xarxes del cantó. Per a l'assignació de cotes en els nodes s'ha utilitzat les corbes de nivell de la zona i l'assignació de demandes en els nodes es va emprar els consums mensuals registrat pels micromedidores. El calibratge del model matemàtic ha sigut realitzada en dues fases; la fase I va proposar un *ajust diari*, mitjançant l'estimació d'un valor del coeficient global dels emissors i la fase II formula l'*ajust horari*, mitjançant l'ajust del patró de variació temporal de la demanda.

El principal problema que presenta el sistema és l'elevat percentatge de fugides, el qual està associat a les sobrepressions de la xarxa, aquestes pressions superen els límits permissibles per la normativa nacional. És per això, com a proposta de millora s'ha plantejat realitzar la gestió de les pressions mitjançant la instal·lació de vàlvules

reductores de pressió, amb això s'ha aconseguit reduir el valor de la pressió mitjana de 43.2 mca a 23.1 mca, aquesta disminució provoca un descens del volum d'aigua escapolida, la qual cosa representa un estalvi econòmic per a l'empresa. La sectorització actual és deficient, per la qual cosa s'ha proposat una nova sectorització, en la qual s'ha procurat respectar el traçat actual i donar ús als accessoris existents (que estigueren en bon estat), això amb l'afany de no encarir el pressupost per a la seua implementació. A més, s'ha inclòs en la sectorització tres nous sectors: barri Progrés, barri la Creu i urbanització Pazan-Medina. Després de les millores proposades en la xarxa, el rendiment global del sistema aconsegueix un valor de 54.9%, passant a una qualificació de “*Dolenta*”.

Una vegada conclòs el present treball, s'ha aconseguit elaborar el model matemàtic de la xarxa de distribució d'aigua potable del cantó Sucúa, el qual ha permès realitzar el diagnòstic de l'estat actual del sistema, identificar els principals problemes de la xarxa i posteriorment realitzar propostes de millores, les quals són factibles, necessàries i rendibles per a l'empresa pública EPMAPA-S. Concernent a la unificació dels dos sistemes, es pot concloure que la unió no representa un benefici per al sistema de Sucúa, ja que només va acréixer el gran problema de fugides que té la xarxa per l'augment de les pressions en la zona d'unió.

#### **En inglés:**

The objective of this work is to develop a mathematical model of the drinking water distribution network in the canton of Sucúa, which will allow a diagnosis of the current state of the system, identify the main problems of the network and subsequently make proposals for improvements. In addition, the behavior of the Sucúa system will be evaluated with the unification of the Santa Marianita system, which took place in May 2016.

To make the mathematical model, information provided by the municipal company EPMAPA-S is available, which was delivered in digital format. The software used for the hydraulic simulation is Epanet 2.0.

The mathematical model has been created based on the data and records from December 2014, because, by that date there is data of flow injected into the system (macro-measurement). With the volumes injected and invoiced, the technical water balance of the network has been calculated and the global volumetric yield of the system has been estimated (48.1 %), which corresponds to a qualification of “*Unacceptable*”.

The skeletonisation of the network has been carried out with the base plan of the canton's networks. For the assignment of the node levels, the area's contour lines have been used and the assignment of the node demands, the monthly consumption recorded by the micro-meters has been used. The calibration of the mathematical model has been carried out in two phases; phase I proposed a *daily adjustment*, by estimating a value of the global coefficient of the emitters and phase II formulates the *hourly adjustment*, by adjusting the pattern of temporal variation of the demand.

The main problem presented by the system is the high percentage of leaks, which is associated with network overpressures, these pressures exceed the limits permitted by national regulations. For this reason, as a proposal for improvement, pressure

management has been proposed by installing pressure reduction valves, this has reduced the average pressure from 43.2 mca to 23.1 mca, which causes a decrease in the volume of water leaked, which represents an economic saving for the company. The current sectorisation is deficient, so a new sectorisation has been proposed, in which an attempt has been made to respect the current route and to make use of the existing accessories (which would be in good condition), this in an effort not to increase the budget for its implementation. In addition, three new sectors have been included in the sectorization: Progreso neighborhood, La Cruz neighborhood and Pazan-Medina urbanization. After the proposed improvements in the network, the overall performance of the system reached a value of 54.9 %, going on to a rating of "Bad".

Once the present work was concluded, the mathematical model of the drinking water distribution network of the Sucúa canton was developed. This model has made it possible to diagnose the current state of the system, identify the main problems of the network and subsequently make proposals for improvements, which are feasible, necessary and profitable for the public company EPMAPA-S. Concerning the unification of the two systems, it can be concluded that the union does not represent a benefit for the Sucúa system, since it only increased the great problem of leaks that the network has due to the increase of the pressures in the union zone.

**Palabras clave español:** Modelo matemático, Epanet, red de distribución.

**Palabras clave valenciano:** Model matemàtic, Epanet, xarxa de distribució.

**Palabras clave inglés:** Mathematical model, Epanet, distribution network.

*Dedicado  
a mi padre Gonzalo y hermanos.*



## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por su amor eterno, a mi madre Martha que le debo la vida y me cuida desde arriba, y a todos mis familiares que me motivan a ser mejor cada día.

Finalmente, agradecer al Dr. Javier Martínez Solano por su dirección y su constante aporte de conocimiento y apoyo en el desarrollo del presente trabajo; de igual manera, al Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia, a todos los profesores del máster por los conocimientos compartidos, en especial al Dr. Pedro Iglesias Rey.

## CONTENIDO:

ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>2 DESCRIPCIÓN.....</b>	<b>5</b>
2.1 ZONA DE ESTUDIO.....	5
2.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y LÍMITES.....	5
2.1.2 TOPOGRAFÍA.....	6
2.1.3 DEMOGRAFÍA.....	6
2.1.4 CLIMATOLOGÍA.....	7
2.1.5 CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS.....	8
2.1.6 INFRAESTRUCTURA BÁSICA.....	9
2.1.6.1 ALCANTARILLADO.....	9
2.1.6.2 AGUA POTABLE.....	10
2.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	10
2.2.1 SISTEMA DE SUCÚA.....	10
2.2.1.1 CAPTACIÓN.....	11
2.2.1.2 LÍNEA DE CONDUCCIÓN.....	12
2.2.1.3 PLANTAS DE TRATAMIENTO.....	12
2.2.1.4 RESERVORIOS.....	17
2.2.1.5 RED DE DISTRIBUCIÓN.....	17
2.2.2 SISTEMA DE SANTA MARIANITA DE JESÚS.....	22
2.2.2.1 CAPTACIÓN.....	23
2.2.2.2 LÍNEA DE CONDUCCIÓN.....	23
2.2.2.3 PLANTA DE TRATAMIENTO.....	23
2.2.2.4 RESERVORIO.....	24
2.2.2.5 RED DE DISTRIBUCIÓN.....	25
2.3 BALANCE HÍDRICO.....	28
2.3.1 VOLUMEN INYECTADO.....	28
2.3.2 VOLUMEN REGISTRADO.....	29
2.3.3 VOLUMEN INCONTROLADO.....	29
2.3.4 BALANCE HÍDRICO TÉCNICO.....	30
<b>3 MODELO MATEMÁTICO.....</b>	<b>35</b>
3.1 MODELO MATEMÁTICO SISTEMA SUCÚA.....	36
3.1.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	36
3.1.2 ESQUELETIZACIÓN.....	36
3.1.3 ASIGNACIÓN DE COTAS EN LOS NODOS.....	39
3.1.4 ANÁLISIS Y ASIGNACIÓN DE DEMANDAS.....	41
3.1.5 MODELO SIN CALIBRAR.....	47
3.1.6 MEDICIONES.....	48
3.1.7 AJUSTE Y CALIBRACIÓN.....	49
3.1.7.1 FASE I: AJUSTE DE EMISORES.....	50
3.1.7.2 FASE II: AJUSTE DE PATRÓN DE CONSUMO.....	52
3.1.8 MODELO FINAL CALIBRADO.....	57
3.2 MODELO MATEMÁTICO SISTEMA SANTA MARIANITA DE JESÚS.....	60
3.2.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	60
3.2.2 ESQUELETIZACIÓN.....	60



3.2.3	ASIGNACIÓN DE COTAS EN LOS NODOS. ....	61
3.2.4	ANÁLISIS Y ASIGNACIÓN DE DEMANDAS. ....	62
3.2.5	MODELO SIN CALIBRAR. ....	65
3.2.6	MEDICIONES. ....	66
3.2.7	AJUSTE Y CALIBRACIÓN. ....	66
3.2.7.1	FASE I: AJUSTE DE EMISORES. ....	66
3.2.8	MODELO FINAL CALIBRADO. ....	67
<b>4</b>	<b>ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO. ....</b>	<b>70</b>
4.1	ANÁLISIS RED DE SUCÚA. ....	70
4.1.1	PRESIONES DEL SISTEMA. ....	70
4.1.2	VELOCIDADES. ....	71
4.1.3	CAUDALES. ....	72
4.1.4	PÉRDIDAS UNITARIAS. ....	74
4.1.5	ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE CAUDALES DURANTE EL DÍA. ....	75
4.1.6	ANÁLISIS RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO DE LA RED. ....	76
4.1.7	ANÁLISIS SECTORIZACIÓN EXISTENTE. ....	79
4.1.8	ANÁLISIS COSTES DE AGUA Y TARIFACIÓN. ....	79
4.2	ANÁLISIS DE LA RED UNIFICADA. ....	82
4.2.1	PRESIONES. ....	84
4.2.2	CAUDALES. ....	84
<b>5</b>	<b>PROPUESTAS DE MEJORA. ....</b>	<b>87</b>
5.1	MEJORA EN LA SECTORIZACIÓN DE LA RED. ....	87
5.2	GESTIÓN DE PRESIONES. ....	89
5.2.1	VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN (VRP). ....	90
5.3	CONTROL ACTIVO DE FUGAS (CAF). ....	94
5.3.1	MÉTODOS DE DETECCIÓN DE FUGAS. ....	94
5.3.1.1	GEÓFONO. ....	95
5.3.1.2	CORRELADOR ACÚSTICO. ....	95
5.4	RESULTADOS LUEGO DE LAS MEJORAS. ....	96
5.4.1	BALANCE HÍDRICO TÉCNICO. ....	96
5.4.2	RENDIMIENTO DEL SISTEMA. ....	98
5.4.3	EVALUACIÓN DE PRESIONES. ....	98
5.4.4	EVALUACIÓN ECONÓMICA. ....	99
<b>6</b>	<b>VALORACIÓN ECONÓMICA. ....</b>	<b>103</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>106</b>
7.1	CONCLUSIONES. ....	106
7.2	RECOMENDACIONES. ....	107
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA. ....</b>	<b>109</b>
<b>9</b>	<b>ANEXOS. ....</b>	<b>112</b>
9.1	ANEXO 1. BARRIOS DEL CANTÓN SUCÚA. ....	112
9.2	ANEXO 2. REGISTRO DE MACROMEDICIÓN. ....	113
9.3	ANEXO 3. CONFIGURACIÓN ACTUAL DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE SUCÚA Y SANTA MARIANITA DE JESÚS. ....	116
9.4	ANEXO 4. SECTORIZACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DEL CANTÓN SUCÚA. ....	117
9.5	ANEXO 5. OPERACIÓN DE LAS VÁLVULAS PARA LA SECTORIZACIÓN. ....	119
9.6	ANEXO 6. VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN (VRP). ....	124
9.7	ANEXO 7. COMPROBACIÓN DE CAVITACIÓN EN VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN (VRP). ....	125

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Población por parroquias y por genero del año 2010 (INEC, 2010).	7
Tabla 2. Información de cobertura de alcantarillado en el cantón Sucúa (GADM-S, 2015).	10
Tabla 3. Cobertura de agua potable en el cantón Sucúa 2014 (GADM-S, 2015).	10
Tabla 4. Captaciones del sistema de Sucúa.	11
Tabla 5. Resumen de tuberías instaladas en la conducción (EPMAPA-S, 2019).	12
Tabla 6. Características de los tanques de almacenamiento (EPMAPA-S, 2019).	17
Tabla 7. Longitud de tuberías instaladas en el sistema de distribución.	18
Tabla 8. Válvulas de corte instaladas en el sistema.	20
Tabla 9. Válvulas reductoras de presión.	21
Tabla 10. Resumen de planillaje del periodo julio del 2019.	21
Tabla 11. Longitud de tuberías instaladas en el sistema de distribución.	26
Tabla 12. Válvulas de corte de la red de distribución.	27
Tabla 13. Válvulas reductoras de presión.	27
Tabla 14. Usuarios del sistema de Santa Marianita.	27
Tabla 15. Sectorización Santa Marianita (GADM-S G. A., 2010).	28
Tabla 16. Caudales registrados de macromedición.	28
Tabla 17. Volumen promedio diario entregado a la red.	29
Tabla 18. Volumen total inyectado en diciembre del 2014.	29
Tabla 19. Consumos registrados año 2014.	29
Tabla 20. Resumen del consumo diciembre del 2014.	30
Tabla 21. Balance hídrico técnico de la red de Sucúa.	33
Tabla 22. Registro de consumos de diciembre del 2014.	41
Tabla 23. Consumos importantes por barrios (julio 2019).	43
Tabla 24. Cálculo de la demanda media por usuario.	45
Tabla 25. Cálculo de los consumos por nodos.	46
Tabla 26. Datos de la curva de modulación del caudal inyectado.	48
Tabla 27. Cálculos de la primera estimación CE.	52
Tabla 28. Iteraciones para el ajuste del coeficiente emisor (CE).	52
Tabla 29. Caudales inyectados por planta.	53
Tabla 30. Calibración del coeficiente de modulación de la demanda.	55
Tabla 31. Informe estadístico de calibración para Caudal.	59
Tabla 32. Consumos importantes por sectores.	63
Tabla 33. Consumos por zonas julio del 2019.	64
Tabla 34. Análisis de consumos de Santa Marianita.	64
Tabla 35. Cálculo de los consumos por nodo.	64
Tabla 36. Válvulas reductoras de presión del sistema Santa Marianita.	65
Tabla 37. Cálculos de la primera estimación CE.	67
Tabla 38. Iteraciones para el ajuste del coeficiente emisor (CE).	67
Tabla 39. Análisis de presiones.	70
Tabla 40. Análisis de caudales horarios durante 24 horas.	75
Tabla 41. Rendimientos volumétricos de la red inicial.	77
Tabla 42. Calificación de la gestión de un sistema en función de $\eta_s$ (Cabrera et al. 1999).	77
Tabla 43. Volúmenes de la gestión global.	77
Tabla 44. Descripción de válvulas de corte del cantón.	79
Tabla 45. Estructura de tarifación binomial.	80
Tabla 46. Evolución del costo de agua por metro cúbico.	80
Tabla 47. Ejemplo de costo de facturación.	80
Tabla 48. Volúmenes y costes anuales de agua.	81
Tabla 49. Análisis de las máximas presiones en el sistema unificado (hora valle – 2:00).	84
Tabla 50. Válvulas de corte para nueva sectorización.	88



Tabla 51. Distribución por diámetros de las válvulas nuevas.....	88
Tabla 52. Estado de las válvulas.....	88
Tabla 53. Análisis de presiones máximas del sistema con gestión presiones.....	91
Tabla 54. Válvulas reductoras de presión del sistema de Sucúa.....	92
Tabla 55. Resumen de tuberías remplazadas.....	93
Tabla 56. Tuberías sustituidas.....	93
Tabla 57. Comparación del balance hídrico técnico, sin gestión (actual) y con gestión de presiones.....	96
Tabla 58. Resultados del rendimiento global del sistema luego de la gestión.....	98
Tabla 59. Comparación de rendimientos volumétricos del sistema.....	98
Tabla 60. Volúmenes y costes anuales de agua con gestión de presiones.....	99
Tabla 61. Presupuesto referencial para la sectorización y gestión de presiones de la red de distribución. .....	103
Tabla 62. Ejemplo para la comprobación de Cavitación de la VRP # 21.....	126

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del cantón Sucúa, provincia de Morona Santiago. ....	5
Figura 2. Topografía del cantón Sucúa (IGM, 2019). ....	6
Figura 3. Evolución de la tasa de crecimiento del cantón Sucúa (INEC, 2010). ....	7
Figura 4. Población del cantón Sucúa distribuido por parroquias (INEC, 2010). ....	7
Figura 5. Precipitación Anual (IGM, 2019). ....	8
Figura 6. Población ocupada por rama de actividad–Sucúa (SENPLADES, 2014). ....	9
Figura 7. Porcentaje de personas pobres por NBI (SENPLADES, 2014). ....	9
Figura 8. Esquema de captaciones del sistema de Sucúa (ETAPA-EP, 2014). ....	11
Figura 9. Plantas de tratamiento Sucúa (Google Earth Pro-2019). ....	12
Figura 10. Reservorios con un volumen total de 5,000 m <sup>3</sup> . ....	13
Figura 11. Filtros ascendentes. ....	14
Figura 12. Filtros gruesos horizontales. ....	14
Figura 13. Cámara de entrada. ....	15
Figura 14. Mezcla rápida. ....	15
Figura 15. Área de Floculación. ....	15
Figura 16. Sedimentador de Alta tasa. ....	15
Figura 17. Filtros rápidos descendentes. ....	16
Figura 18. Caseta de cloración. ....	16
Figura 19. Laboratorio de control de calidad de la planta de tratamiento de Sucúa. ....	16
Figura 20. Tanques de almacenamiento de la Planta Antigua. ....	17
Figura 21. Tanque de almacenamiento de la Planta Nueva. ....	17
Figura 22. Red de distribución del cantón Sucúa. ....	18
Figura 23. Tuberías de la red de distribución del cantón Sucúa. ....	19
Figura 24. Sectorización propuesta por ETAPA-EP 2015. ....	22
Figura 25. Filtros lentos descendentes. ....	24
Figura 26. Cámara de entrada. ....	24
Figura 27. Planta de tratamiento de Santa Marianita de Jesús (Google Earth Pro-2019). ....	24
Figura 28. Red de distribución de Santa Marianita de Jesús. ....	25
Figura 29. Tuberías de la red de distribución de Santa Marianita de Jesús. ....	26
Figura 30. Balance hídrico técnico (Gómez, 2015). ....	31
Figura 31. Fases para el desarrollo del modelo. ....	35
Figura 32. Plano base de redes de Sucúa 2019. ....	37
Figura 33. Ejemplo de un antes y después de la simplificación de un tramo de la red. ....	37
Figura 34. Capas a importar. ....	38
Figura 35. Opciones de importación en <i>CADaRED</i> . ....	38
Figura 36. Red completa en <i>CADaRED</i> . ....	38
Figura 37. Red completa en Epanet. ....	38
Figura 38. Embalses del sistema. ....	39
Figura 39. Topografía del cantón Sucúa mediante curvas de nivel. ....	40
Figura 40. Red y superficie cargada a WaterCAD. ....	40
Figura 41. Cotas asignadas a los nodos con <i>TRex</i> . ....	40
Figura 42. Red completa en Epanet con cotas asignadas. ....	41
Figura 43. Esquema para la asignación de demanda. ....	42
Figura 44. Distribución de consumos del cantón Sucúa (julio-2019). ....	43
Figura 45. Red completa en Epanet con demandas asignadas. ....	47
Figura 46. Curva de evolución de la demanda en 24 horas. ....	49
Figura 47. Flujograma descriptivo del proceso de calibración (Martínez et al., 2015). ....	50
Figura 48. Patrón temporal del caudal inyectado. ....	51
Figura 49. Archivo de calibración de caudal de la línea L191b. ....	54
Figura 50. Evolución del patrón de consumo. ....	56
Figura 51. Evolución de la curva de modulación. ....	56

Figura 52. Correlación entre los valores de caudal observados y simulados (simulación 1). .....	57
Figura 53. Correlación del modelo hidráulico calibrando (simulación 7). .....	58
Figura 54. Curva de evolución temporal del caudal de salida de la línea L191b. ....	58
Figura 55. Sistema final calibrado. ....	59
Figura 56. Plano base de redes de Santa Marianita 2019. ....	60
Figura 57. Red Santa Marianita de Jesús. ....	61
Figura 58. Red completa de Santa Marianita en Epanet con cotas asignadas. ....	62
Figura 59. Sectores del sistema de Santa Marianita. ....	63
Figura 60. Red completa con demandas asignadas. ....	65
Figura 61. Patrón de consumo asumido (sistema de Sucúa). ....	66
Figura 62. Sistema final calibrado Santa Marianita de Jesús. ....	68
Figura 63. Presiones mínimas. ....	71
Figura 64. Presiones máximas. ....	71
Figura 65. Velocidades mínimas. ....	72
Figura 66. Velocidades máximas. ....	72
Figura 67. Caudales medios diario. ....	73
Figura 68. Caudal inyectado al sistema (línea L191b). ....	73
Figura 69. Pérdidas unitarias máximas. ....	74
Figura 70. Distribución de pérdidas unitarias máximas. ....	75
Figura 71. Evolución de caudales durante 24 horas. ....	76
Figura 72. Distribución porcentual de volúmenes de la gestión global. ....	78
Figura 73. Estructura del volumen incontrolado. ....	78
Figura 74. Volúmenes anuales de agua. ....	81
Figura 75. Costos anuales de agua. ....	82
Figura 76. Unificación de los dos sistemas, izquierda sin unificar y derecha unificado. ....	83
Figura 77. Puntos de unificación de las redes (Detalle A). ....	83
Figura 78. Las cuatro técnicas básicas de gestión de fugas (IWA, 2007). ....	87
Figura 79. Distribución de la nueva sectorización. ....	89
Figura 80. Esquema de una válvula reductora de presión. ....	90
Figura 81. Presiones máximas, izquierda sin VRP y derecha con VRP. ....	91
Figura 82. Equipo de geofonamiento (PCE Iberica S.L., 2020). ....	95
Figura 83. Correlador acústico. (sebaKMT, 2020). ....	96
Figura 84. Evolución de caudales con gestión de presiones. ....	97
Figura 85. Comparación de caudales luego de la gestión de presiones. ....	97
Figura 86. Dispersión de presiones en los dos escenarios. ....	99
Figura 87. Costos anuales del agua con gestión de presión. ....	100
Figura 88. Análisis de los volúmenes de agua en los dos escenarios. ....	100
Figura 89. Análisis de los costos de agua en los dos escenarios. ....	101
Figura 90. Diagrama de características de flujo. ....	125
Figura 91. Diagrama de cavitación de válvulas, teniendo en cuenta la velocidad. ....	125

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

## 1 INTRODUCCIÓN.

### 1.1 ANTECEDENTES.

Sucúa está ubicada al sureste de la provincia de Morona Santiago, Ecuador. El cantón tiene cuatro parroquias: Sucúa, Huambi, Santa Marianita de Jesús y Asunción.

Según el censo de población y vivienda del año 2010, realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos, Sucúa tiene una población de 18,318 habitantes y una extensión territorial general de 1,279.22 km<sup>2</sup> (INEC, 2010). La cabecera cantonal se encuentra a una altitud media de 833 metros sobre el nivel del mar. La ciudad posee un clima cálido húmedo y una temperatura media anual de 21.8 °C (GADM-S, 2019).

De acuerdo con el plano base del año 2014 del cantón Sucúa, la cobertura de agua potable en el área urbana del cantón Sucúa es del 44.48 % y sin atender el 55.52 %. El desabastecimiento del servicio básico en el cantón se debe principalmente a que se incorporó desde el año 2012 como áreas urbanas a las cabeceras parroquiales de Huambi y Santa Marianita, lo cual se amplió el límite urbano de la cabecera cantonal (GADM-S, 2015).

Los servicios de agua potable y alcantarillado del cantón son administrados por el GAD municipal, a través de su empresa pública denominada EPMAPA-S. La empresa fue fundada el 18 de octubre del 2010.

El sistema de agua potable de la ciudad fue construido hace 30 años, a lo largo de los años la red se ha modificado, mejorando y ampliando su cobertura. El consumo de agua se registra mediante micromedidores instalados en cada acometida y las lecturas son realizadas mensualmente por el personal de la empresa. La tarifa actual básica para el suministro es del tipo binomial, con una tarifa fija independiente del consumo de USD 3.00.

De acuerdo con el informe “*Diagnóstico técnico de funcionamiento del sistema de agua potable y saneamiento en el cantón Sucúa, provincia de Morona Santiago*” realizado por la empresa pública municipal ETAPA EP en el año 2014, las pérdidas de agua estimadas en el sistema son del 50 % (ETAPA-EP, 2014).

El servicio de agua potable del sistema es continuo, es decir, proporciona agua a la población las 24 horas del día.

La información con la que se cuenta para realizar este trabajo ha sido entregada en forma digital por la EPMAPA-S, esta información es el punto de partida para la elaboración, modelación y calibración del sistema.

### 1.2 JUSTIFICACIÓN.

El sistema de agua potable del cantón Sucúa presenta un funcionamiento deficiente. A medida que el cantón ha ido ampliando su límite urbano a través de los años, la EPMAPA-S se ha visto en la necesidad de realizar nuevos tendidos de tuberías, aumento de nuevas conexiones domiciliarias y ubicación de nuevas válvulas, todo esto sin contar con un modelo matemático de la red de distribución que respalde las medidas tomadas.

El sistema cuenta con válvulas de corte distribuidas en toda la red, varias de ellas están en malas condiciones o están completamente rotas. El sistema tiene una red sectorizada deficiente y cuando se presenta un problema en la red, el suministro de agua debe suspenderse en varios sectores, lo que causa incomodidad a sus habitantes.

Los problemas de sobrepresión en la red se controlan con válvulas reductoras de presión (VRP). El sistema cuenta con 19 VRP, algunas de ellas se encuentran dañadas. Al no disponer de datos de presiones en la red, las válvulas y las consignas de estas han sido ubicadas de manera empírica. La mala gestión de las sobrepresiones ocasiona daños en las tuberías y el aumento de agua fugada en el sistema.

En mayo del 2016, el nuevo sistema de agua potable de la parroquia Santa Marianita se unió al sistema del cantón Sucúa. La unificación de las dos redes se llevó a cabo sin ningún tipo de estudio previo, por lo que no se dispone de datos de las repercusiones que causo esta unión en las redes.

La elaboración del presente trabajo beneficiará a la población del cantón Sucúa y a la empresa pública EPMAPA-S, que es la encargada del suministro de agua potable. El modelo matemático permitirá el diagnóstico del estado actual y plantear las posibles mejoras al sistema. Un buen servicio de agua potable contribuirá a mejorar las condiciones de vida de la población.

### **1.3 OBJETIVOS.**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL.**

El presente trabajo tiene como objetivo principal la elaboración del modelo matemático de la red de distribución de agua potable del cantón Sucúa, el cual permitirá realizar un diagnóstico del estado actual del sistema, identificar los principales problemas de la red y posteriormente realizar propuestas de mejoras.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Realización del balance hídrico del sistema, de tal forma que se pueda establecer el estado actual del sistema en lo referente a su gestión.
- Calibración de modelo matemático con fugas.
- Realizar el modelo matemático de la nueva red de distribución de la parroquia Santa Marianita, la cual se unificará con la red de Sucúa y se evaluará el comportamiento que tuvieron los dos sistemas con esta unión.
- Proponer una nueva sectorización, con la cual se pretende corregir los problemas de la actual. Esta sectorización se realizará de tal manera que se aproveche al máximo la infraestructura existente.
- Como propuesta de mejora del sistema, realizar la gestión de las presiones en la red mediante VRP, con lo cual se pretende obtener presiones óptimas, que se encuentren dentro de los rangos que establece la normativa nacional vigente.
- Realizar una valoración económica de todas las medidas adoptadas para el mejoramiento del sistema.





## **CAPÍTULO 2**

### **DESCRIPCIÓN**

## 2 DESCRIPCIÓN.

### 2.1 ZONA DE ESTUDIO.

A continuación, se describirá los componentes más importantes del cantón Sucúa, la información fue tomada del “Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Sucúa” vigente en la actualidad. Para mayor detalle, se remite al lector al (GADM-S, 2015).

#### 2.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y LÍMITES.

Sucúa está ubicada al sureste de la provincia de Morona Santiago, Ecuador. El cantón tiene cuatro parroquias: Sucúa, Huambi, Santa Marianita de Jesús y Asunción; además, está conformada por 8 barrios suburbanos y 14 barrios urbanos. En la figura 1 se observa la ubicación geográfica del cantón Sucúa con sus respectivas parroquias.

La cabecera cantonal se encuentra a una altitud media de 833 metros sobre el nivel del mar. La ciudad tiene un clima tropical cálido húmedo y una temperatura media anual de 21.8 °C.

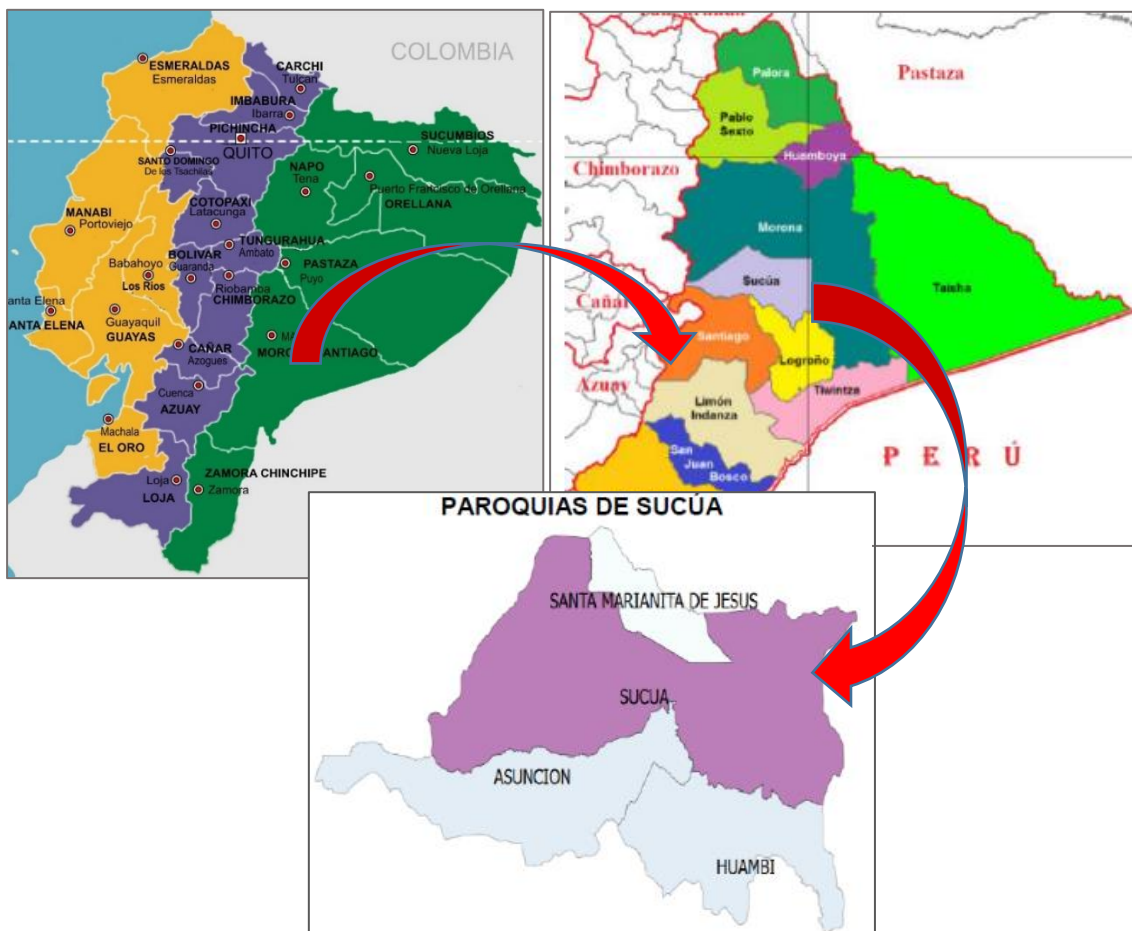


Figura 1. Ubicación del cantón Sucúa, provincia de Morona Santiago.

El cantón limita con:

Al Norte con el cantón Morona.

Al Sur con los cantones Santiago y Logroño.

Al Este con el cantón Morona.

Al Oeste con el cantón Santiago y Azogues (provincia del Cañar).

### 2.1.2 TOPOGRAFÍA.

El cantón Sucúa presenta una topografía irregular en sus periferias, a excepción de su zona central que tiene una superficie llana, la zona central (valle del Upano) al tener un relieve regular permite el asentamiento de la población.

El cantón tiene una altitud mínima de 570 msnm y máxima de 4620 msnm, estas variaciones de altitud permiten que el abastecimiento de agua potable sea por gravedad.

En la figura 2 se observa la topografía del cantón, donde se puede apreciar que en la zona llana se encuentra asentada la población de Sucúa.

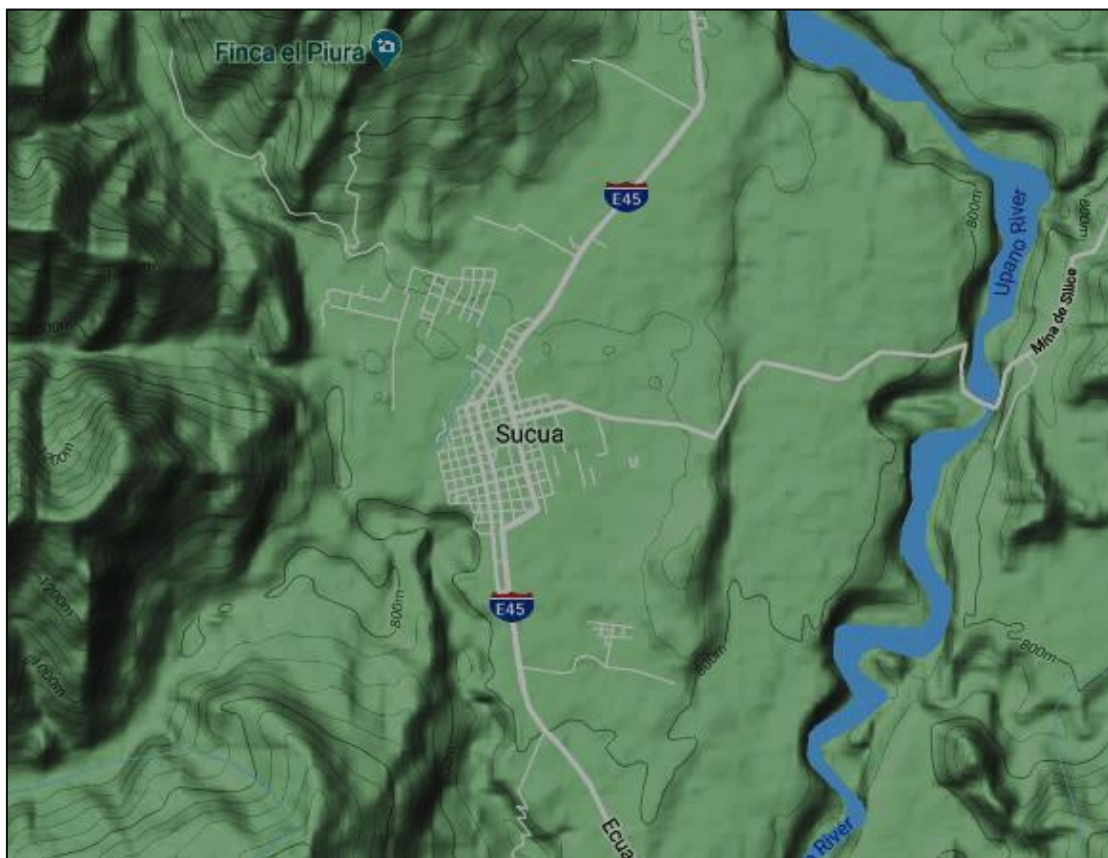


Figura 2. Topografía del cantón Sucúa (IGM, 2019).

### 2.1.3 DEMOGRAFÍA.

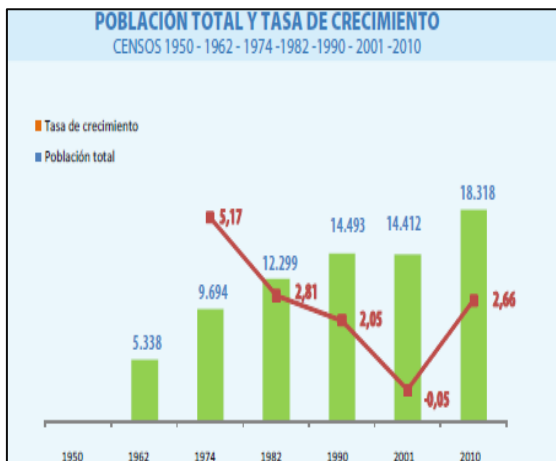
De acuerdo con el censo de población y vivienda del año 2010 realizado por el INEC, la población de Sucúa es de 18,318 habitantes. La población urbana representa el 42.6 % y la rural el 57.4 %.

La población por género se distribuye de la siguiente manera: mujeres el 51.0% y hombres el 49.0% (INEC, 2010). En la tabla 1 se muestra la composición de la población por género y por parroquia para el año 2010 y la proyección de la población para el año 2020 con su respectiva tasa de crecimiento.

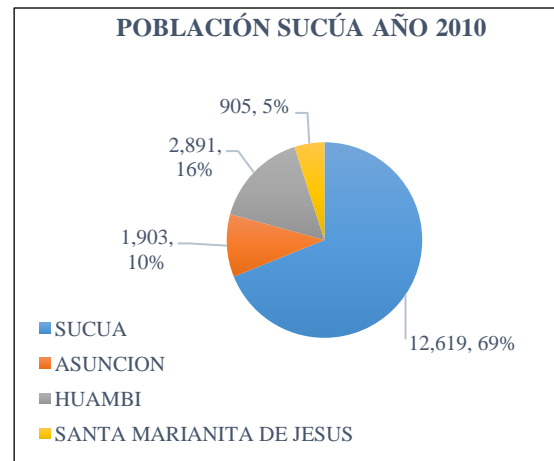
**Tabla 1.** Población por parroquias y por genero del año 2010 (INEC, 2010).

Código	Nombre de la parroquia	Población 2010			Tasa de Crecimiento	Población 2020
		Hombre	Mujer	Total	(2001-2010)	
140650	SUCÚA	6,174	6,445	12,619	2.57%	16,472
140651	ASUNCIÓN	925	978	1,903	5.43%	2,484
140652	HUAMBI	1,429	1,462	2,891	1.41%	3,774
140655	SANTA MARIANITA DE JESÚS	444	461	905	3.05%	1,181
<b>TOTAL</b>				<b>18,318</b>		<b>23,911</b>

En la figura 3 se visualiza la evolución que ha tenido la tasa de crecimiento en los últimos 7 censos poblacionales, en el periodo 1990-2001 hubo una tasa negativa atribuida a procesos migratorios. En la figura 4 se puede observar la composición de la población por parroquias, la parroquia Sucúa abarca el 69 % de la población, seguido del 16 % de la parroquia Huambi.



**Figura 3.** Evolución de la tasa de crecimiento del cantón Sucúa (INEC, 2010).



**Figura 4.** Población del cantón Sucúa distribuido por parroquias (INEC, 2010).

## 2.1.4 CLIMATOLOGÍA.

El cantón, al encontrarse en la región Amazónica tiene un clima tropical cálido húmedo, propio de este tipo de región. Acorde a la topografía del territorio, la temperatura media anual varía desde los 4°C en las zonas altas (parque nacional Sangay) hasta los 26 °C en las zonas bajas (valle del Upano). La temperatura media anual en la cabecera cantonal es de 21.8 °C.

Una de las principales características de la región Amazónica, es su gran variabilidad en las precipitaciones, las cuales pueden variar desde los 1,000-3,000 mm. La precipitación media anual en el cantón es de 1,750 mm.

De acuerdo con el Instituto Geográfico Militar (IGM), la precipitación media anual en todo el territorio ecuatoriano presenta una gran variabilidad dependiendo de la zona o región (ver figura 5).

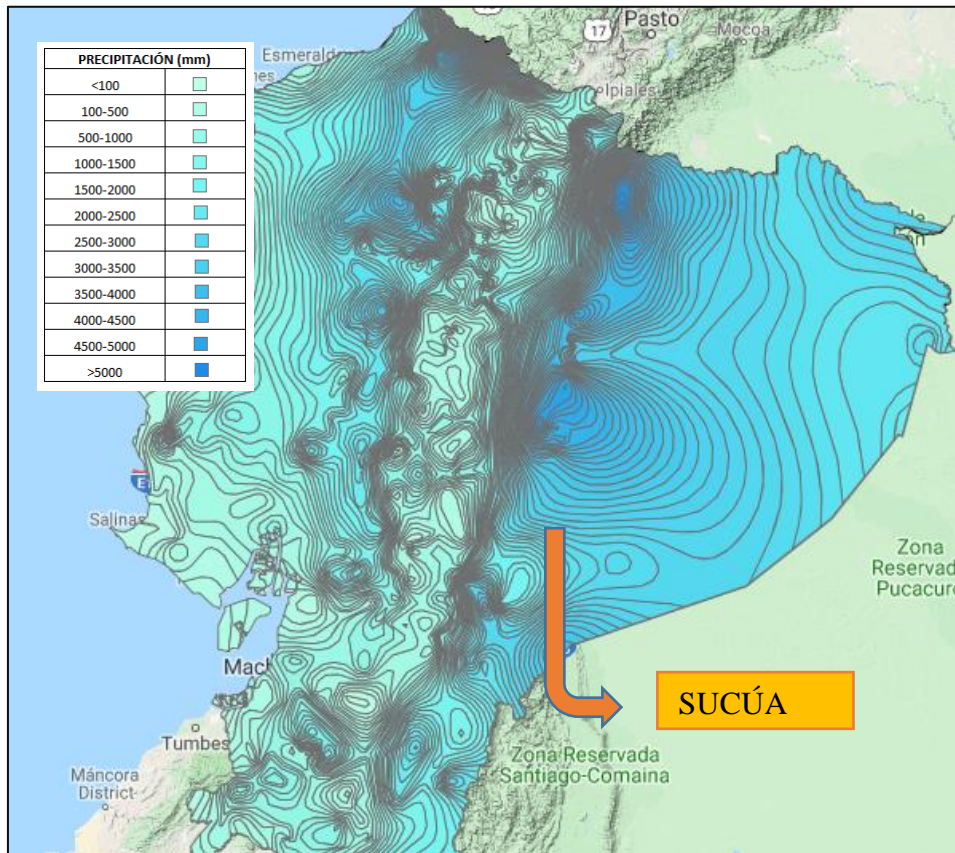


Figura 5. Precipitación Anual (IGM, 2019).

Según los datos meteorológicos (1971-1979), registrados en la “Estación Macas” por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), se presentan vientos con una velocidad promedio anual de 2.73 m/s, que soplan en la dirección Nordeste y una humedad relativa media anual de 87.04 %, siendo la más baja en el mes de enero con 85 % y la más alta en agosto con 88.90 %.

## 2.1.5 CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS.

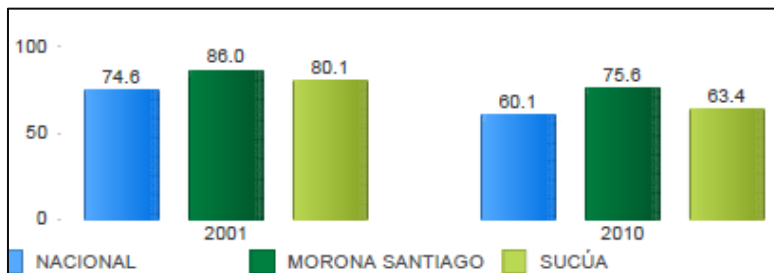
Las actividades productivas que predominan en el cantón son: la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, que representan el 43.6 %, la segunda actividad más importante es el comercio al por mayor y menor con un 11.8%, la industria manufacturera solo representa un 4.7% (SENPLADES, 2014). En el cantón no existen grandes industrias y de acuerdo con los registros mensuales de agua potable, no se evidencia grandes consumos industriales que requieran un trato especial para el suministro de agua potable.

En la figura 6 se muestra la población ocupada por rama de actividad en el cantón Sucúa, de acuerdo con el censo de población y vivienda 2010.



**Figura 6.** Población ocupada por rama de actividad–Sucúa (SENPLADES, 2014).

La provincia de Morona Santiago se encuentra entre las regiones más pobres del Ecuador, con un índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) de 75.6 %. El cantón Sucúa tiene un NBI de 63.4 %, tanto la provincia como el cantón se encuentran con un NBI superior a la media nacional, que tiene un valor de 60.1 % (ver figura 7).



**Figura 7.** Porcentaje de personas pobres por NBI (SENPLADES, 2014).

## 2.1.6 INFRAESTRUCTURA BÁSICA.

### 2.1.6.1 ALCANTARILLADO.

De acuerdo con el plano base 2014 del cantón Sucúa, a nivel cantonal existe un déficit en la cobertura del sistema de alcantarillado sanitario y pluvial, la cabecera cantonal apenas alcanza el 32.20 % de su cobertura. La red de alcantarillado sanitario tiene una longitud total de 35.17 km (50.25 %) y la red de alcantarillado pluvial una longitud de 25.49 km (36.41 %).

En el área rural, al no disponer de redes de alcantarillado, la eliminación de excretas se realiza por medio de pozos sépticos, pozos ciegos o descarga directa al río, lago o quebrada.

En la tabla 2 se puede observar el porcentaje de cobertura del alcantarillado en el cantón Sucúa, desglosado por parroquias.

**Tabla 2.** Información de cobertura de alcantarillado en el cantón Sucúa (GADM-S, 2015).

PARROQUIAS	# Viviendas Catastradas	Si tienen Alcantarillado	No tienen Alcantarillado	Total
SUCÚA	5,196	32.20	67.80	100.00
HUAMBI	699	46.21	53.79	100.00
SANTA MARIANITA DE JESÚS	296	23.65	76.35	100.00
PROMEDIO TOTAL		34.02	65.98	

### 2.1.6.2 AGUA POTABLE.

El cantón Sucúa presenta un déficit en la cobertura de agua potable, tanto en la cabecera cantonal como en sus parroquias. Según los datos del plano base 2014, el porcentaje medio de viviendas que si tienen agua potable es de 44.48 % y las viviendas que no tienen agua alcanza el 55.52 %. El área urbana de Sucúa dispone de una longitud de red de 64.10 km de tuberías.

En el área rural, las comunidades no tienen servicio de agua potable, por lo que disponen de sistemas de agua entubada. El agua entubada es un riesgo para la población, ya que, al no tener un sistema de tratamiento mínimo como la cloración, se pone en riesgo la salud de los usuarios.

En la tabla 3 se observa la cobertura de agua potable en el cantón Sucúa en el año 2014, desglosado por parroquias.

**Tabla 3.** Cobertura de agua potable en el cantón Sucúa 2014 (GADM-S, 2015).

PARROQUIAS	# Viviendas Catastradas	Si tienen Agua	No tienen Agua	Total
SUCÚA	5,196	44.13	55.87	100.00
HUAMBI	699	46.07	53.93	100.00
SANTA MARIANITA DE JESÚS	296	43.24	56.76	100.00
PROMEDIO TOTAL		44.48	55.52	

## 2.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.

El sistema de agua potable de Sucúa actualmente está conformado por el sistema del cantón Sucúa y el sistema de la parroquia Santa Marianita de Jesús, en mayo del 2016 se produjo la unificación de las redes.

Los sistemas están conformados por: captaciones superficiales, líneas de conducción por gravedad, plantas de tratamiento, tanques de almacenamiento para la regulación del suministro y redes de distribución que trabajan a gravedad por diferencia de desnivel.

### 2.2.1 SISTEMA DE SUCÚA.

En el siguiente apartado se realizará una descripción de los componentes del sistema de agua potable del cantón Sucúa, la información fue tomada del estudio “*Fortalecimiento institucional de la empresa de agua potable y alcantarillado EPMAPA-S*”, dicho estudio fue realizado en el año 2014 por la empresa pública ETAPA-EP. Para mayor detalle, se remite al lector a (ETAPA-EP, 2014).

### 2.2.1.1 CAPTACIÓN.

El sistema del cantón Sucúa cuenta con 4 captaciones de fuentes superficiales. Las captaciones son estructuras rudimentarias de hormigón que no obedecen a diseños técnicos, esto ocasiona que el agua captada ingrese con materiales de arrastre y material flotante, afectando la calidad del agua cruda e incrementando el costo de tratamiento. En la tabla 4 se muestra un resumen de las principales características de las captaciones.

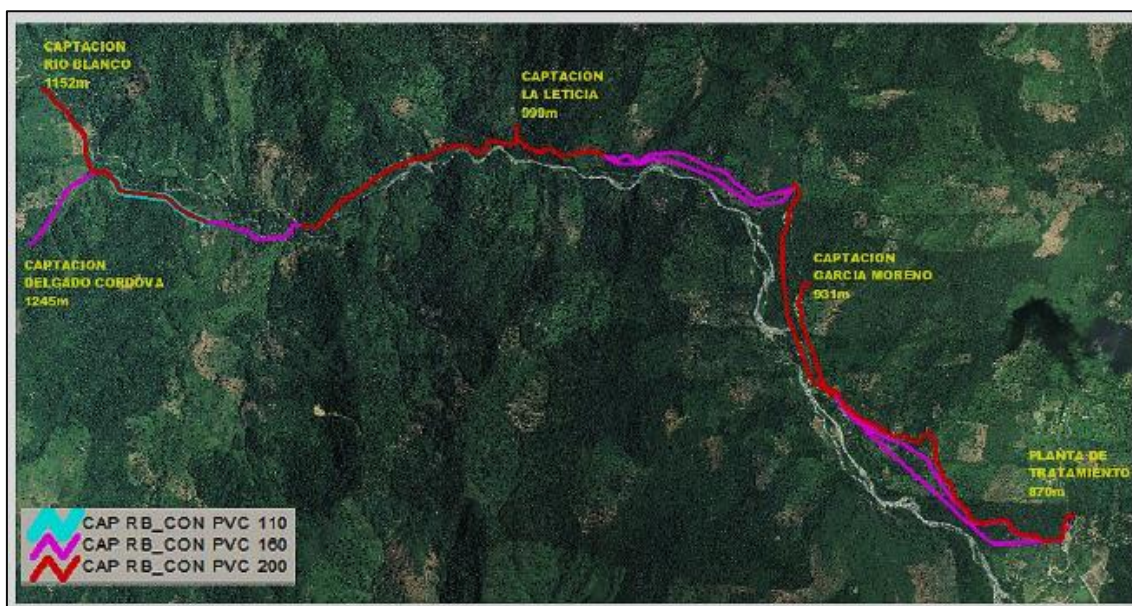
Las captaciones se encuentran a una cota adecuada, lo cual permite que el sistema de conducción funcione a gravedad hasta las plantas de tratamiento. El caudal total conducido a las plantas de tratamiento es de 121.36 l/s, siendo el más importante el caudal captado de la fuente del río Blanco, con un valor de 83.15 l/s. En la figura 8 se puede observar el esquema de la ubicación de las distintas captaciones del sistema de Sucúa.

Las cuencas de aporte de las zonas de captación se están viendo afectadas por el avance de las fronteras agrícolas y ganaderas, se debería tener mayor cuidado y control en la conservación de estas zonas. El ingreso a las estructuras de captación por parte de los operadores del sistema es complicado, por la falta de mantenimiento en la ruta de acceso. En casos de mantenimiento y/o emergencia, el trabajo se vuelve lento y peligroso.

El desarenador ubicado aguas abajo de la captación del río Blanco se encuentra inundado, por lo que no cumple su función de retención de arenas. El caudal a la salida del desarenador es de 69.18 l/s, lo cual evidencia que existe una pérdida de agua considerable.

**Tabla 4.** Captaciones del sistema de Sucúa.

Captación	Cota (msnm)	Caudal captado (l/s)
Río Blanco	1,152	83.15
Delgado -Córdova	1,245	37.18
Río Leticia	999	15.00
García Moreno	931	Sin dato



**Figura 8.** Esquema de captaciones del sistema de Sucúa (ETAPA-EP, 2014).



### 2.2.1.2 LÍNEA DE CONDUCCIÓN.

Las conducciones se realizan por gravedad, por medio de tuberías de material PVC con diámetros de 110 mm, 160 mm y 200 mm (ver figura 8). Las pérdidas en la conducción representan el 35 % del caudal captado.

Existen tres tanques rompe presión, cuya función es reducir la presión en las tuberías. La falta de mantenimiento hace que los tanques se encuentren rebosantes, esto debido a las obstrucciones por materia vegetal. Existen válvulas de aire instaladas, pero muchas de ellas no están funcionando. Los operarios realizan pequeñas perforaciones a las tuberías para extraer el aire, esto provoca pérdidas de agua y deterioro de la calidad del agua cruda. En la tabla 6 se muestra un resumen de las tuberías instaladas en toda la conducción.

**Tabla 5.** Resumen de tuberías instaladas en la conducción (EPMAPA-S, 2019).

Captación	Diámetro (mm)	Longitud (m)
Rio Blanco	200	5,743.43
	160	7,966.28
Delgado -Córdova	160	843.52
	110	778.34
Rio Leticia	200	438.52
García Moreno	200	3,331.71

### 2.2.1.3 PLANTAS DE TRATAMIENTO.

Sucúa cuenta con dos plantas de tratamiento, una planta antigua construida en los años 90 y una planta nueva que inicio su construcción en el año 2007, las dos plantas se encuentran ubicadas de manera contigua, en un área de terreno de 1.6 ha (ver figura 9). El ingreso a las plantas se lo realiza por el barrio la Cruz, vía a Tambache; las plantas se encuentran a una distancia de 3 km de la ciudad, entre las cotas 868 y 886 msnm.



**Figura 9.** Plantas de tratamiento Sucúa (Google Earth Pro-2019).

## ▪ PLANTA ANTIGUA.

La planta fue diseñada para tratar 20 l/s, pero a lo largo de los años ha sufrido ciertas modificaciones y ampliaciones, lo cual aumentó el tratamiento a 45 l/s. De acuerdo con los datos medidos por ETAPA-EP en enero del 2015, la planta se encuentra produciendo 12 l/s.

El tratamiento es de tipo no convencional y consta de los siguientes procesos:



El agua que ingresa de la conducción se conecta directamente a la planta nueva y deriva caudales a la planta antigua y a dos unidades que cumplen la función de reservorios y decantadores.

El volumen total de almacenamiento de los reservorios es de 5,000 m<sup>3</sup> (ver figura 10). Los reservorios se encuentran enterrados e impermeabilizadas las paredes con geomembrana de 500 micras, se encuentran ubicados en la parte alta de la planta.

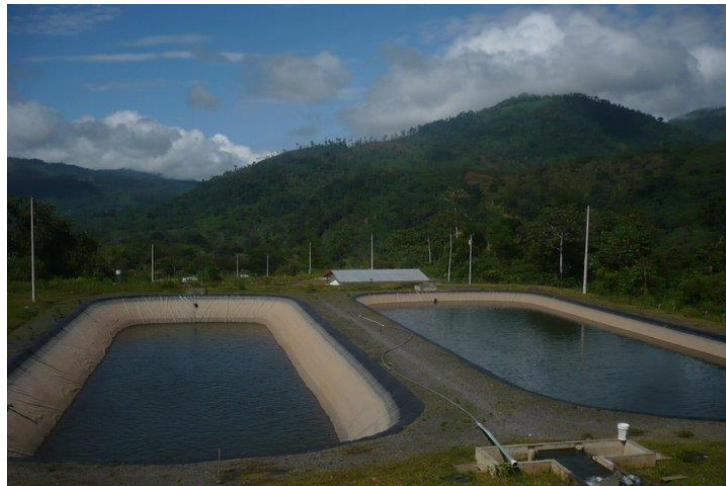


Figura 10. Reservorios con un volumen total de 5,000 m<sup>3</sup>.

- **Filtración gruesa horizontal.**

Cuenta con dos unidades de filtración gruesa de flujo horizontal y están contruidos de hormigón armado. El cajón de filtración es de sección rectangular y tienen las siguientes dimensiones: largo de 7.0 m, ancho de 2.30 m y 3.5 m de profundidad (ver figura 11).

- **Filtración ascendente.**

Consta de cuatro unidades de filtración rápida ascendente, existen tres unidades iguales de sección 1.80 m x 2.10 m y una cuarta unidad de sección 4.0 m x 2.10 m. El lecho filtrante utilizado es de arena, con una altura aproximada de 2.5 m (ver figura 12).



**Figura 11.** Filtros gruesos horizontales.

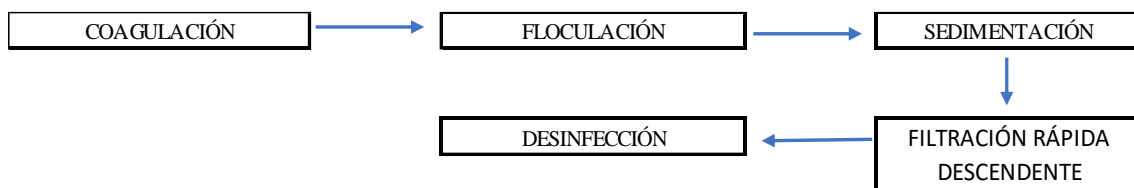


**Figura 12.** Filtros ascendentes.

▪ **PLANTA NUEVA.**

La planta fue diseñada para producir 120 l/s, actualmente se encuentra construido el primer módulo de 60 l/s. Es la principal planta de tratamiento del sistema de Sucúa, ya que produce más del 95 % del consumo de la ciudad.

La planta es de tipo convencional y consta de los siguientes procesos:



• **Cámara de entrada.**

Esta construida de hormigón armado, cuenta con dos vertederos que permite medir y controlar el caudal; además, tiene una compuerta que realiza un by-pass directamente a los filtros si las condiciones del agua cruda lo permiten (ver figura 13).

• **Mezcla rápida.**

Dispone de una canaleta Parshall construida de hormigón armado, la cual produce una turbulencia mediante un resalto hidráulico. El coagulante (sulfato de aluminio) es inyectado mediante un dosificador en la zona de turbulencia (ver figura 14).



**Figura 13.** Cámara de entrada.



**Figura 14.** Mezcla rápida.

- **Floculación.**

La unidad de floculación es de flujo horizontal, el tiempo de floculación total es de 25 minutos. La altura del agua en los canales del floculador es de 75 cm. La unidad está compuesta de 39 pantallas, las cuales están construidas por tabiques de hormigón armado (ver figura 15).

- **Sedimentación.**

El sedimentador de alta tasa está compuesto por dos cámaras simétricas de tipo laminar y la recolección del agua sedimentada se realiza mediante tuberías PVC perforadas. El material sedimentado (lodos) es expulsado a través de purgas ubicadas en la parte inferior hacia los desagües. La tasa de decantación aparente es de  $140 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{día}$ . En la figura 16 se puede observar el sedimentador de alta tasa.



**Figura 15.** Área de Floculación.



**Figura 16.** Sedimentador de Alta tasa.

- **Filtración.**

La filtración está compuesta por filtros rápidos descendentes, que constan de cuatro unidades de sección  $3.0 \text{ m} \times 2.9 \text{ m}$ , con una profundidad de  $3.3 \text{ m}$  (ver figura 17). El lecho filtrante está compuesto por una capa de antracita de  $0.5 \text{ m}$  de espesor, una capa de arena de  $0.2 \text{ m}$  de espesor y una última capa de soporte de grava de  $0.27 \text{ m}$  de espesor.

El retrolavado se lo realiza con el agua cruda de los reservorios, a través de una tubería secundaria instalada bajo los filtros.

- **Desinfección.**

Para la desinfección se dispone de un clorador de alimentación directa, el cual utiliza cilindros de 68 kg y no se dispone de un sistema automático de cambio. La solución del desinfectante se aplica a una cámara de salida de los filtros rápidos (ver figura 18), el tiempo de retención en la cámara de contacto es de 13 minutos.



Figura 17. Filtros rápidos descendentes.



Figura 18. Caseta de cloración.

- **Laboratorio.**

La planta cuenta con un laboratorio para el control de la calidad del agua. El laboratorio dispone de equipos para medición de color, turbiedad, cloro residual y los análisis básicos químicos y bacteriológicos. La persona encargada del laboratorio es una ingeniera química, es la responsable del control de calidad de agua producida tanto en planta como en las redes.

En la figura 19 se puede observar los equipos con los que cuenta el laboratorio y las pruebas que en ella se realiza para el control de la calidad del agua.



Figura 19. Laboratorio de control de calidad de la planta de tratamiento de Sucúa.

### 2.2.1.4 RESERVORIOS.

De acuerdo con el plano base de redes de agua potable 2019, el sistema tiene cuatro tanques de almacenamiento que se encuentran ubicados a la salida de cada planta. El volumen total de almacenamiento es de 1,000 m<sup>3</sup>. En la tabla 6 se observa las características de los cuatro tanques de hormigón armado.

**Tabla 6.** Características de los tanques de almacenamiento (EPMAPA-S, 2019).

Planta	Reserva	Volumen (m3)	Cota (msnm)	Altura (m)	Diámetro (m)
P. ANTIGUA	1	200	868	2.75	9.60
	2	200	868	2.75	9.60
	3	100	868	2.75	6.80
P. NUEVA	4	500	876	3.50	13.50

En la figura 20 se pueden ver los tres tanques de almacenamiento de la planta antigua y en la figura 21 se observa el tanque de almacenamiento de la planta nueva.



**Figura 20.** Tanques de almacenamiento de la Planta Antigua.



**Figura 21.** Tanque de almacenamiento de la Planta Nueva.

### 2.2.1.5 RED DE DISTRIBUCIÓN.

La red de distribución está conformada por tuberías de PVC con diámetros que varían desde 250 mm hasta 32 mm. Además, el sistema cuenta con válvulas de corte para mantenimiento y reparaciones, y válvulas reductoras de presión (VRP) para controlar las sobrepresiones en ciertos sectores de la ciudad.

Cada usuario cuenta con su respectiva acometida, el consumo es registrado mediante micromedidores. Los usuarios cuentan con un servicio continuo de 24 horas.

En la figura 22 se puede observar la red de distribución completa, en la parte superior se encuentran los depósitos de almacenamiento del sistema. De acuerdo con el plano base redes de agua potable 2019, el área de cobertura del sistema es de 1,200 ha, entre la zona urbana y rural.

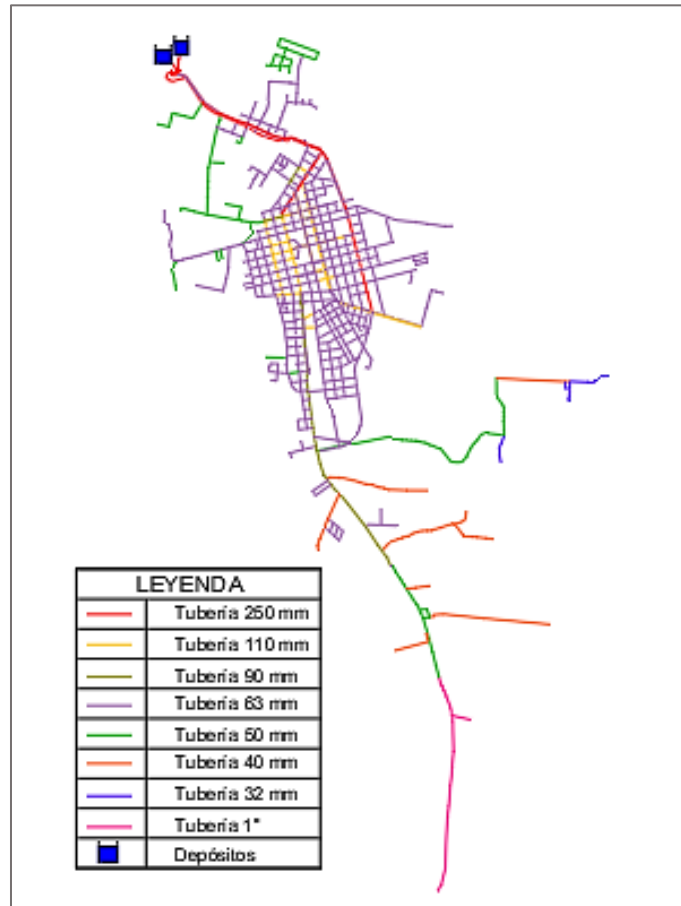


Figura 22. Red de distribución del cantón Sucúa.

- **Tuberías.**

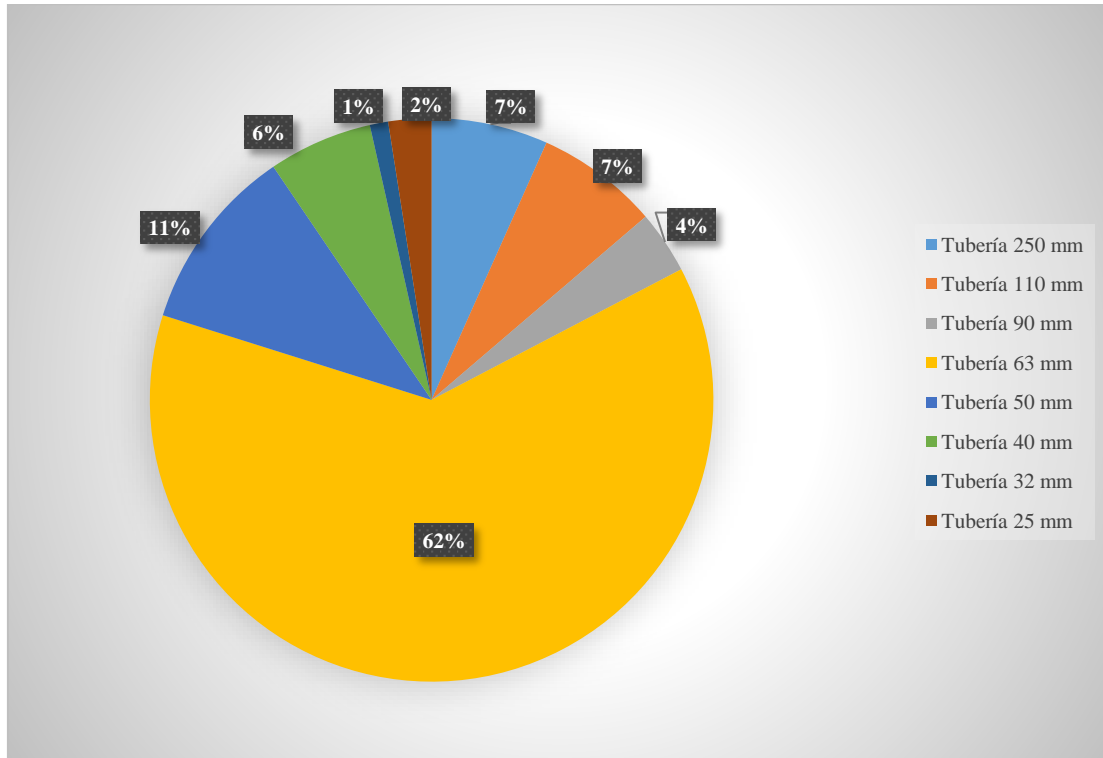
De acuerdo con el plano base de agua potable del año 2019, la red de distribución está conformada por 110.23 km de tubería. Las tuberías más representativas del sistema son las tuberías de diámetro 63 mm y 50 mm, que representan el 62 % y 11 % respectivamente. En la tabla 7 se muestra un resumen de todas las tuberías que conforman la red.

Tabla 7. Longitud de tuberías instaladas en el sistema de distribución.

Diámetro (mm)	Longitud (km)	Material
250	7.37	PVC
110	7.77	PVC
90	3.96	PVC
63	68.93	PVC
50	11.74	PVC
40	6.58	PVC
32	1.16	PVC
25	2.72	PE
<b>TOTAL</b>	<b>110.23</b>	<b>km</b>

El 99 % del material de las tuberías instaladas en la red es de PVC, solo el 1 % corresponde a tubería de polietileno (PE). Esta tubería se encuentra ubicada al final de la red de distribución, en el sector de Huambinimi, el diámetro instalado corresponde a 1 pulgada.

En la figura 23 se observa los diámetros de las tuberías con sus respectivos porcentajes instalados. Las tuberías de diámetro 63 mm son predominantes en todo el sistema con un 62 %.



**Figura 23.** Tuberías de la red de distribución del cantón Sucúa.

- **Válvulas.**

El sistema cuenta con 164 válvulas de corte y 19 válvula reductoras de presión (VRP). Las válvulas de corte cumplen la función de operación y mantenimiento, existen válvulas que se encuentran dañadas y otras sin acceso (perdidas), ya que han sido cubiertas por la calzada de las vías.

En la tabla 8 se puede ver un resumen de las válvulas instaladas con su respectivo diámetro y ubicación.



**Tabla 8. Válvulas de corte instaladas en el sistema.**

Ubicación	Diámetro (mm)	Cantidad	Observación
BARRIO AEROPUERTO	63	8	
	90	2	
BARRIO LOS ARTESANOS	63	6	
BARRIO LA PROVIDENCIA	63	5	
BARRIO SUR	63	19	
	90	1	
	110	4	
BARRIO 5 ESQUINAS	63	5	
	110	1	
	250	2	
BARRIO 12 DE FEBRERO	63	11	
	110	2	
BARRIO 8 DE DICIEMBRE	50	1	
	63	12	
	110	3	
BARRIO CENTRO	63	4	Existe 1 válvula dañada.
	110	3	
BARRIO UPANO	63	15	Existe 4 válvulas perdidas.
	90	1	
	110	5	
BARRIO 3 DE NOVIEMBRE	63	7	
	110	1	
BARRIO AMAZONAS	63	5	
	250	3	
BARRIO NORTE	63	12	Existe 1 válvula perdida.
	110	4	
BARRIO TERMINAL	63	3	
	90	1	
	110	2	
BARRIO LA CRUZ	50	1	
	63	4	
	250	5	
BARRIO NAZARENO	63	2	
PLANTA-DISTRIBUCIÓN	63	1	
	250	3	
<b>TOTAL</b>		<b>164</b>	<b>Unidades</b>

Las válvulas reductoras de presión se encuentran distribuidas por toda la ciudad, no se dispone de datos de consignas. En la tabla 9 se pueden observar un resumen de las válvulas instaladas con su respectiva ubicación, cota y diámetro.

**Tabla 9.** Válvulas reductoras de presión.

Ubicación	Diámetro (mm)	Cota (msnm)	Observación
BARRIO AEROPUERTO	90	816	
	63	824	
	63	824	
BARRIO LOS ARTESANOS	63	824	
BARRIO SUR	63	824	
	63	825.19	
	63	830.14	
BARRIO 3 DE NOVIEMBRE	63	826.78	
BARRIO 12 DE FEBRERO	110	828.18	
	63	830.38	
	110	830.86	
	63	831.13	
BARRIO CENTRO	110	830.37	Dañada
BARRIO LA PROVIDENCIA	63	824.18	
BARRIO SUR	110	826.85	
	63	827.88	
BARRIO UPANO	110	828.46	
	63	828.76	
BARRIO AMAZONAS	63	829.02	
<b>TOTAL</b>		<b>19</b>	<b>Unidades</b>

- **Acometidas.**

De acuerdo con los registros de la EPMAPA-S (julio 2019), existen 5,221 cuentas y se encuentran categorizadas en tres tipos: doméstico, comercial y público, además, se lleva un registro del estado que se encuentra la cometida. En la tabla 10 se muestra un resumen de usuarios de Sucúa y Santa Marianita para el periodo de julio 2019.

**Tabla 10.** Resumen de planillaje del periodo julio del 2019.

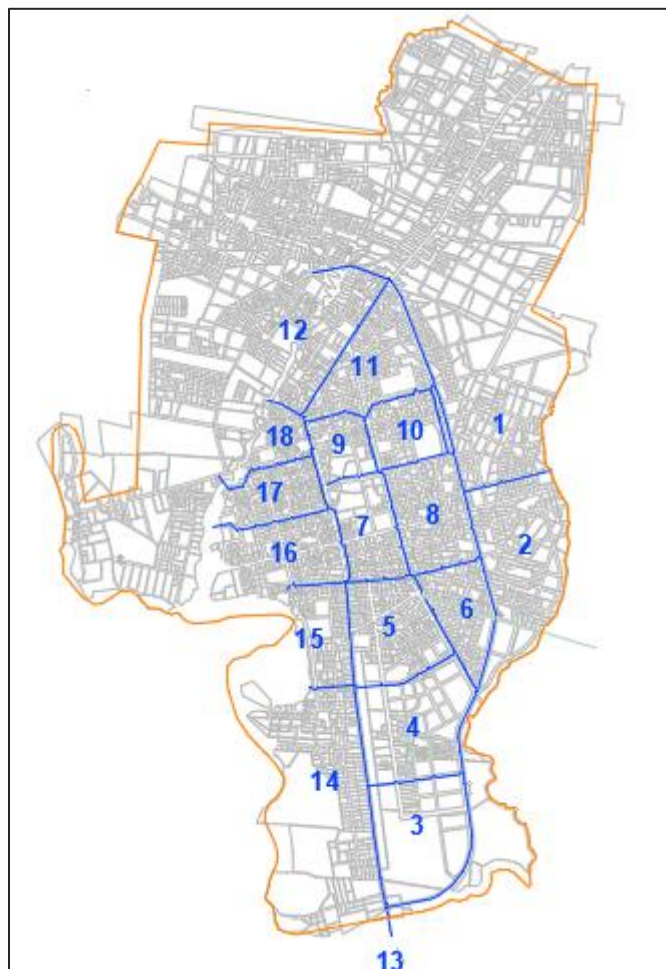
Detalle	No. Cuentas	Total
<b>AGUA POTABLE (Facturación)</b>	<b>5,221</b>	<b>28,133.62 \$</b>
Doméstico	5,070	24,216.07 \$
Comercial	57	1,147.20 \$
Público	94	2,770.35 \$
<b>CONSUMO MEDIDO (m3)</b>	<b>5,221</b>	<b>53,869</b>
Doméstico	5,070	49,148
Comercial	57	1,187
Público	94	3,534
<b>ESTADO DE LA ACOMETIDA</b>	<b>5,221</b>	
Normal	4,981	
Inaccesible	9	
Sin Medidor	144	
Suspendido	76	
Desconectado	9	
Construcción	2	

- **Sectorización.**

En enero del 2015 ETAPA-EP propone una sectorización distribuida en 18 sectores. Los criterios utilizados para esta sectorización consideran que cada sector este comprendido entre 12 y 20 manzanas, dadas las condiciones de accesorios existentes instalados y por las facilidades de operación.

Actualmente la sectorización se encuentra implementada, pero, de acuerdo con el plano base de agua potable 2019, no se encuentran instaladas todas las válvulas necesarias para que dicha sectorización cumpla su objetivo. Al estar en constantes ampliaciones la red, existen nuevos sectores a ser considerados en la sectorización.

En la figura 24 se observa la sectorización (18 sectores) propuesta por ETAPA-EP en el año 2015.



**Figura 24.** Sectorización propuesta por ETAPA-EP 2015.

## 2.2.2 SISTEMA DE SANTA MARIANITA DE JESÚS.

La parroquia Santa Marianita se encuentra ubicada a 5 km al norte la ciudad de Sucúa, a una altura media de 957 msnm. La topografía del área donde se encuentra la parroquia es regular, con ciertas elevaciones en el sentido Norte-Sureste.

El sistema de agua de Santa Marianita de Jesús es nuevo, fue diseñado para satisfacer las demandas de la parroquia Santa Marianita y a los barrios Belén y Nuevo Israel.

Existe un trabajo previo realizado por Yáñez Vásquez (2018), del cual se ha extraído la información más relevante para describir el apartado de “Línea de conducción” y “Planta de tratamiento”, del presente sistema.

### 2.2.2.1 CAPTACIÓN.

La captación es de tipo superficial con una toma lateral, la misma captará un caudal de 25 lt/s. La captación del agua cruda se lo realiza desde el río Arapicos, la estructura se encuentra ubicada a la cota 1,513 msnm (GADM-S G. A., 2010).

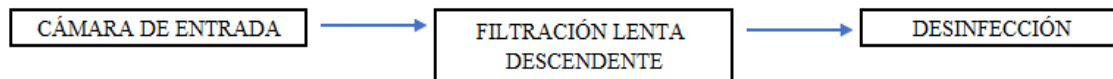
El sistema cuenta con un desarenador para evitar que el material de arrastre (arenas, material suspendido, etc) dañe las tuberías.

### 2.2.2.2 LÍNEA DE CONDUCCIÓN.

Las conducciones se realizan por gravedad, por medio de tuberías de material PVC, con diámetros de 160 mm y 200 mm. Tiene un total de 11.3 km de tubería, 5 tanques rompe presión, 41 válvulas de aire y 7 válvulas de purga.

### 2.2.2.3 PLANTA DE TRATAMIENTO.

La planta de tratamiento de Santa Marianita de Jesús está diseñada para tratar un caudal de 20 l/s y se encuentra ubicada en un terreno de 1.1 ha, entre las cotas 930 msnm y 939 msnm. La planta es de tipo no convencional y consta de los siguientes procesos:



- **Cámara de entrada.**

Consta de un cajón de hormigón armado, el cual distribuye caudal a los tres filtros lentos de manera equitativa, la cámara se encuentra ubicada a la cota 939 msnm (ver figura 25).

- **Filtros lentos descendentes.**

Consta de tres unidades de filtración, tienen una sección de 12.75 m x 8.25 m y una profundidad de 2.5 m. El lecho está compuesto por una capa de arena de 0.90 m y una capa de grava de 0.5 m, la tasa de filtración es de 6.5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> x día. En la figura 26 se puede observar los tres filtros en funcionamiento.



Figura 25. Cámara de entrada.



Figura 26. Filtros lentos descendentes.

- **Desinfección.**

La desinfección se realiza con una unidad de cloración, que se encuentra ubicada a la cota 934 msnm. El desinfectante usado es cloro gas, con una dosificación de 55 g/h, el contacto con el agua se lo realiza en 3 cámaras similares de 1.30 m x 1.50 m y una profundidad de 2.5 m.

En la figura 27 se puede observar la ubicación de la planta de tratamiento de Santa Marianita de Jesús.



Figura 27. Planta de tratamiento de Santa Marianita de Jesús (Google Earth Pro-2019).

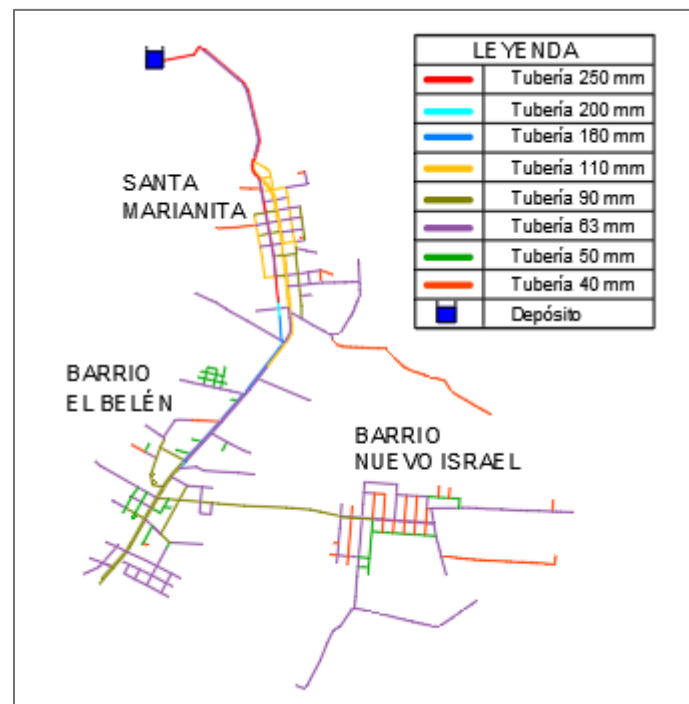
#### 2.2.2.4 RESERVORIO.

La planta de tratamiento dispone de un solo tanque de almacenamiento, el cual se encuentra ubicado a la salida de la planta, a la cota 930 msnm. El tanque es de hormigón armado de 11.5 m de diámetro y una altura de 2.90 m, la capacidad de reserva es de 300 m<sup>3</sup> (EPMAPA-S, 2019).

### 2.2.2.5 RED DE DISTRIBUCIÓN.

La red de distribución está conformada por tuberías de PVC con diámetros que varían desde 250 mm hasta 40 mm. Además, el sistema cuenta con válvulas de corte y válvulas reductoras de presión (VRP). Cada usuario cuenta con su respectiva acometida, el consumo es registrado mediante micromedidores y los usuarios cuentan con un servicio continuo de 24 horas.

En la figura 28 se puede observar la red de distribución completa, en la parte superior se encuentra el depósito de almacenamiento del sistema. De acuerdo con el plano base redes de agua potable 2019, el área de cobertura del sistema es de 520 ha.



**Figura 28.** Red de distribución de Santa Marianita de Jesús.

- **Tuberías.**

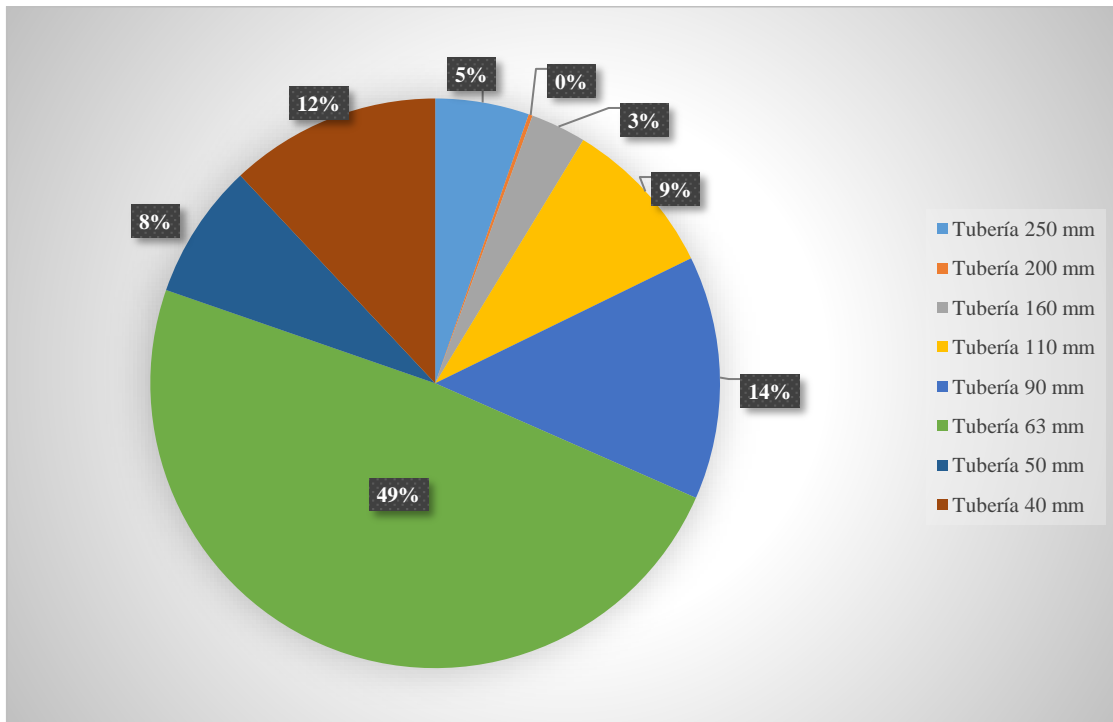
De acuerdo con el plano base de agua potable del año 2019, la red de distribución está conformada por 57.80 km de tubería. Las tuberías más representativas del sistema son las tuberías de diámetro 63 mm y 90 mm, que representan el 49 % y 14 % respectivamente.

En la tabla 11 se muestra un resumen de todas las tuberías que conforman la red, se observa que el 100 % del material instalado en la red es de PVC.

**Tabla 11.** Longitud de tuberías instaladas en el sistema de distribución.

Diámetro (mm)	Longitud (km)	Material
250	3.08	PVC
200	0.13	PVC
160	1.82	PVC
110	5.24	PVC
90	7.99	PVC
63	28.16	PVC
50	4.45	PVC
40	6.93	PVC
<b>TOTAL</b>	<b>57.80</b>	<b>km</b>

En la figura 29 se observa los diámetros de las tuberías con sus respectivos porcentajes instalados. Las tuberías de diámetro 63 mm son predominantes en todo el sistema con un 49 %.



**Figura 29.** Tuberías de la red de distribución de Santa Marianita de Jesús.

- **Válvulas.**

El sistema cuenta con 29 válvulas de corte y 2 válvulas reductoras de presión (VRP). En la tabla 12 se puede ver un resumen de las válvulas instaladas con su respectivo diámetro y ubicación.

**Tabla 12.** Válvulas de corte de la red de distribución.

Ubicación	Diámetro (mm)	Cantidad
Parroquia Santa Marianita	63	1
	110	4
Sector Bellavista	63	2
	50	1
	40	1
Barrio el Belén	63	6
	90	8
Barrio nuevo Israel	63	3
	90	2
Planta-distribución	250	1

Las válvulas reductoras de presión (VRP) se encuentran ubicadas, una al inicio de la distribución, sector Santa Marianita y la otra al ingreso al barrio Nuevo Israel. En la tabla 13 se pueden observar un resumen de las dos válvulas instaladas con su respectiva ubicación, cota y diámetro.

**Tabla 13.** Válvulas reductoras de presión.

Ubicación	Diámetro (mm)	Cota (msnm)	Observación
Ingreso Sta. Marianita	250	893.4	Nueva
Ingreso Nuevo Israel	90	837	Nueva

- **Acometidas.**

De acuerdo con los registros de la EPMAPA-S (julio 2019) existen 1,331 usuarios y se encuentran categorizados de tres maneras: doméstico, comercial y público. En la tabla 14 se muestra un resumen de las cuentas de Santa Marianita para el periodo de julio 2019, separados según su ubicación (sector).

**Tabla 14.** Usuarios del sistema de Santa Marianita.

Ubicación	No Cuentas
Santa Marianita	389
Bellavista	245
Barrio el Belén	400
Barrio Nuevo Israel	297
<b>TOTAL</b>	<b>1,331</b>

- **Sectorización.**

El sistema se encuentra sectorizado en tres sectores, cada sector está formado por dos mallas. Existen zonas que se encuentran con ramales sin cerrar el circuito, estas situaciones se presentan por la topografía de la zona o por estar en terrenos privados por donde no se puede atravesar con la red, esto ocurre principalmente en el sector de Nuevo Israel.

En la tabla 15 se observa los tres sectores del sistema, con sus respectivas mallas y ubicación.



**Tabla 15.** Sectorización Santa Marianita (GADM-S G. A., 2010).

Sector		Malla	Ubicación
Sector I	Santa Marianita de Jesús	Malla I	Comprende desde la "Troncal Amazónica" hacia el Este
		Malla II	Comprende desde la "Troncal Amazónica" hacia el Oeste
Sector II	El Belén	Malla I	Comprende desde la "Troncal Amazónica" hacia el Este
		Malla II	Comprende desde la "Troncal Amazónica" hacia el Oeste
Sector III	Nuevo Israel	Malla I	Comprende desde la "Calle C" hacia el Norte
		Malla II	Comprende desde la "Calle C" hacia el Sur

## 2.3 BALANCE HÍDRICO.

Para poder realizar una evaluación de las pérdidas de agua en un sistema de abastecimiento es inevitable realizar un balance hídrico de la red. Según Bartolín Ayala (2013) “el balance hídrico más sencillo queda definido a partir del volumen inyectado y del volumen registrado en los contadores de los abonados, lo cual permite conocer el porcentaje de agua registrada”.

Para evaluar las pérdidas de agua es necesario realizar un análisis de los consumos registrados y los consumos incontrolados. Si se dispone de datos adicionales como: errores en las mediciones, volúmenes autorizados no registrados, estimaciones de volúmenes no autorizados (tomas ilegales), se puede llegar a realizar un balance hídrico completo y más apegado a la realidad.

Una vez realizado el balance hídrico, se podrá obtener el porcentaje de agua fugada, el porcentaje de agua consumida y los rendimientos volumétricos del sistema; a través de este análisis, la empresa podrá realizar una mejor gestión del recurso.

Para efectuar el balance hídrico, se utilizarán los datos entregados por la EPMAPA-S. El balance se realizará con los datos del año 2014, ya que para esta fecha se cuenta con registros de macromedición a la salida de la planta de tratamiento.

### 2.3.1 VOLUMEN INYECTADO.

El sistema de agua del cantón Sucúa no dispone de macromedición. Sin embargo, en enero del 2015 se llevó a cabo un estudio de “*Agua No Contabilizada*” por parte de la empresa pública ETAPA-EP, en la que realizaron mediciones de caudal a la salida de la planta. La macromedición del caudal se efectuó por 72 horas continuas, con una toma de datos de caudal cada 10 minutos. Para las mediciones se utilizaron dos caudalímetros portátiles ultrasónicos. En la tabla 16 se muestra un resumen de la información recopilada de la macromedición.

**Tabla 16.** Caudales registrados de macromedición.

Estación	Q mínimo (l/s)	Q medio (l/s)	Q máximo (l/s)
Salida Planta Nueva	42	47.80	53.90
Salida Planta Antigua	0.0*	2.90	9.60
<b>Total P. Antigua + P. Nueva</b>	<b>42</b>	<b>50.66</b>	<b>63.50</b>

\* Se registraron caudales negativos en esta conducción en horario nocturno alto.

Para la evaluación del volumen total entregado al mes, se trabajará con el volumen promedio diario registrado en la macromedición (ver tabla 17).

**Tabla 17.** Volumen promedio diario entregado a la red.

Estación	Q medio (l/s)	Volumen promedio diario (m3)
TOTAL P. ANTIGUA + P. NUEVA	50.66	4,376.80

Puesto que los datos de macromedición fueron tomados en enero del 2015, la evaluación del caudal inyectado se realizará para el mes de diciembre 2014, que es el mes más próximo a la medición. Esta decisión fue tomada luego de analizar los registros de micromedición del año 2014, en donde se evidencia que en varios meses de ese año el sistema sufrió cortes de agua por problemas en la línea de conducción; en el mes de diciembre el sistema tuvo un funcionamiento normal, sin cortes de agua.

**Tabla 18.** Volumen total inyectado en diciembre del 2014.

Periodo	Q medio (m3/día)	No. Días	Volumen (m3)
Diciembre-2014.	4,376.80	31	135,680.90

### 2.3.2 VOLUMEN REGISTRADO.

De acuerdo con los registros de consumo de agua mensuales del año 2014, el mes de diciembre registra un volumen de 65,223 m<sup>3</sup>/mes, estos datos fueron procesados de los archivos de la EPMAPA-S (ver tabla 19). Los datos que presentan un (\*), representan situaciones especiales que ocurrió en el sistema, debido a cortes del suministro por daños en la línea de conducción.

**Tabla 19.** Consumos registrados año 2014.

Mes	Volumen Registrado (m3)
Enero	60,144
Febrero	47,894*
Marzo	47,892*
Abril	46,521*
Mayo	63,101
Junio	61,102
Julio	47,464*
Agosto	61,514
Septiembre	50,001*
Octubre	61,359
Noviembre	63,264
Diciembre	65,223
<b>Promedio Anual</b>	<b>62,244</b>
* Problemas en la línea de conducción (corte de agua)	

### 2.3.3 VOLUMEN INCONTROLADO.

El volumen de agua incontrolada constituye las pérdidas, las cuales pueden ser reales y aparentes. Las pérdidas reales son las fugas en el sistema y se localizan en las

tuberías, principalmente en las acometidas. Las pérdidas aparentes son agua consumida, pero no controlada, estas pérdidas se presentan por errores en los contadores, consumos no registrados pero autorizados, consumos ilegales, etc.

A continuación, se describe dos tipos de pérdidas aparentes que se pudieron obtener de informes y registros del sistema de Sucúa:

- **Errores en los micromedidores.**

En el mes de diciembre del año 2014, como parte del estudio de “*Agua No Contabilizada*” ejecutado por ETAPA-EP, se realizó ensayos de exactitud metrológica a los micromedidores existentes en el sistema. Se examinaron 45 medidores de un universo de 3,360, con un nivel de confianza >90 %. Los ensayos fueron realizados de acuerdo con la normativa ISO 4064.

Como resultado de las pruebas en el banco de ensayos, se establece que existe una sub-medición general del parque de micromedidores del **7 %**.

- **Usuarios sin medidor.**

De acuerdo con el registro de planillaje de diciembre del año 2014, existen 179 acometidas sin medidor (ver tabla 20), a estos usuarios la empresa les cobra la tarifa base, pero no se les asigna ningún “consumo medio” en sus registros.

**Tabla 20.** Resumen del consumo diciembre del 2014.

Detalle	No. Cuentas	Total
<b>AGUA POTABLE (Facturación)</b>	<b>3,379</b>	<b>20,170.39 \$</b>
Doméstico	3,286	17,533.51 \$
Comercial	69	1,387.15 \$
Público	24	1,249.73 \$
<b>CONSUMO MEDIDO (m3)</b>	<b>3,379</b>	<b>65,223</b>
Doméstico	3,286	57,929
Comercial	69	2,440
Público	24	4,854
<b>ESTADO DE LA ACOMETIDA</b>	<b>3,379</b>	
Normal	3,086	
Sin Medidor	179	
Sin llave de Paso	53	
Inaccesible	19	
Suspendido	8	
Desconectado	28	
Medidor Dañado	4	
Construcción	2	

### 2.3.4 BALANCE HÍDRICO TÉCNICO.

Con los datos obtenidos en el apartado anterior, se procede a realizar el balance hídrico técnico. En la figura 30 se muestra el diagrama arbóreo del balance, con los componente y orden a seguir. De acuerdo con los datos disponibles, se podrá llegar hasta el *tercer nivel*, que aborda sobre la medición.

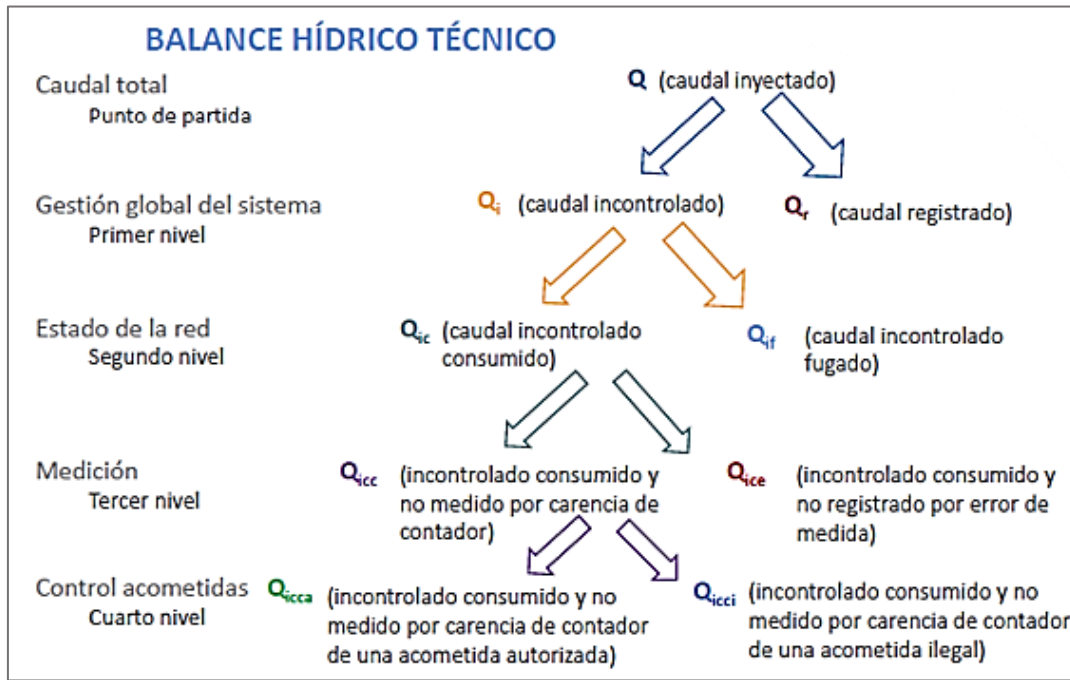


Figura 30. Balance hídrico técnico (Gómez, 2015).

- **Caudal Inyectado (Q).**

El caudal medio inyectado a la red en diciembre del 2014.

$$Q = 50.66 \frac{l}{s}$$

- **Caudal Registrado (Qr).**

El caudal registrado en el mes de diciembre del 2014.

$$Qr = 65,223 \frac{m^3}{mes}$$

$$Qr = 24.35 \frac{l}{s}$$

- **Caudal Incontrolado (Qi)**

La diferencia entre el caudal inyectado y el caudal registrado es el caudal incontrolado.

$$Qi = Q - Qr$$

$$Qi = 50.66 \frac{l}{s} - 24.35 \frac{l}{s}$$

$$Q_i = 26.31 \frac{l}{s}$$

- **Caudal incontrolado consumido y no medido por carencia de contador (Qicc)**

De acuerdo con los registros de planillaje, existen 179 usuarios sin medidor en el mes de diciembre del 2014. Además, el consumo medio doméstico por usuario para dicho mes tiene un valor de  $20.3 \text{ m}^3$  (Yáñez Vásquez, 2018).

$$Q_{icc} = 179 \text{ usuarios} \times 20.3 \frac{\text{m}^3}{\text{mes} \times \text{usuario}}$$

$$Q_{icc} = 3,633.7 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

$$Q_{icc} = 1.36 \frac{l}{s}$$

- **Caudal incontrolado consumido y no registrado por error de medida (Qice).**

Como se explicó en el apartado anterior, los micromedidores tienen un error por sub-medición del 7 %, es decir el caudal registrado solo representa el 93 % del valor real. A continuación, se realiza el cálculo de dicho valor, para el consumo registrado en diciembre del 2014.

$$Q_r = 65,223 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \rightarrow (93 \%)$$

$$Q_{ice} = 4,909.26 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \rightarrow (7 \%)$$

$$Q_{ice} = 1.83 \frac{l}{s}$$

- **Caudal incontrolado consumido (Qic).**

Viene dado por la siguiente ecuación:

$$Q_{ic} = Q_{icc} + Q_{ice}$$

$$Q_{ic} = 1.36 \frac{l}{s} + 1.83 \frac{l}{s}$$

$$Q_{ic} = 3.19 \frac{l}{s}$$

- **Caudal incontrolado fugado (Qif).**

Se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_{if} = Q_i - Q_{ic}$$

$$Q_{if} = 26.31 \frac{l}{s} - 3.19 \frac{l}{s}$$

$$Q_{if} = 23.12 \frac{l}{s}$$

En la tabla 21 se muestra un resumen del balance hídrico técnico realizado para el sistema de Sucúa con datos de diciembre del 2014.

**Tabla 21.** Balance hídrico técnico de la red de Sucúa.

<b>DATOS DE LA RED ACTUAL</b>			
Caudal Inyectado	Q	50.66	l/s
Caudal Registrado	Q <sub>r</sub>	24.35	l/s
Caudal Incontrolado	Q <sub>i</sub>	26.31	l/s
Caudal incontrolado consumido	Q <sub>ic</sub>	3.19	l/s
Caudal incontrolado consumido y no medido por carencia de contador	Q <sub>icc</sub>	1.36	l/s
Caudal incontrolado consumido y no registrado por error de medida	Q <sub>ice</sub>	1.83	l/s
Caudal incontrolado fugado	Q <sub>if</sub>	23.12	l/s
<b>% agua fugada</b>		<b>45.64</b>	<b>%</b>



# **CAPÍTULO 3**

## **MODELO MATEMÁTICO**

### 3 MODELO MATEMÁTICO.

Según Bhave (1988) “los modelos matemáticos de redes de distribución de agua son elaborados y utilizados para predecir el comportamiento de las redes en diferentes condiciones y en la planificación de sus expansiones”.

El objetivo principal de un modelo matemático es reproducir de manera simplificada y con la mayor exactitud posible el comportamiento hidráulico real de un sistema de abastecimiento. Para la creación de un modelo se utiliza software de análisis y simulación, en nuestro caso se utilizará el software Epanet 2.0.

Para el presente TFM, se realizará un modelo matemático para la red de abastecimiento de Sucúa y un modelo para la red de abastecimiento de Santa Marianita de Jesús. Una vez construidos ambos modelos, se unificarán los dos sistemas y se analizará el comportamiento en conjunto.

El modelo matemático permitirá realizar una evaluación del estado actual de la red y será una herramienta de apoyo para los técnicos en la toma de decisiones sobre la operación de la red, y en general la optimización de la gestión del sistema.

Para la elaboración del modelo matemático, se ha formulado el siguiente esquema:



**Figura 31.** Fases para el desarrollo del modelo.

A continuación, se describe el procedimiento realizado para el sistema de Sucúa y para el sistema de Santa Marianita de Jesús.



### 3.1 MODELO MATEMÁTICO SISTEMA SUCÚA.

#### 3.1.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.

La Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del cantón Sucúa (EPMAPA-S) es la encargada de administrar el servicio de agua. Para la obtención de la información, fue necesario realizar el pedido mediante oficio, dirigido a su máxima autoridad. La información fue entregada en formato digital. A continuación, se detalla los archivos que fueron entregados:

- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Sucúa 2014.
- Plano base de cantón Sucúa 2019 en formato DWG.
- Plano base de redes del cantón Sucúa 2019 en formato DWG.
- Planillaje de consumos registrados en micromedidores del año 2018 y 2019.
- Informe del fortalecimiento institucional de la empresa pública de agua potable y alcantarillado EPMAPA-S (2014-2015).
- Estudio del sistema de agua potable de la parroquia Santa Marianita de Jesús (2010).
- Topografía del cantón mediante curvas de nivel en formato DWG.

Otros datos extras fueron obtenidos desde la página web de la municipalidad y desde la red social de la empresa (registro fotográfico).

Cabe indicar que la entrega de la información por parte de la municipalidad conllevó su tiempo, ya que, al ser una institución pública, se tienen que respetar ciertos tramites y procesos internos. La información entregada por la municipalidad sirve de base para la creación de los modelos matemáticos de los sistemas.

#### 3.1.2 ESQUELETIZACIÓN.

Para realizar la esqueletización de la red, se contó con el plano base de redes del cantón Sucúa 2019, en formato DWG. El plano está conformado por todas las tuberías instaladas en el sistema, con su respectiva longitud, material y diámetro (ver figura 32).

Una vez realizado la inspección del plano, se evidenció que existe ciertos errores en las uniones de las tuberías (nodos), algunas tuberías se encontraban traslapadas, otras sin empalmar y/o sobrepuestas. Para dar solución a todos estos inconvenientes se creó un nuevo archivo DWG y se realizó la corrección de todos estos errores. Además, en este nuevo trazado, se trabajó todas las tuberías con “*polilíneas*” y se agrupó cada diámetro en una respectiva capa.

Se realizaron ciertas simplificaciones en la red, existieron tramos cortos que fueron eliminados, otros tramos estaban conformados por un tramo corto y un largo de diferente diámetro, estos fueron sustituidos por una sola tubería, todo esto con el objetivo de simplificar la red. En la figura 33 se puede evidenciar un tramo con dos tuberías en serie, una corta y una larga de diámetros diferentes, en este caso fue sustituido por una sola tubería con el diámetro del tramo largo.

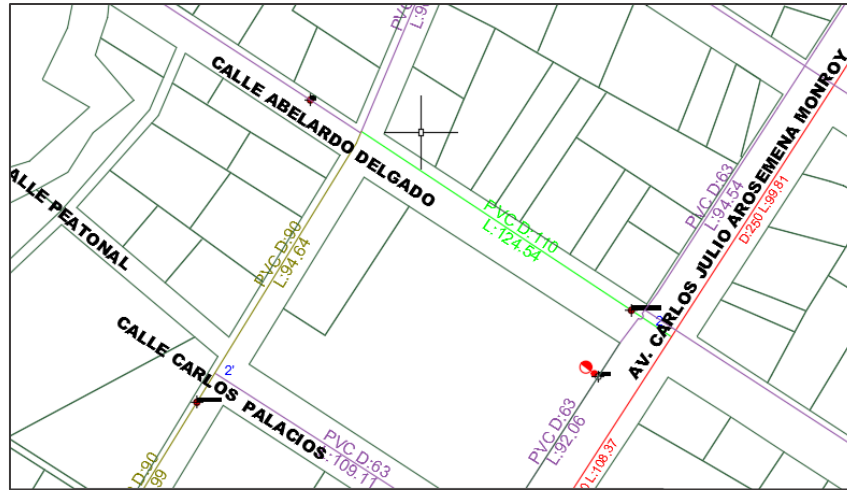


Figura 32. Plano base de redes de Sucúa 2019.

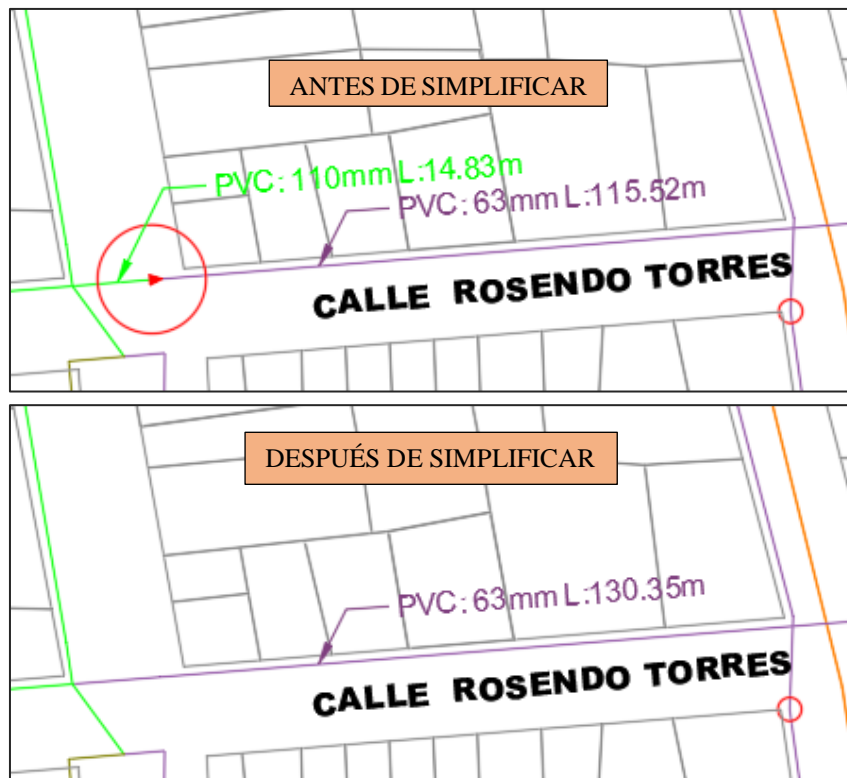


Figura 33. Ejemplo de un antes y después de la simplificación de un tramo de la red.

Una vez realizado todas las correcciones y simplificaciones, se procedió a guardar el archivo en formato DXF para poder realizar la importación de la red a Epanet por medio de la extensión “CADaRED”. La extensión permite la importación de archivos de CAD a Epanet o Swmm; esta extensión fue desarrollado por el Dpto. de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV).

En la figura 34 se puede observar las capas que van a ser importadas a Epanet por medio de la extensión CADaRED. En la figura 35 se muestran las opciones de importación, hay que tener en cuenta el valor de la tolerancia a partir de los cuales dos nodos próximos se mantienen separados, y en las opciones de “Identificadores de líneas” se debe de colocar “%c”, para que, al momento de la importación el nombre de la capa

se quede etiquetado a cada uno de los elementos (líneas), esta etiqueta luego permitirá asignar los valores de los diámetros en Epanet.

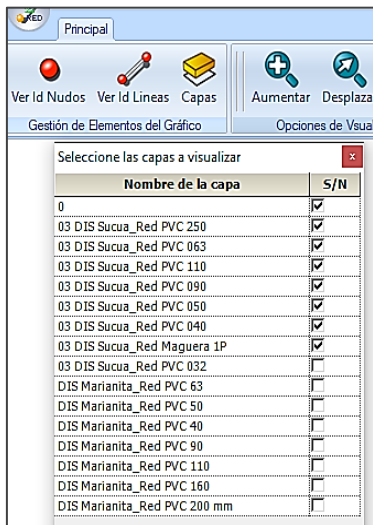


Figura 34. Capas a importar.

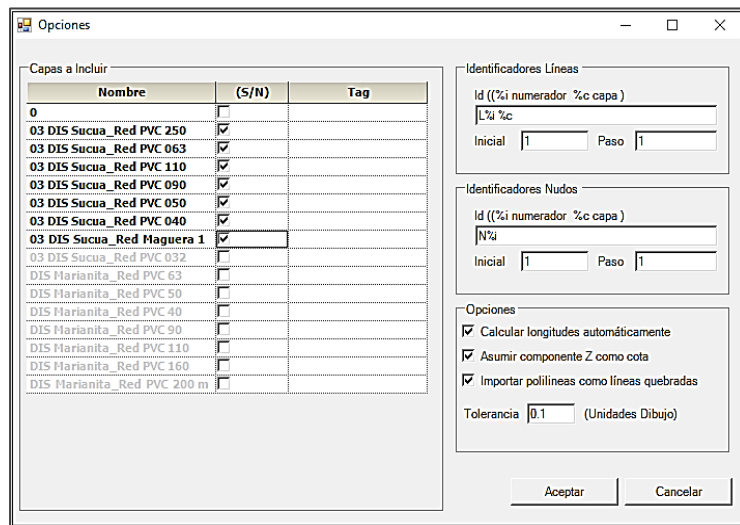


Figura 35. Opciones de importación en CADaRED.

En la figura 36 se observa la red completa que será exportada hacia Epanet desde CADaRED, y en la figura 37 se presenta la red ya importada en Epanet. Los diámetros internos de las tuberías fueron ingresados con la ayuda de la extensión de editor de texto (Bloc de Notas), el cual permite el intercambio de información con Epanet.

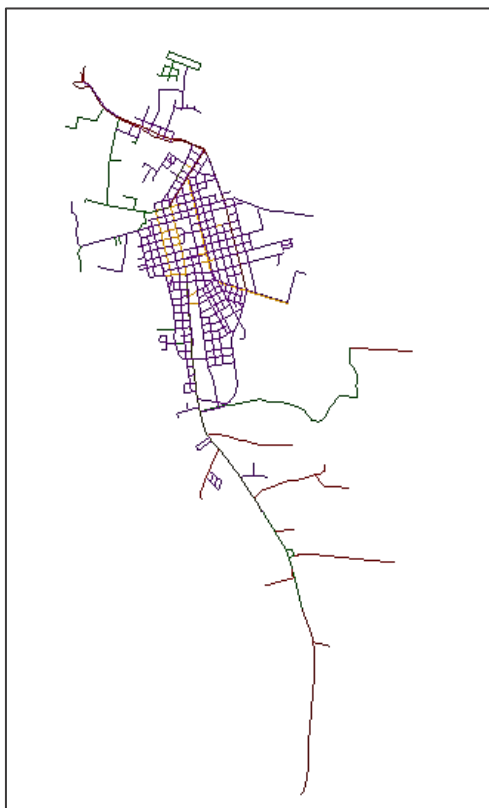


Figura 36. Red completa en CADaRED.

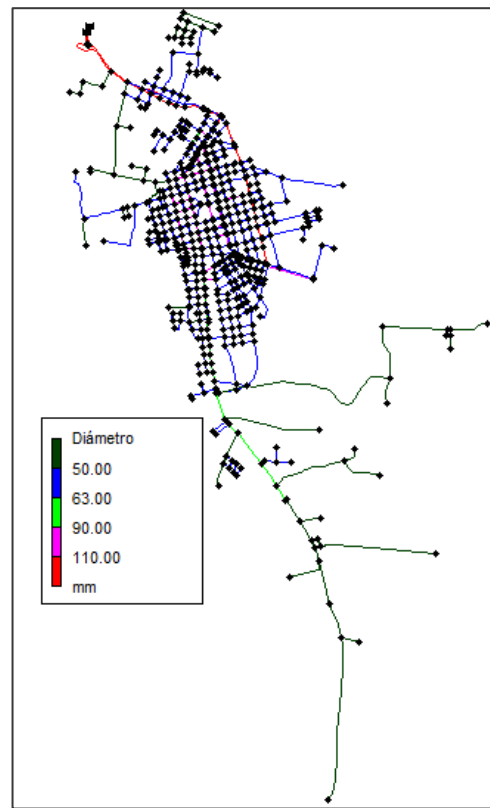


Figura 37. Red completa en Epanet.

Al no disponer de datos de los depósitos como: nivel inicial, nivel máximo y mínimo de la lámina de agua, datos de fructuaciones de la lámina de agua y caudales de ingreso a los depósitos, se decidió realizar una simplificación del modelo, sustituyendo los depósitos por embalses, que cumplirían la misma función de inyectar agua al sistema para el caso de estudio. En la figura 38 se muestra los embalses ingresados al modelo.



Figura 38. Embalses del sistema.

### 3.1.3 ASIGNACIÓN DE COTAS EN LOS NODOS.

Para la asignación de cotas en los nodos, se dispone de la topografía del cantón Sucúa (ver figura 39) mediante curvas de nivel en formato DWG. La herramienta utilizada para la asignación de cotas es *TRex*, la cual es una herramienta complementaria del software WaterCAD (Bentley Systems, 2010).

A continuación, se describen los pasos a seguir para la asignación automática de las elevaciones a partir de modelos digitales del terreno (*TRex*).

1. Como primer paso, se procede a aguardar las curvas de nivel en formato DXF.
2. La red previamente importada a Epanet, se guarda en formato (\*.INP).
3. En WaterCAD se realiza la importación de la red, anteriormente guardada en formato (\*.INP), de igual manera se carga la superficie en formato DXF (ver figura 40).
4. Como paso final, se utiliza la herramienta *TRex*, la cual asignara de manera automática la cota a cada nudo de la red (ver figura 41).

Una vez obtenido las cotas de cada nodo, se procede a exportar la nueva red a Epanet en formato (\*.INP). Se verifica que las cotas asignadas a los nodos coincidan con las de la topografía, para asegurar un correcto diseño del sistema.

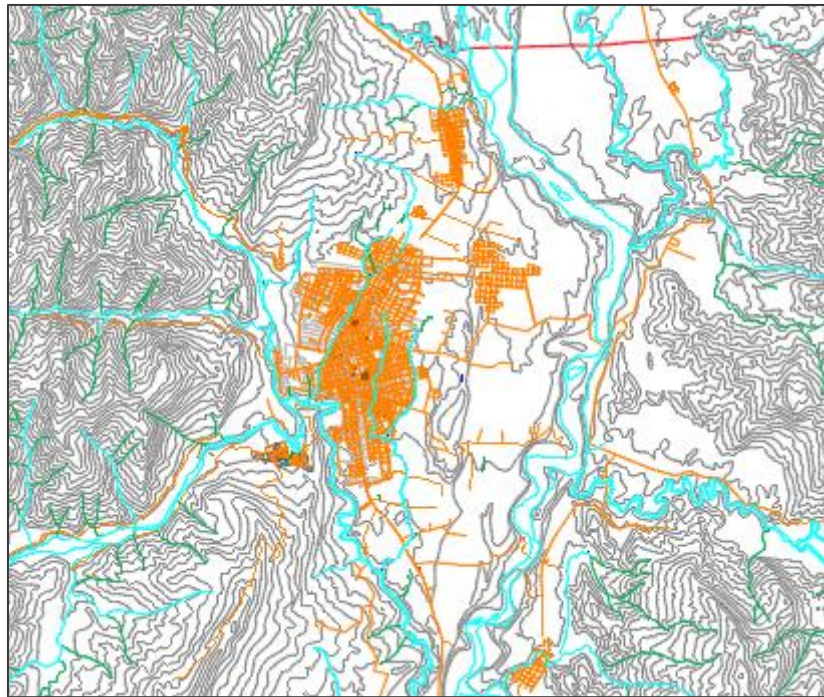


Figura 39. Topografía del cantón Sucúa mediante curvas de nivel.

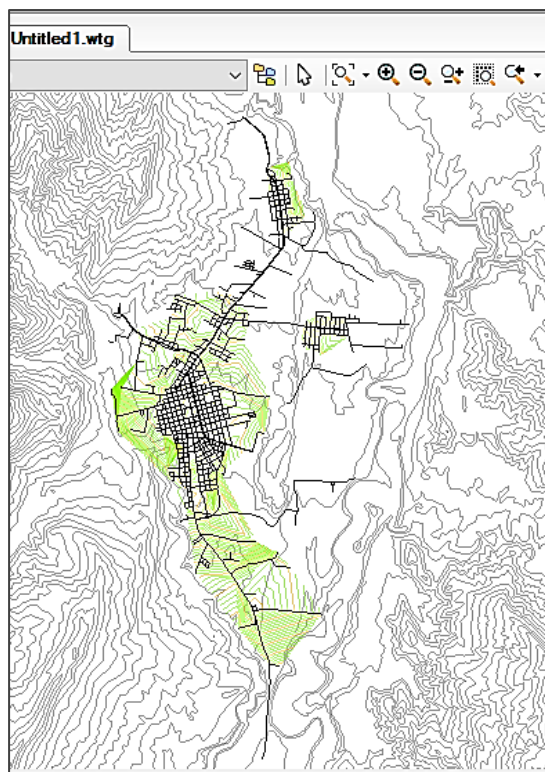


Figura 40. Red y superficie cargada a WaterCAD.

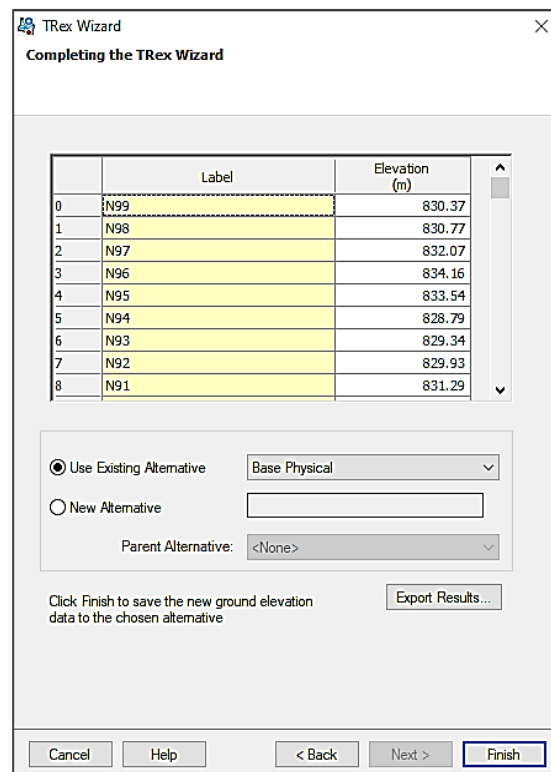
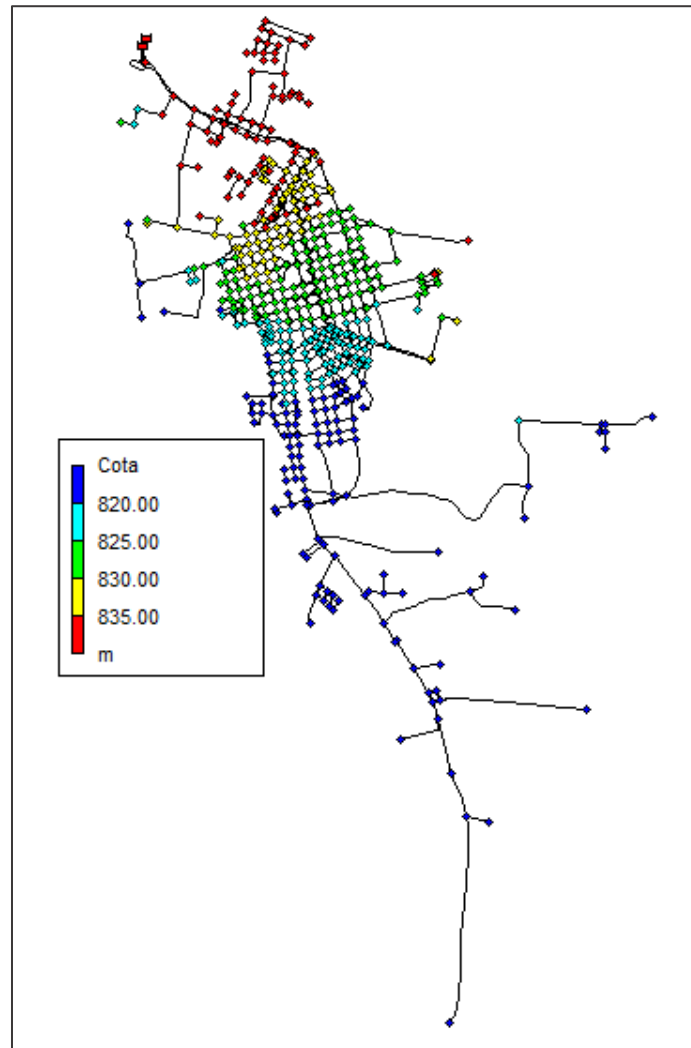


Figura 41. Cotas asignadas a los nodos con TRex.

En la figura 42 se observa la red completa en Epanet, cada nodo se encuentra con su respectiva cota. Cabe indicar que todos estos pasos se realizaron en conjunto para los dos sistemas.



**Figura 42.** Red completa en Epanet con cotas asignadas.

### 3.1.4 ANÁLISIS Y ASIGNACIÓN DE DEMANDAS.

El modelo matemático será creado a partir de los datos de consumos de diciembre del 2014, como se explicó en el capítulo anterior, en el apartado de “Balance hídrico”.

La EPMAPA-S clasifica a sus usuarios en: doméstico, comercial y público. De acuerdo con la tabla 22, se puede evidenciar que el consumo doméstico es el más importante, representando cerca del 89 % del consumo total registrado.

**Tabla 22.** Registro de consumos de diciembre del 2014.

Detalle	No. Cuentas	Total	Porcentaje
<b>CONSUMO MEDIDO (m3)</b>	<b>3,379</b>	<b>65,223</b>	<b>100.00%</b>
Doméstico	3,286	57,929	88.82%
Comercial	69	2,440	3.74%
Público	24	4,854	7.44%

Para la asignación de demandas, a los abonados se les ha separado en dos grandes grupos: abonados importantes y abonados domésticos. En la figura 43 se muestra el esquema que se seguirá para de asignación de demandas por zonas funcionales.

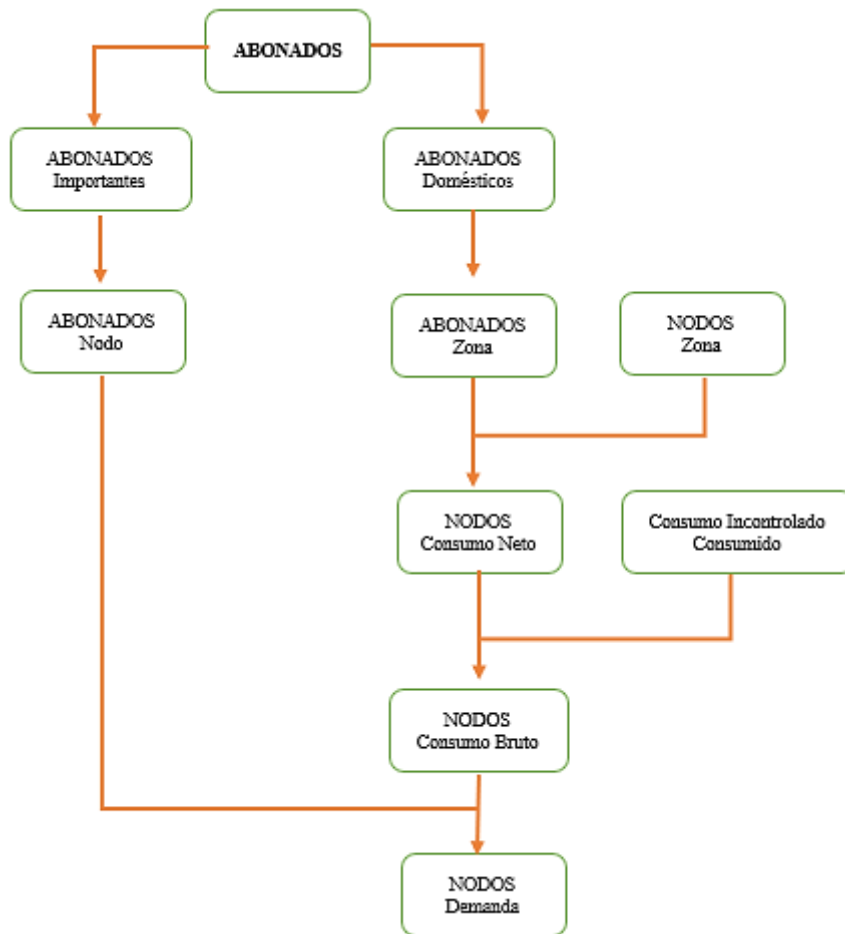
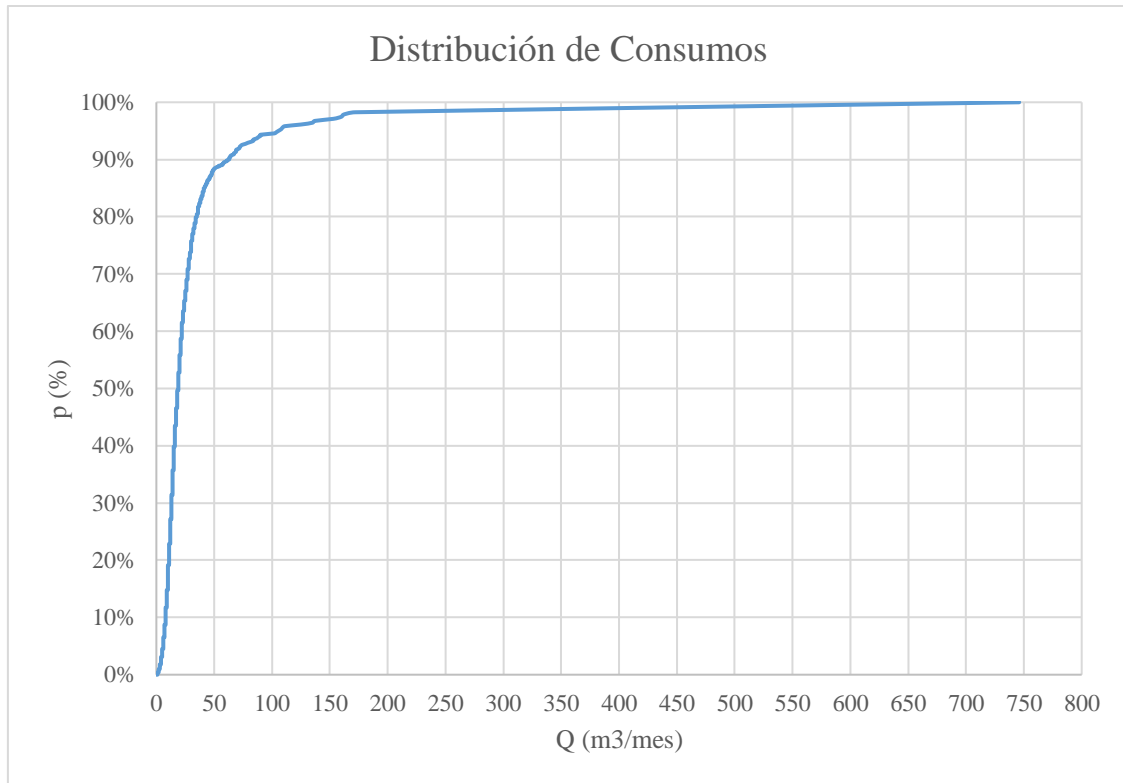


Figura 43. Esquema para la asignación de demanda.

- **Abonados importantes.**

Se considera abonados importantes a las instituciones públicas como: colegios, escuelas, mercados, hospitales y a los usuarios privados que tengan consumos significativos. Al no disponer de la facturación detallada por usuario del mes de diciembre del 2014, se consideró los consumos importantes de la facturación del mes de julio del 2019, que son los datos más actuales que se dispone.

En la figura 44 se observa la distribución de los consumos del mes de julio del 2019, para esta fecha se puede apreciar que aproximadamente el 90 % de los abonados tienen un consumo menor a 50 m<sup>3</sup>/mes. Dentro del 10 % restante se encuentran los abonados considerados como importantes.



**Figura 44.** Distribución de consumos del cantón Sucúa (julio-2019).

En la tabla 23 se muestra los consumos de los abonados importantes distribuido por barrios. Existen 34 abonados importantes, los cuales suman un consumo total de 3,246 m<sup>3</sup>/mes; los consumos serán asignados directamente a los nodos correspondientes, acorde a la ubicación del usuario. Además, en la columna cinco de la tabla 23 aparece reflejado los nodos a los cuales se le asignaran los consumos en Epanet.

**Tabla 23.** Consumos importantes por barrios (julio 2019).

Abonados Importantes		Q (m3/mes)	Q (l/s)	Nodo Epanet
<b>B. Terminal</b>	Terminal Terrestre	90	0.0336	N113
	SECAP	10	0.0037	N120
	Dirección Distrital Sucúa - Log.	26	0.0097	N149
	Centro de Salud IESS	52	0.0194	N112
	Escuela Rosita Palacios	5	0.0019	N119
	<b>Subtotal</b>	<b>183.00</b>	<b>0.068</b>	
<b>B. Norte</b>	Museo Sucúa	50.00	0.0187	N88
	<b>Subtotal</b>	<b>50.00</b>	<b>0.019</b>	
<b>B. 8 De Diciembre</b>	Escuela Arcesio Gonzales	42.00	0.0157	N167
	Plaza Cívica	102.00	0.0381	N168
	Sindicato De Choferes	45.00	0.0168	N161
	<b>Subtotal</b>	<b>189.00</b>	<b>0.071</b>	
<b>B. Centro</b>	Parque Central	50.00	0.0187	N98
	Municipio de Sucúa	31.00	0.0116	N501
	Policía Nacional	36.00	0.0134	N98
	Escuela Mercedes Navarrete	132.00	0.0493	N502
	Escuela Rumiñahui	64.00	0.0239	N99
	Colegio Rio Upano Bloque A	125.00	0.0467	N93
	<b>Subtotal</b>	<b>438.00</b>	<b>0.164</b>	



<b>Abonados Importantes</b>		<b>Q (m<sup>3</sup>/mes)</b>	<b>Q (l/s)</b>	<b>Nodo Epanet</b>
<b>B. Upano</b>	Instituto Técnico Superior Sucúa	91.00	0.0340	N135
	Bomberos	15.00	0.0056	N443
	Jardín De Infantes María Goretti	69.00	0.0258	N434
	Colegio Río Upano Bloque B	50.00	0.0187	N155
	<b>Subtotal</b>	<b>225.00</b>	<b>0.084</b>	
<b>B. Amazonas</b>	Estadio Eddy Coello	58.00	0.0217	N65
	<b>Subtotal</b>	<b>58.00</b>	<b>0.022</b>	
<b>B.12 De Febrero</b>	Coliseo Jaime Roldos	109.00	0.0407	N481
	Escuela 5 De Junio	173.00	0.0646	N147
	<b>Subtotal</b>	<b>282.00</b>	<b>0.105</b>	
<b>B. Sur</b>	Iglesia María Auxiliadora	25.00	0.0093	N171
	Subcentro De Salud	41.00	0.0153	N101
	Ficsh	93.00	0.0347	N184
	Mies	92.00	0.0343	N444
	Mercado 1 De Mayo	172.00	0.0642	N194
	Escuela Alfredo Germany	108.00	0.0403	N190
	Escuela Julio Padilla	178.00	0.0665	N491
	Multicancha Sur	28.00	0.0105	N141
	<b>Subtotal</b>	<b>737.00</b>	<b>0.2752</b>	
<b>B. 3 De Noviembre</b>	Centro Cristiano	49.00	0.0183	N71
	<b>Subtotal</b>	<b>49.00</b>	<b>0.0183</b>	
<b>B. Aeropuerto</b>	Hospital Básico Sucúa	906.00	0.3383	N537
	Parador Turístico Anaconda	25.00	0.0093	N461
	<b>Subtotal</b>	<b>931.00</b>	<b>0.348</b>	
<b>B. Los Artesanos</b>	Escuela Francisco Gonzales	104.00	0.0388	N41
	<b>Subtotal</b>	<b>104.00</b>	<b>0.0388</b>	
<b>Total</b>		<b>3,246.00</b>	<b>1.212</b>	

En el **Anexo 1** se puede ver la distribución de los 19 barrios urbanos y rurales con los que cuenta el cantón Sucúa.

- **Abonados domésticos.**

La asignación del consumo a los abonados domésticos se ha realizado por zonas (barrios). A continuación, se describe la secuencia seguida:

1. Se realiza el conteo de casas por barrios, para ello se utilizó el plano base del cantón; a las viviendas de 1 o 2 plantas se considera como un solo usuario y a las viviendas de 3 o más plantas, se considera un usuario por cada planta. Cabe indicar que el tipo de vivienda predominante en el cantón, son las viviendas de 1 y 2 plantas.
2. Con los datos de los consumos de diciembre 2014, los consumos incontrolados consumidos y el consumo total de los abonados importantes, se procede a calcular la dotación medio por usuario. En la tabla 24 se puede observar los cálculos realizados, obteniendo una demanda media por usuario de **22.13 m<sup>3</sup>/mes**.
3. Una vez calculada la demanda media, se procede a calcular los consumos por zonas, esto se logra al multiplicar la dotación media por el número de usuarios de cada barrio.

4. Se realiza el conteo del número de nodos en cada barrio.
5. La demanda bruta por nodo será la relación entre el consumo total del barrio dividido para su respectivo número de nodos.
6. La demanda total por nodo será la suma de la demanda bruta más la demanda de abonados importantes.
7. Una vez determinado la demanda de cada nodo, se procede a importar estos valores a Epanet mediante la extensión de editor de texto y Excel.

**Tabla 24.** Cálculo de la demanda media por usuario.

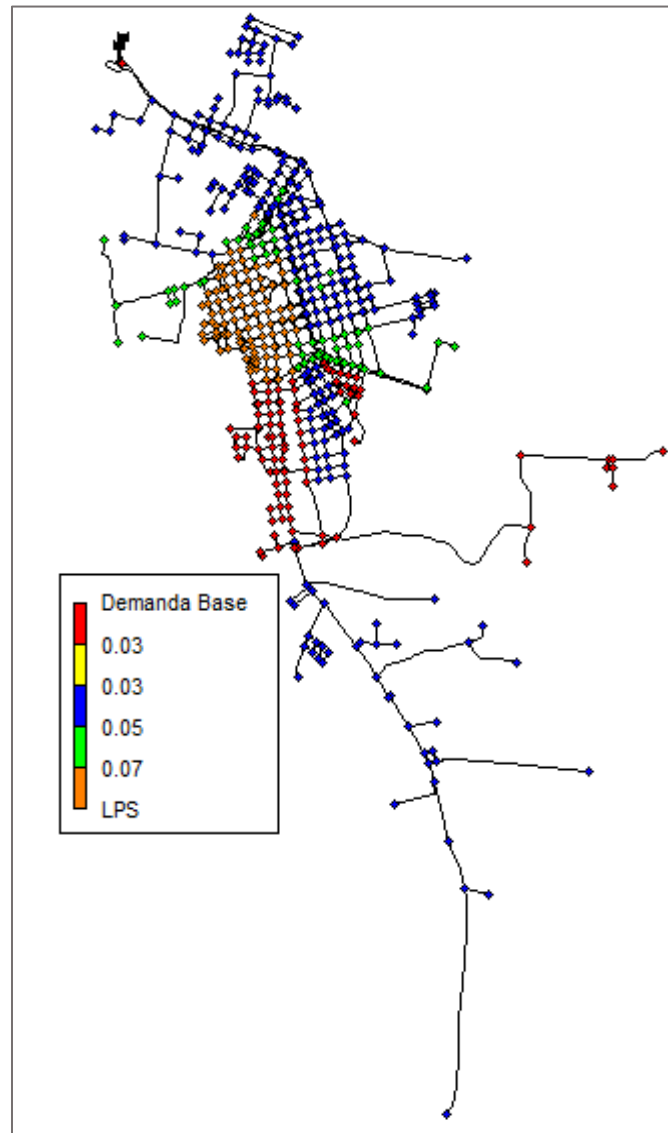
<b>Consumos</b>	<b>Id</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Total Registrado	a	65,223.00	m3/mes
Total Incontrolado Consumido	b	8,542.96	m3/mes
Total Consumos Importantes	c	3,246.00	m3/mes
Total Consumo	$d = a+b$	73,765.96	m3/mes
Total Consumo Doméstico	$e = d-c$	70,519.96	m3/mes
Total Usuarios Sucúa (Conteo en Plano Base)	f	3,186	usuarios
<b>Dotación media por usuario</b>	<b><math>d=e/f</math></b>	<b>22.13</b>	<b>m3/mes</b>

En la tabla 25 se muestra los cálculos realizados para llegar a la obtención de la demanda de cada nodo del sistema. Existe un total de 602 nodos de consumo.

**Tabla 25.** Cálculo de los consumos por nodos.

Barrio	# Usuarios Domésticos	Consumos Importantes (m3/mes)	Consumo Doméstico (m3/mes)	Consumo Total (m3/mes)	# Manzanas	# Total Nodos por Barrio	# Abonados Importantes	Consumo por Nodo (m3/mes)	Consumo por Nodo (l/s)
TERMINAL	156	183.00	3,452.95	3,635.95	21	42	5	82.21	0.031
NORTE	200	50.00	4,426.86	4,476.86	13	31	1	142.80	0.053
8 DE DICIEMBRE	152	189.00	3,364.42	3,553.42	11	18	3	186.91	0.070
CENTRO	214	438.00	4,736.75	5,174.75	9	17	6	278.63	0.104
UPANO	156	225.00	3,452.95	3,677.95	15	31	4	111.39	0.042
AMAZONAS	78	58.00	1,726.48	1,784.48	17	19	1	90.87	0.034
12 DE FEBRERO	226	282.00	5,002.36	5,284.36	18	25	2	200.09	0.075
SUR	488	737.00	10,801.55	11,538.55	30	58	8	186.23	0.070
3 DE NOVIEMBRE	175	49.00	3,873.51	3,922.51	31	31	1	124.95	0.047
5 ESQUINAS	230	0.00	5,090.89	5,090.89	30	35	0	145.45	0.054
AEROPUERTO	187	931.00	4,139.12	5,070.12	30	72	2	57.49	0.021
ARTESANOS	198	104.00	4,382.60	4,486.60	24	35	1	125.22	0.047
PROVIDENCIA	64	0.00	1,416.60	1,416.60	11	25	0	56.66	0.021
PROGRESO	98	0.00	2,169.16	2,169.16	20	12	0	180.76	0.067
PARAÍSO	95	0.00	2,102.76	2,102.76	19	25	0	84.11	0.031
31 DE AGOSTO	54	0.00	1,195.25	1,195.25	10	15	0	79.68	0.030
CRUZ	239	0.00	5,290.10	5,290.10	48	55	0	96.18	0.036
NAZARENO	147	0.00	3,253.75	3,253.75	19	40	0	81.34	0.030
PAZAN MEDINA	29	0.00	641.90	641.90	4	9	0	71.32	0.027
<b>TOTAL SUCÚA</b>	<b>3,186</b>	<b>3,246</b>	<b>70,519.96</b>	<b>73,765.96</b>	<b>380</b>	<b>602</b>	<b>34</b>		

En la figura 45 se observa los nodos con sus respectivas demandas, las zonas con mayor demanda se encuentran ubicados en los cuatros barrios céntricos de la ciudad: barrio 8 de Diciembre, barrio 12 de Febrero, barrio Centro y barrio Sur.



**Figura 45.** Red completa en Epanet con demandas asignadas.

### 3.1.5 MODELO SIN CALIBRAR.

Una vez ingresado las cotas y las demandas, el modelo se encuentra completo. Se realiza las primeras simulaciones en régimen permanente para comprobar que los datos estén ingresados correctamente.

El caudal inyectado a la red desde los embalses 1 y 2 es de **27.54 l/s**, este valor coincide con el consumo total de la población de 73,765.96 m<sup>3</sup>/mes (ver tabla 25).

Una vez verificado los caudales inyectados, las cotas y diámetros de las tuberías, se puede decir que el modelo se encuentra concluido, pero no calibrado. A continuación, se llevará a cabo el proceso de calibración con el ajuste de emisores y patrones de consumo.

### 3.1.6 MEDICIONES.

Se dispone de datos de macromedición de caudales de 72 horas continuas en el punto de alimentación a la red de distribución, estas mediciones fueron realizadas en enero del 2015 por ETAPA-EP. En el **Anexo 2** se muestra los registros de las macromediciones, estos registros fueron tomados del informe de “*Agua No Contabilizada*” que reposan en los archivos de la EPMAPA-S.

- **Patrón de Consumo (Curva de Modulación).**

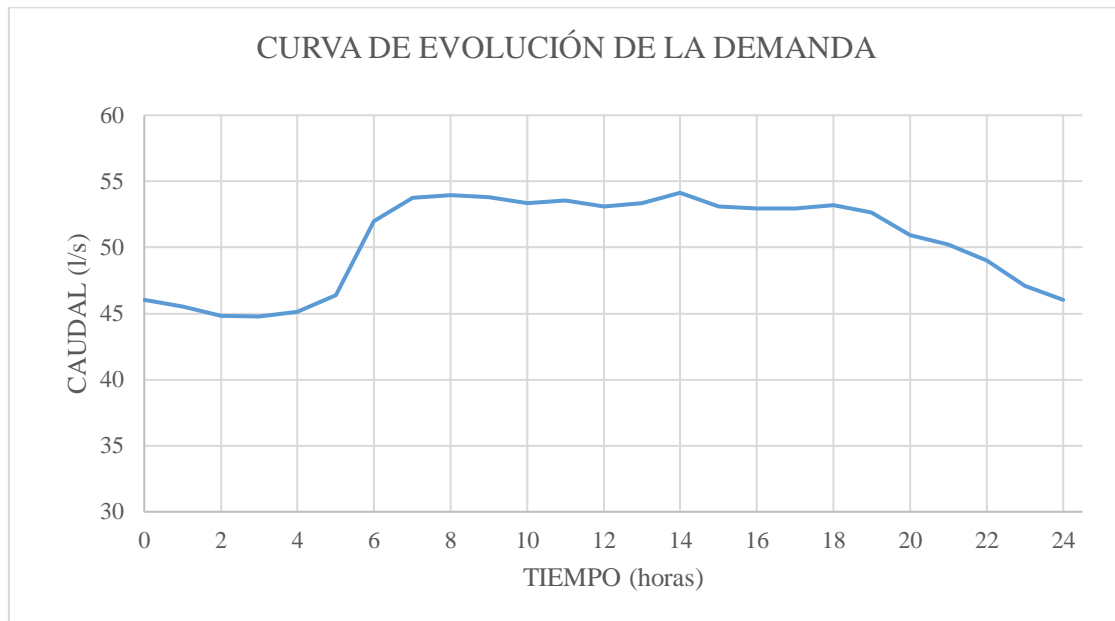
Iglesias Rey & Martínez Solano (2012) señalan que “la diferencia existente entre los valores instantáneos medidos mediante el concurso de un *data-logger* o registrador de datos, y el valor del caudal medio obtenido al promediar el volumen total consumido es extremadamente grande. Esto obliga a condensar la información disponible de caudal inyectado, promediándola para un cierto intervalo de tiempo”. En conclusión, lo que se busca es obtener una curva de evolución temporal de los consumos a partir de valores instantáneos medidos.

En la tabla 26 se muestra los valores de la evolución temporal de la demanda, obtenida del procesamiento de los datos de macromedición.

**Tabla 26.** Datos de la curva de modulación del caudal inyectado.

<b>Tiempo (h)</b>	<b>Q iny. (l/s)</b>	<b>Factor</b>
0-1	46.04	0.80
1-2	45.52	0.77
2-3	44.81	0.74
3-4	44.78	0.74
4-5	45.13	0.76
5-6	46.41	0.81
6-7	51.99	1.06
7-8	53.78	1.14
8-9	53.96	1.14
9-10	53.83	1.14
10-11	53.35	1.12
11-12	53.55	1.13
12-13	53.08	1.10
13-14	53.35	1.12
14-15	54.14	1.15
15-16	53.12	1.11
16-17	52.95	1.10
17-18	52.94	1.10
18-19	53.18	1.11
19-20	52.62	1.08
20-21	50.95	1.01
21-22	50.25	0.98
22-23	49.01	0.93
23-24	47.10	0.84
<b>Q media</b>	<b>50.66</b>	<b>1.00</b>

En la figura 46 se puede observar la curva de modulación del caudal inyectado, se puede apreciar que existe poca variabilidad del caudal durante todo el día, esto se debe a las excesivas fugas en el sistema.



**Figura 46.** Curva de evolución de la demanda en 24 horas.

### 3.1.7 AJUSTE Y CALIBRACIÓN.

“La calibración de modelos hidráulicos puede definirse como el proceso de ajuste de los parámetros que definen el comportamiento hidráulico del modelo, para reflejar con la mayor precisión posible el funcionamiento real de la red de distribución, tanto para el escenario estático como dinámico” (Martínez et al., 2015). Según Walski (1986) “se considera que un modelo está calibrado para un conjunto de condiciones de operación y usos del agua si puede predecir los caudales y presiones con un grado razonable de concordancia”.

El ajuste para la calibración involucra pequeñas modificaciones de los datos de entrada, tales como: pérdidas menores, rugosidades o asignación temporal y espacial de consumos (Iglesias Rey & Martínez Solano, 2012). Los datos de calibración se ingresan a Epanet mediante un archivo de calibración, este archivo es un archivo de texto ASCII y consta de tres datos: Etiqueta (ID), Tiempo (horas) y Valor (resultado de la medición). Epanet permite obtener gráficos e Informes de calibración.

En la figura 47 se muestra el flujograma descriptivo para el proceso de calibración de modelos hidráulicos, el cual consta de tres fases (Martínez et al., 2015).

- **Fase I.** Estimación de un valor del coeficiente global de los emisores para el ajuste del balance diario.
- **Fase II.** Determinación del patrón de variación temporal de la demanda para el ajuste del balance horario.
- **Fase III.** Calibración de las pérdidas de carga.

En este TFM se plantea la fase I y la fase II, la fase III no se abordará, ya que no se dispone de datos de presiones observadas (medidas).

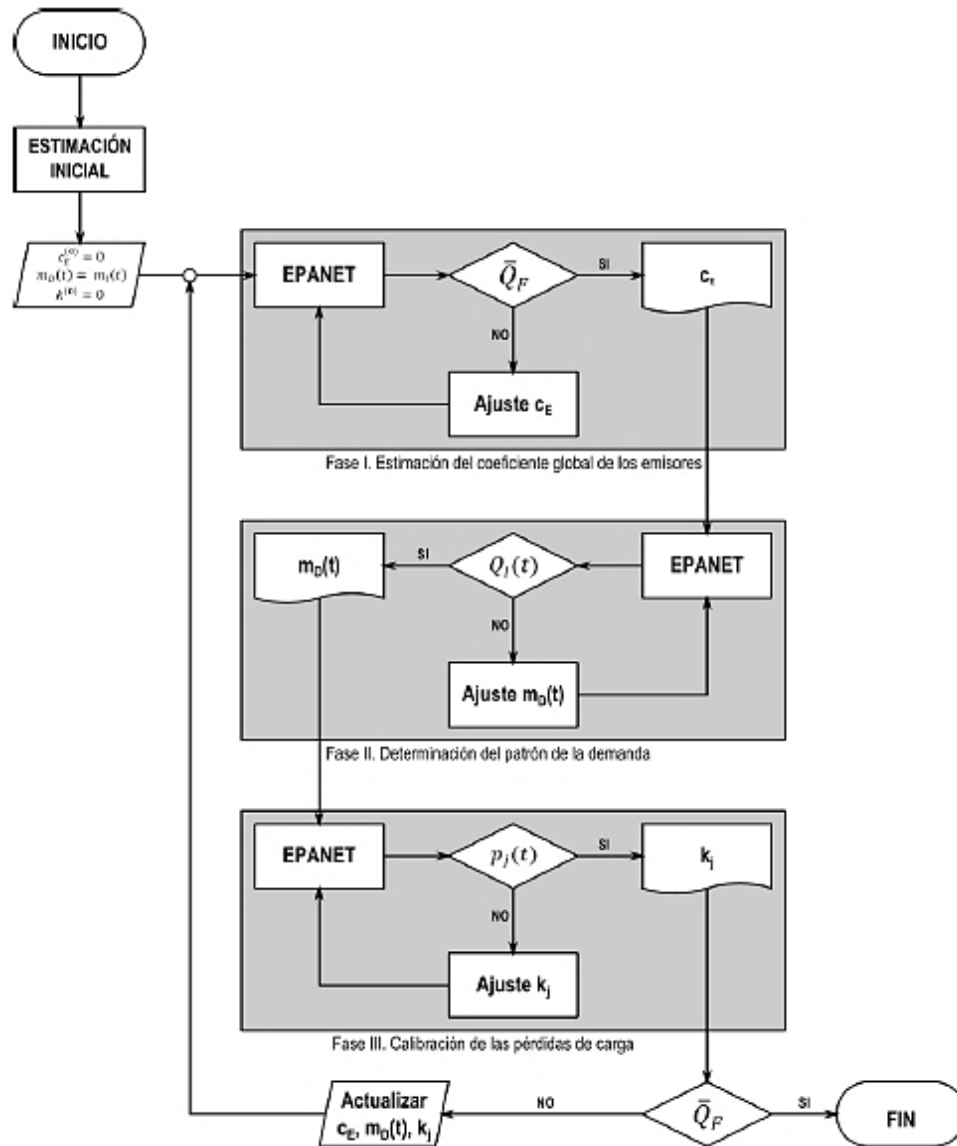


Figura 47. Flujograma descriptivo del proceso de calibración (Martínez et al., 2015).

### 3.1.7.1 FASE I: AJUSTE DE EMISORES.

El caudal de fugas para cada nodo del sistema se representa en Epanet mediante el coeficiente emisor ( $C_E$ ), de esta forma se logra generar un consumo dependiente de la presión.

Mediante la realización de simulaciones sucesivas en valores medios, se irán modificando los valores de los coeficientes emisores hasta que el valor del caudal medio en el punto de inyección coincida con el caudal medio inyectado antes calculado.

Las hipótesis de partida se describen a continuación:

- La demanda es independiente de la presión en la red.

- Se conoce el volumen de agua inyectado en la red, el volumen de agua demandada y por lo tanto el volumen de agua no registrada (agua fugada).
- Las fugas se consideran demandas dependientes de la presión de la red.
- La red tiene sectores con características homogéneas, ya sea en tuberías como en el patrón de consumo.

A continuación, se describe la ecuación para el cálculo del coeficiente emisor de las fugas.

$$V_{inyectado} = V_{demandado} + V_{fugado}$$

$$V_{fugado} = Q_F(t) = C_E \cdot \sum_{i=1}^{N_D} \sqrt{P_i(t)}$$

Donde:

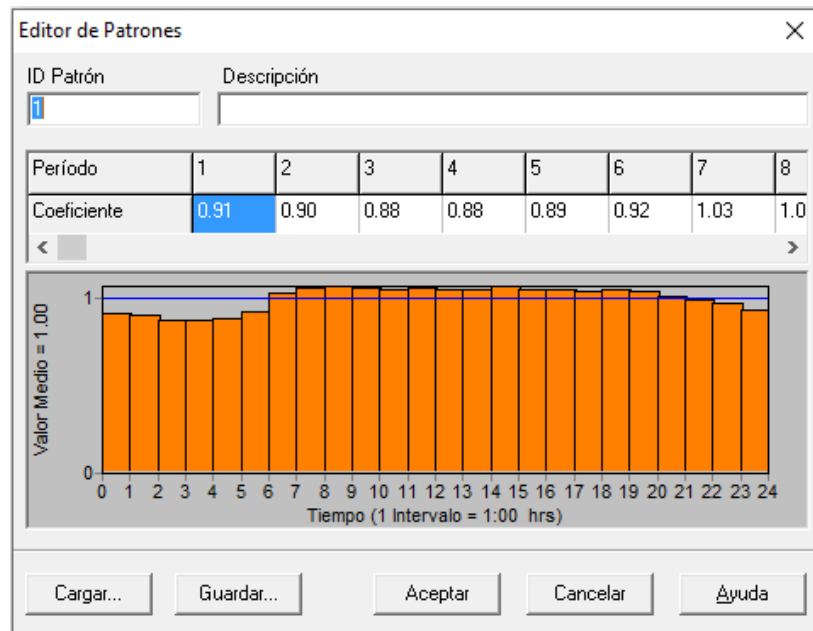
$Q_F(t)$  = Caudal de fugas en el instante  $t$ .

$C_E$  = Coeficiente emisor de fugas.

$P(t)$  = Presión en el nodo  $i$  en el instante  $t$ .

$N_D$  = Nodos de consumo.

Como paso previo al cálculo de la primera estimación del coeficiente emisor, se debe ingresar el patrón de consumo de la demanda, al no disponer de dicho patrón, se asumirá como hipótesis inicial que la demanda sigue el mismo patrón temporal que el caudal inyectado (ver figura 48).



**Figura 48.** Patrón temporal del caudal inyectado.

Como primera estimación del coeficiente se utilizará los valores medios del caudal y de la presión del sistema, estos valores son obtenidos de Epanet. En la tabla 27 se muestran los cálculos de la primera estimación del coeficiente.



**Tabla 27.** Cálculos de la primera estimación  $C_E$ .

<b>CÁLCULOS</b>			
<b>Dato</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>
$Q_{\text{medio iny}}$	50.66	l/s	Caudal medido
$Q_{\text{medio dem.}}$	73765.96	m <sup>3</sup> /mes	Caudal registrado + Caudal incontrolado consumido
	2379.55	m <sup>3</sup> /día	
	27.54	l/s	
$Q_F$	23.12	l/s	Caudal fugado
<b>N</b>	602	nodos	Dato Epanet
$P_{\text{media}}$	48.59	mca	Dato Epanet
$C_E$	0.00551	Coef. Emisor	Primera estimación

A partir de esta primera estimación, mediante la realización de simulaciones sucesivas utilizando la opción de valores medios (Incremento en Epanet), se irán modificando los valores de los coeficientes emisores hasta que el valor medio en el punto de inyección coincida con el caudal medio inyectado antes calculado, este proceso se realizará hasta que el error entre estos dos valores sea mínimo.

En la tabla 28 se muestra los valores de las iteraciones, obteniendo un valor del coeficiente emisor de  $C_E = 0.00587$  y un error de 0.0 %.

**Tabla 28.** Iteraciones para el ajuste del coeficiente emisor ( $C_E$ ).

<b>CALIBRACIÓN DIARIA</b>				
<b>Iteración</b>	<b><math>C_E</math></b>	<b>Q medio iny. (Caudalímetro) (l/s)</b>	<b>Q medio iny. (Modelo) (l/s)</b>	<b><math>\epsilon</math> relativo</b>
Sin fugas	0.00000	50.66	27.55	45.62%
1	0.00551	50.66	49.34	2.61%
2	0.00560	50.66	49.67	1.95%
3	0.00570	50.66	50.04	1.22%
4	0.00580	50.66	50.40	0.51%
5	0.00587	50.66	50.66	0.00%

### 3.1.7.2 FASE II: AJUSTE DE PATRÓN DE CONSUMO.

Una vez que se ha fijado el coeficiente global de los emisores, se procede a realizar el ajuste horario, para el cual se determina el valor del coeficiente de modulación de la demanda ( $m_D$ ) en cualquier instante a partir de la siguiente ecuación:

$$m_D(t) = \frac{Q_I(t) - C_E \cdot \sum_{i=1}^{N_D} \sqrt{P_i(t)}}{\sum_{i=1}^{N_D} Q_{DB,i}}$$

Donde:

$m_D(t)$  = Coeficiente de modulación de la demanda.

$Q_I(t)$  = Caudal instantáneo inyectado.

$C_E$  = Coeficiente global de los emisores.

$N_D$  = Número de nodos de consumo.

$P_i(t)$  = Presión en el nodo  $i$  en el instante  $t$ .

$Q_{DB,i}$  = Demanda base del nodo  $i$ .

A manera de primera aproximación y para mayor simplicidad, se puede remplazar el sumatorio de las raíces cuadradas de las presiones individuales de cada nudo por la presión promedio en cada instante o incluso seleccionar un nodo “representativo” del comportamiento de toda la red (Martínez Solano, 2019). Para este caso de estudio, se trabajó con un nodo representativo, este nodo fue seleccionado de tal manera que su presión este lo más cerca del valor de la presión media. De esta forma, la ecuación anterior quedaría:

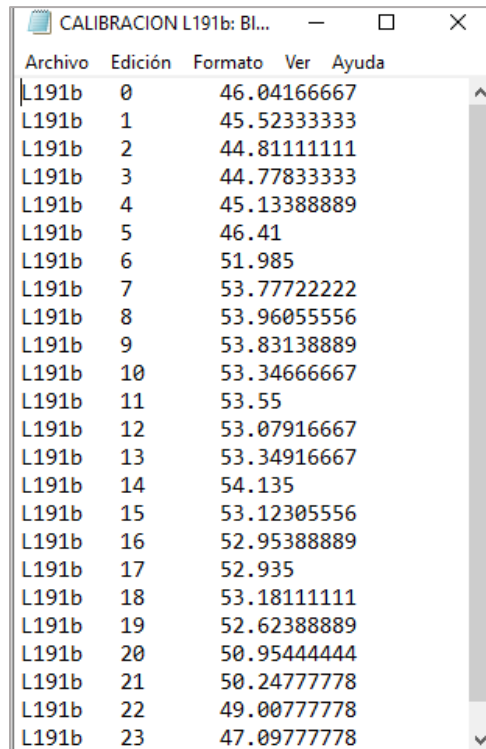
$$m_D(t) = \frac{Q_I(t) - C_E \cdot \sqrt{\bar{P}_i(t)}}{\sum_{i=1}^{N_D} Q_{DB,i}}$$

Para proceder a la calibración, se trabajó solo con la línea de salida de la planta nueva (L191b), la línea de la planta antigua fue cerrada (L201b). Luego de analizar los datos de caudales inyectados en las dos líneas (ver tabla 29), se evidencia que el caudal inyectado de la planta antigua solo representa el 6 % del total inyectado y que las dos líneas forman una red mallada a escasos metros de la salida de la planta, estas fueron las razones por la que se simplificó el modelo cerrando la línea antigua (L201b).

**Tabla 29.** Caudales inyectados por planta.

Estación	Q medio (l/s)	Porcentaje
Salida Planta Nueva	47.8	94%
Salida Planta Antigua	2.9	6%
<b>Total P. Antigua + P. Nueva</b>	<b>50.66</b>	<b>100%</b>

El archivo de calibración ingresado en Epanet, es un archivo de texto ASCII que consta de tres columnas de datos (ver figura 49), este archivo permitirá obtener de Epanet gráficos donde se superponen valores simulados y medidos, además, informes estadísticos de calibración.



Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
L191b	0	46.04166667		
L191b	1	45.52333333		
L191b	2	44.81111111		
L191b	3	44.77833333		
L191b	4	45.13388889		
L191b	5	46.41		
L191b	6	51.985		
L191b	7	53.77722222		
L191b	8	53.96055556		
L191b	9	53.83138889		
L191b	10	53.34666667		
L191b	11	53.55		
L191b	12	53.07916667		
L191b	13	53.34916667		
L191b	14	54.135		
L191b	15	53.12305556		
L191b	16	52.95388889		
L191b	17	52.935		
L191b	18	53.18111111		
L191b	19	52.62388889		
L191b	20	50.95444444		
L191b	21	50.24777778		
L191b	22	49.00777778		
L191b	23	47.09777778		

**Figura 49.** Archivo de calibración de caudal de la línea L191b.

En la tabla 30 se muestran los cálculos e iteraciones realizadas para la calibración de los coeficientes de modulación de la demanda.

**Tabla 30.** Calibración del coeficiente de modulación de la demanda.

LINEA	t (h)	Q <sub>iny</sub> (l/s)	INICIAL			ITERACIÓN 1			ITERACIÓN 2		
			Q <sub>iny</sub> MODELO (l/s)	m <sub>D</sub> (t) Inicial	ε <sub>relativo</sub>	Q <sub>iny</sub> MODELO (l/s)	m <sub>D</sub> (t)	ε <sub>relativo</sub>	Q <sub>iny</sub> MODELO (l/s)	m <sub>D</sub> (t)	ε <sub>relativo</sub>
L191b	0	46.04	48.33	0.91	-4.97%	46.00	0.82	0.09%	46.00	0.82	0.09%
L191b	1	45.52	48.07	0.90	-5.59%	45.48	0.80	0.10%	45.48	0.80	0.10%
L191b	2	44.81	47.55	0.88	-6.11%	44.96	0.78	-0.33%	44.70	0.77	0.25%
L191b	3	44.78	47.55	0.88	-6.19%	44.70	0.77	0.17%	44.70	0.77	0.17%
L191b	4	45.13	47.81	0.89	-5.93%	45.22	0.79	-0.19%	44.96	0.78	0.39%
L191b	5	46.41	48.59	0.92	-4.70%	46.52	0.84	-0.24%	46.26	0.83	0.32%
L191b	6	51.99	51.42	1.03	1.09%	51.68	1.04	0.59%	51.94	1.05	0.09%
L191b	7	53.78	52.2	1.06	2.93%	53.48	1.11	0.55%	53.74	1.12	0.07%
L191b	8	53.96	52.45	1.07	2.80%	53.74	1.12	0.41%	53.74	1.12	0.41%
L191b	9	53.83	52.2	1.06	3.03%	53.48	1.11	0.65%	53.74	1.12	0.17%
L191b	10	53.35	51.94	1.05	2.64%	52.97	1.09	0.71%	53.23	1.10	0.22%
L191b	11	53.55	52.2	1.06	2.52%	53.22	1.10	0.62%	53.48	1.11	0.13%
L191b	12	53.08	51.94	1.05	2.15%	52.71	1.08	0.70%	52.97	1.09	0.21%
L191b	13	53.35	51.94	1.05	2.64%	52.97	1.09	0.71%	53.22	1.10	0.24%
L191b	14	54.14	52.45	1.07	3.11%	53.74	1.12	0.73%	54.00	1.13	0.25%
L191b	15	53.12	51.94	1.05	2.23%	52.97	1.09	0.29%	52.97	1.09	0.29%
L191b	16	52.95	51.94	1.05	1.91%	52.71	1.08	0.46%	52.71	1.08	0.46%
L191b	17	52.94	51.68	1.04	2.37%	52.71	1.08	0.43%	52.71	1.08	0.43%
L191b	18	53.18	51.94	1.05	2.33%	52.97	1.09	0.40%	52.97	1.09	0.40%
L191b	19	52.62	51.68	1.04	1.79%	52.45	1.07	0.33%	52.45	1.07	0.33%
L191b	20	50.95	50.91	1.01	0.09%	50.65	1.00	0.60%	50.91	1.01	0.09%
L191b	21	50.25	50.39	0.99	-0.28%	50.14	0.98	0.21%	50.14	0.98	0.21%
L191b	22	49.01	48.85	0.93	0.32%	48.85	0.93	0.32%	48.85	0.93	0.32%
L191b	23	47.10	49.88	0.97	-5.91%	47.03	0.86	0.14%	47.03	0.86	0.14%

En la figura 50 se puede ver la evolución del patrón de consumo con cada iteración, en las horas valles se observa un claro descenso del patrón, mientras que en las horas punta tiene un ligero aumento, todo esto en comparación con el patrón de consumo inicial asumido.

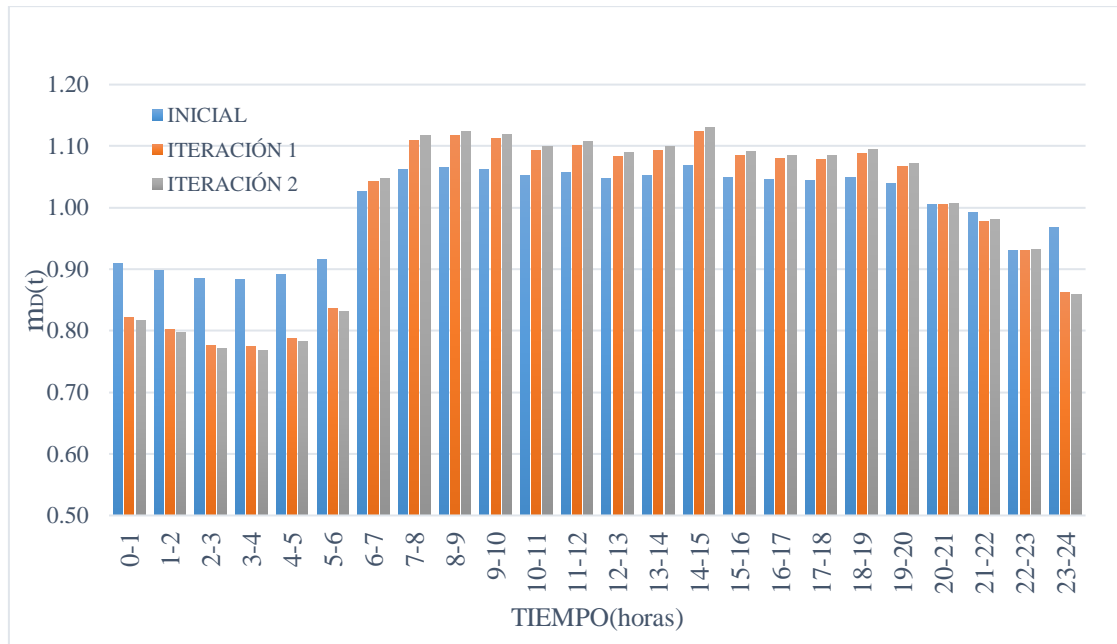


Figura 50. Evolución del patrón de consumo.

En la figura 51 se puede apreciar la evolución de la curva de modulación durante 24 horas. Se observa que la curva de la iteración 2 tiende a superponerse con la curva del caudal inyectado, lo cual significa que tiene un buen ajuste.

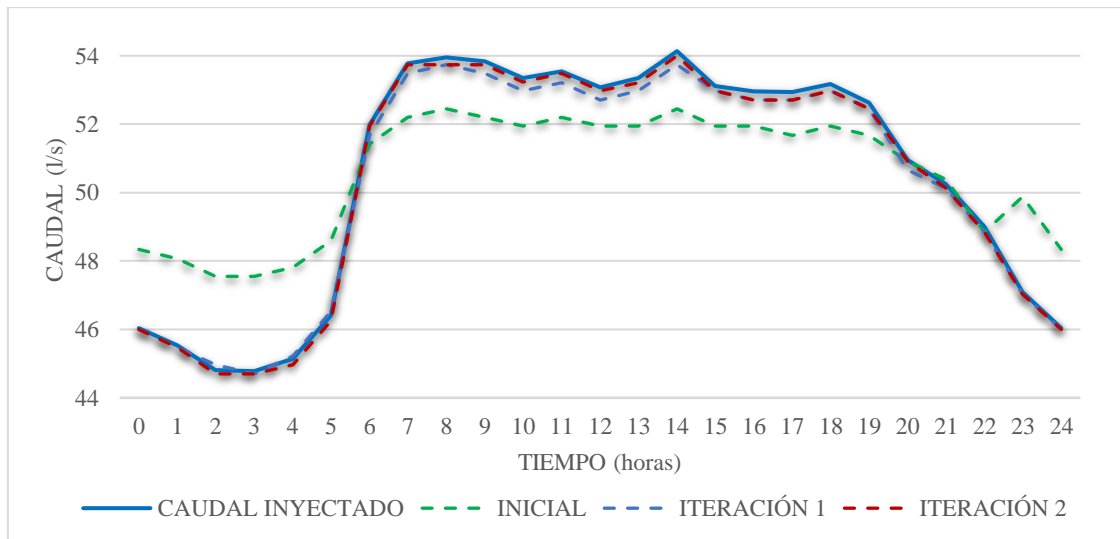


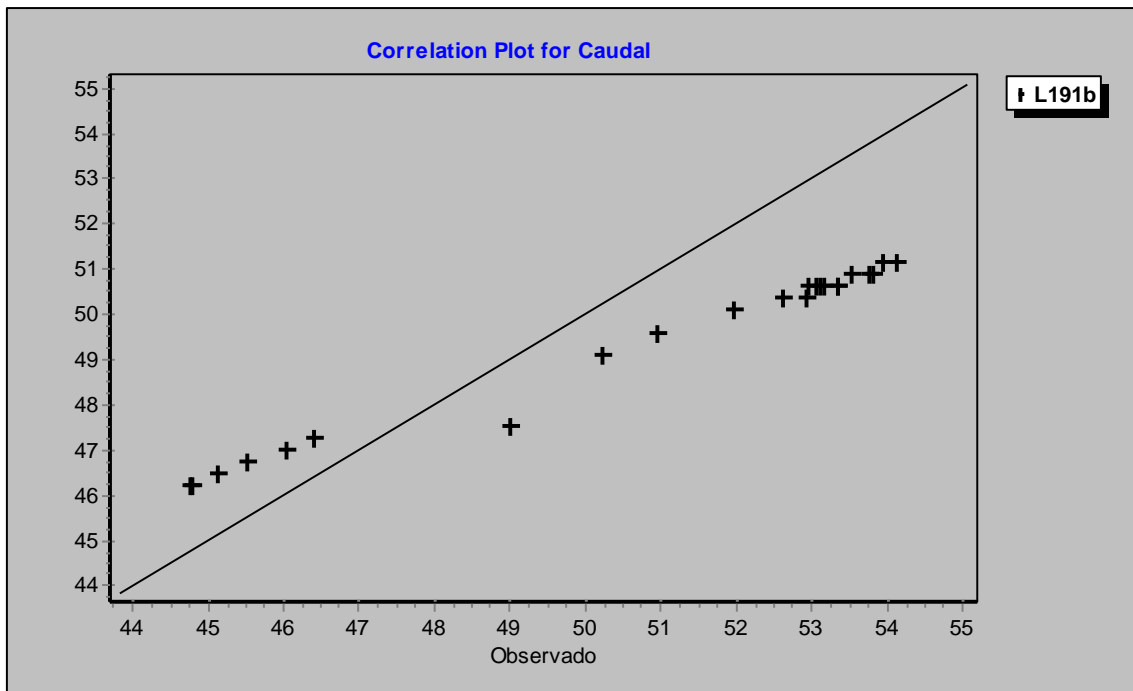
Figura 51. Evolución de la curva de modulación.

### 3.1.8 MODELO FINAL CALIBRADO.

Para la calibración de la red fueron necesarias siete iteraciones, de ellas, cinco correspondieron al ajuste del coeficiente global del emisor y dos iteraciones para la calibración del coeficiente de modulación de la demanda.

La simulación 0 corresponde a la simulación en la cual no se incluye emisores de fugas, y es utilizada para obtener el valor de la presión media del sistema. La simulación 1 se realiza con la primera aproximación del coeficiente global del emisor de fugas, que fue de  $0.00551 \text{ l/s(mca)}^{0.5}$  en cada nodo. Desde la simulación 6 se define la curva de modulación de la demanda, finalmente, la simulación 7 corresponde al ajuste definitivo del sistema.

En la figura 52 se observa la correlación entre el caudal simulado y observado para la simulación 1 y en la figura 53 se muestra la correlación para el modelo hidráulico calibrado (simulación 7).



**Figura 52.** Correlación entre los valores de caudal observados y simulados (simulación 1).

En la figura 54 se observa la curva de evolución temporal del caudal de la línea de salida (L191b). La curva de evolución tiene un ajuste perfecto a los puntos de calibración del caudal medido, esta gráfica fue obtenida de Epanet.

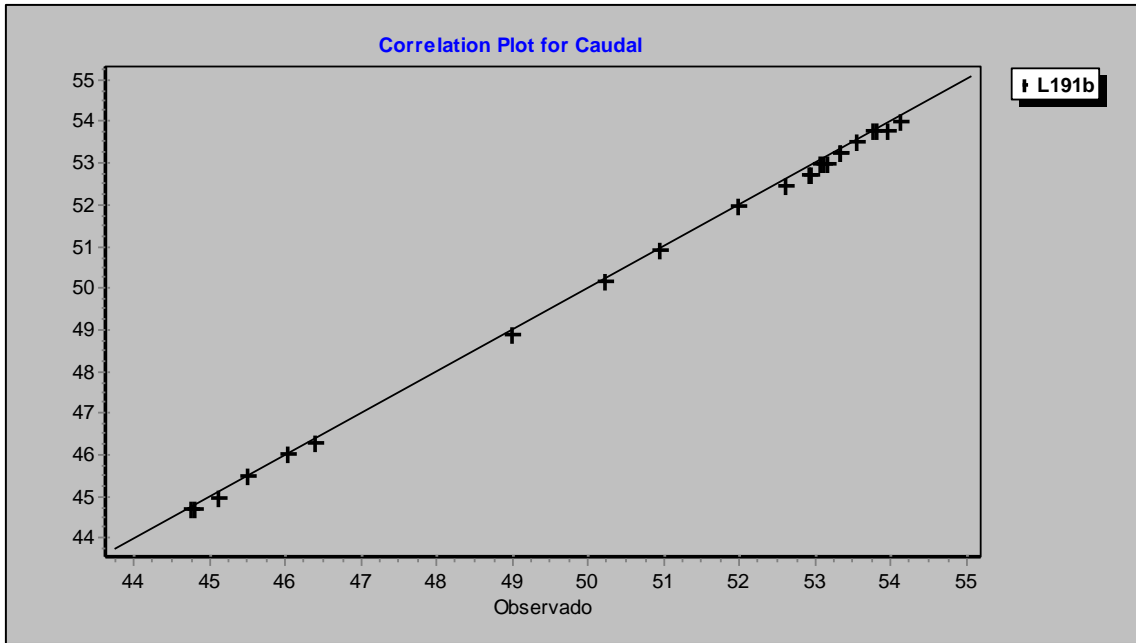


Figura 53. Correlación del modelo hidráulico calibrando (simulación 7).

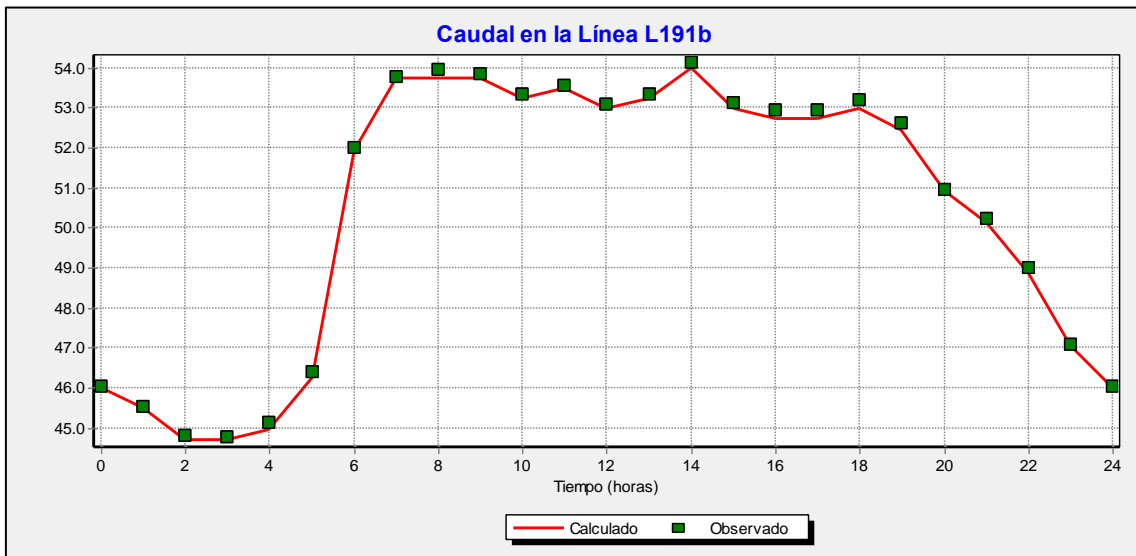


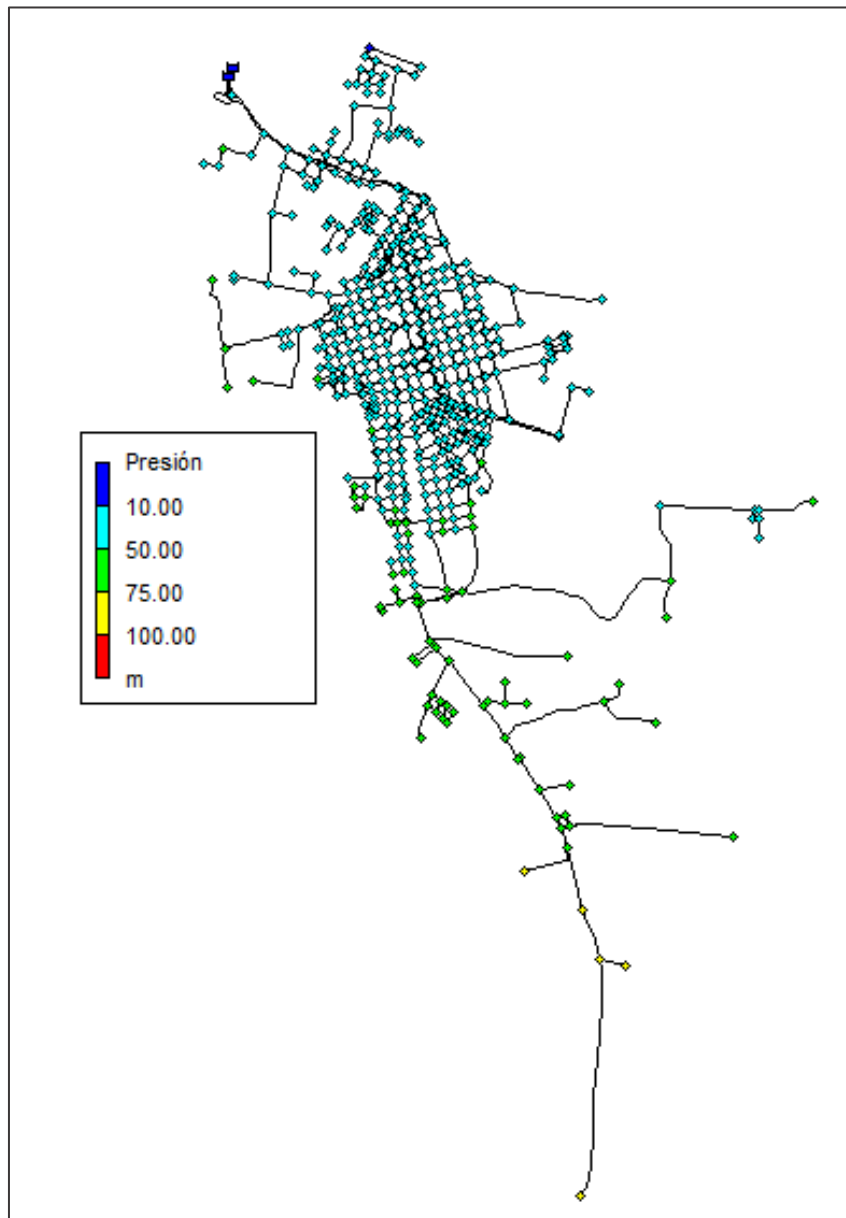
Figura 54. Curva de evolución temporal del caudal de salida de la línea L191b.

De acuerdo con el informe de calibración de Epanet, la raíz del error cuadrático medio (RMS) tiene un valor de 0.138, en general, mientras este valor se encuentre más cercano a cero indica que mejor es el ajuste de los datos (ver tabla 31). El sistema completo se muestra en la figura 55.

**Tabla 31.** Informe estadístico de calibración para Caudal.

Localización	N.º Observado	Observación Media	Cálculo Media	Media Error	RMS Error
L191b	24	50.66	50.54	0.123	0.138
Sistema de Red	24	50.66	50.54	0.123	0.138

Correlación entre los Términos: 0.000



**Figura 55.** Sistema final calibrado.



### 3.2 MODELO MATEMÁTICO SISTEMA SANTA MARIANITA DE JESÚS.

#### 3.2.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.

La información para la creación del modelo matemático fue entregada en conjunto con los archivos que contenían la información del modelo matemático de la red de Sucúa.

Cabe indicar que el sistema tiene pocos años en funcionamiento, por lo que sus redes se encuentran todavía en constantes ampliaciones. El modelo será creado basándose en los datos de julio 2019, que son los datos más recientes proporcionado para este TFM.

#### 3.2.2 ESQUELETIZACIÓN.

Para realizar la esqueletización de la red, se contó con el plano base de redes del cantón Sucúa 2019, en formato DWG. El plano está conformado por todas las tuberías instaladas en el sistema, con su respectiva longitud, material y diámetro (ver figura 56).

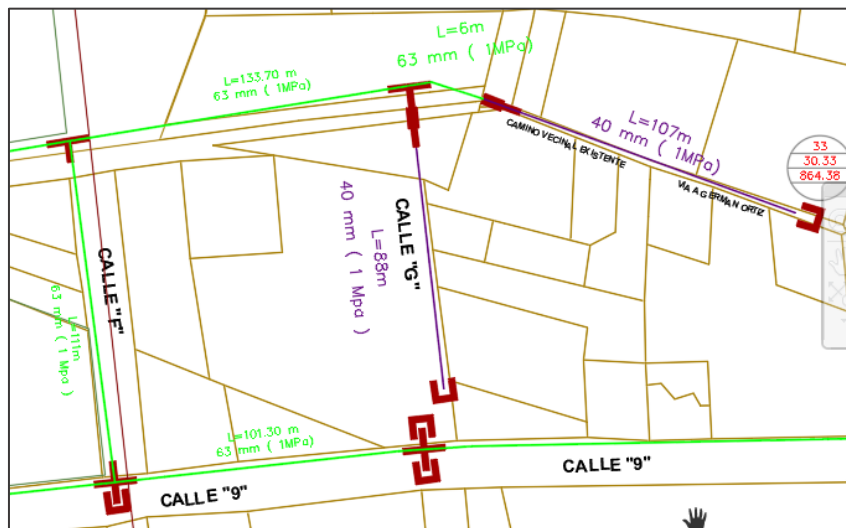


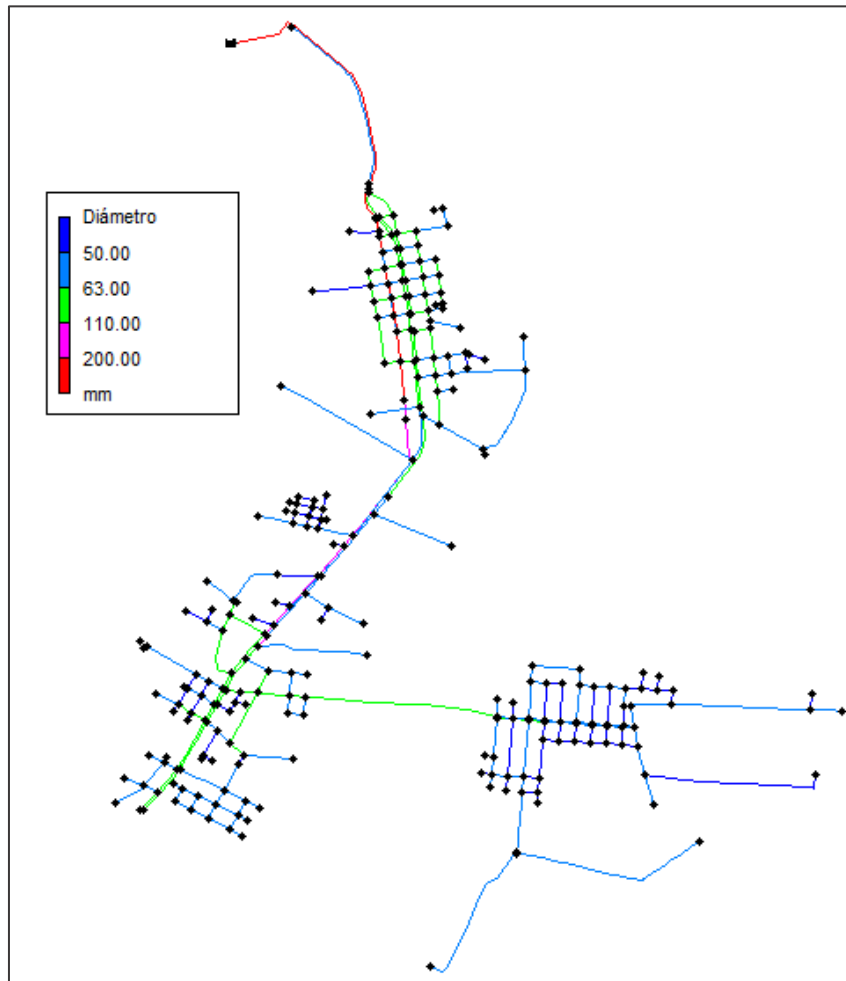
Figura 56. Plano base de redes de Santa Marianita 2019.

Una vez realizado la inspección del plano, se evidenció que existen ciertos errores en las uniones de las tuberías, algunas tuberías se hallan traslapadas, otras sin empalmar y/o sobrepuestas, demás, existen accesorios dibujados en las uniones de las tuberías como: codos, “Tes”, tapones, etc, que ayudan a visualizar de mejor manera la red, pero no son necesarias al momento de exportar a Epanet.

Para dar solución a todos estos inconvenientes, se creó un nuevo archivo DWG y se realizó la corrección de todos estos errores, además, en este nuevo trazado se trabajó todas las tuberías con “*polilíneas*” y se agrupó cada diámetro en una respectiva capa.

Las simplificaciones a la red fueron mínimas, ya que al ser un sistema pequeño y poco consolidado se optó por representar la red completa. Al igual que el sistema de Sucúa el reservorio fue sustituido por un embalse, ya que no se dispone de datos de caudales de ingreso ni de salida.

Para la importación de la red a Epanet se utilizó la extensión *CADaRED* y se siguió la misma metodología descrita en la red de Sucúa. La red completa en Epanet se muestra en la figura 57.

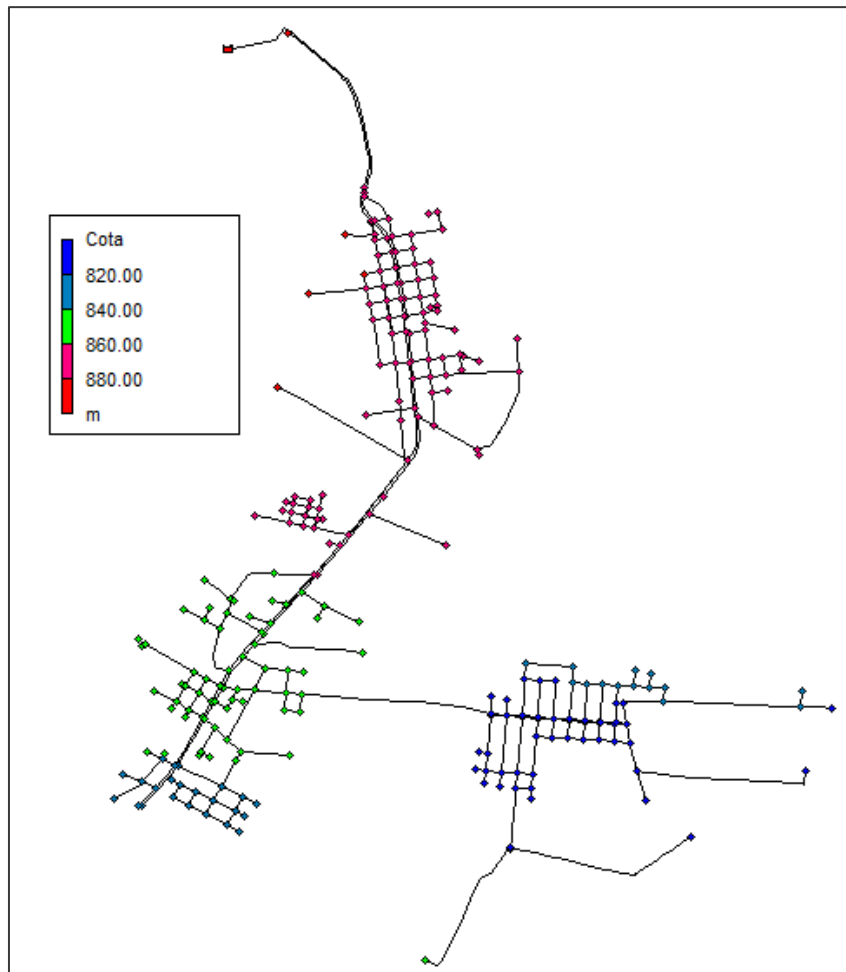


**Figura 57.** Red Santa Marianita de Jesús.

### 3.2.3 ASIGNACIÓN DE COTAS EN LOS NODOS.

Para la asignación de cotas se dispone de la topografía del cantón Sucúa (ver figura 39) mediante curvas de nivel en formato DWG. La herramienta utilizada para la asignación de cotas a los nodos es *TRex*, la cual es una herramienta complementaria del software WaterCAD.

El proceso descrito para el sistema de Sucúa es el mismo que se utilizó para la red de Santa Marianita. La red completa en Epanet con cotas asignadas se muestra en la figura 58.



**Figura 58.** Red completa de Santa Marianita en Epanet con cotas asignadas.

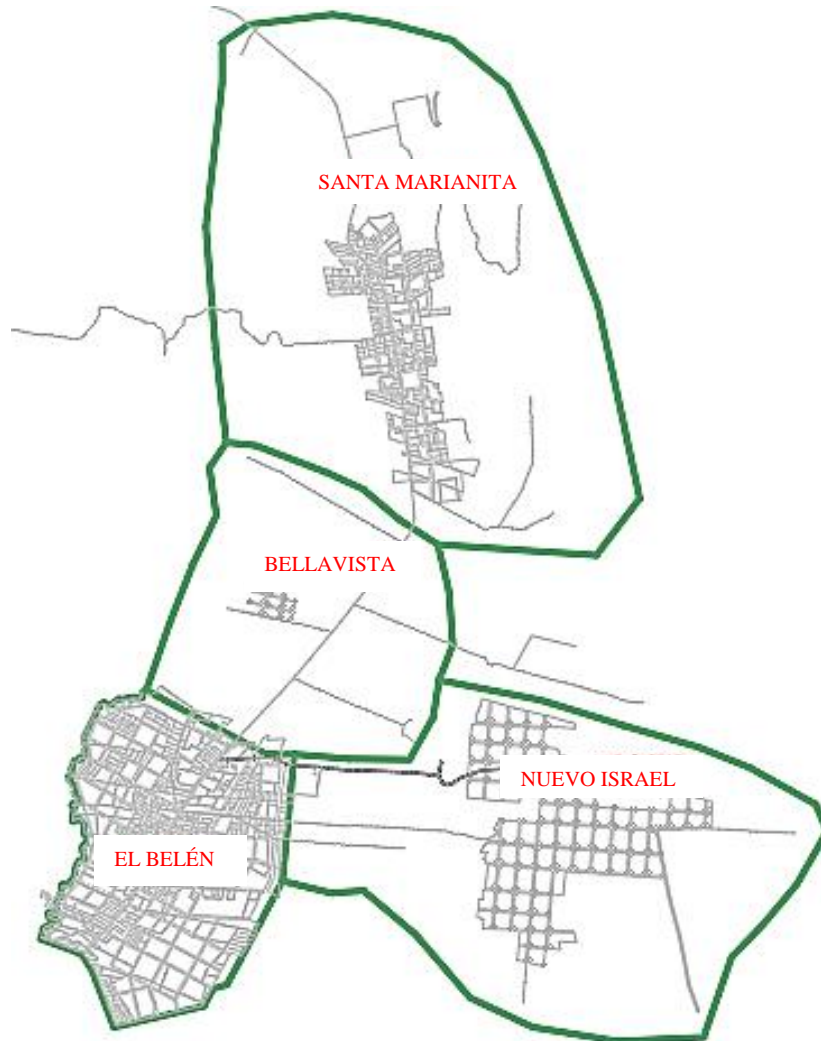
### 3.2.4 ANÁLISIS Y ASIGNACIÓN DE DEMANDAS.

Para la asignación de demandas se utilizarán los registros de planillaje de julio del 2019, se seguirá el mismo esquema utilizado para la red de Sucúa (ver figura 43).

- **Abonados importantes.**

El sistema de agua de Santa Marianita de Jesús fue diseñado para brindar una cobertura a 4 zonas (ver figura 59). Se sigue el mismo criterio utilizado en la zona de Sucúa para la selección de los abonados importantes.

En la tabla 32 se muestran los consumos de los abonados importantes. Existen 7 abonados importantes, los cuales suman un consumo total de 645 m<sup>3</sup>/mes. Los consumos serán asignados directamente a los nodos correspondientes, acorde a la ubicación del usuario. En la columna cinco de la tabla 32 se muestra el nodo que le corresponde en Epanet.



**Figura 59.** Sectores del sistema de Santa Marianita.

**Tabla 32.** Consumos importantes por sectores.

<b>Abonados Importantes</b>		<b>Q (m3/mes)</b>	<b>Q (l/s)</b>	<b>Nodo Epanet</b>
<b>B. Belén</b>	Escuela Ciudad de Quito	63.00	0.0235	N607
	Gasolinera Estasol	57.00	0.0213	N778
	Monasterio	83.00	0.0310	N609
	Hostería Arutan	245.00	0.0915	N804
	<b>Subtotal</b>	<b>448.00</b>	<b>0.167</b>	
<b>Bellavista</b>	Gasolinera Sindicato De Choferes	83.00	0.0310	N629
	<b>Subtotal</b>	<b>83.00</b>	<b>0.031</b>	
<b>Santa Marianita</b>	Escuela Manuela Cañizares	80.00	0.0299	N680
	Piscinas Aventura Amazónica	34.00	0.0127	N669
	<b>Subtotal</b>	<b>114.00</b>	<b>0.043</b>	
<b>Total</b>		<b>645.00</b>	<b>0.24</b>	

- **Abonados domésticos.**

La asignación del consumo a los abonados domésticos se ha realizado por zonas, se sigue la misma metodología aplicado al sistema de Sucúa. Existe solo una diferencia en la metodología, ya no fue necesario el conteo de casas para determinar la dotación por

usuario, porque la dotación total por zona se pudo extraer directamente del archivo de planillaje (ver tabla 33).

**Tabla 33.** Consumos por zonas julio del 2019.

Zona	Consumo Total (m <sup>3</sup> /mes)
Belén	4,539
Bellavista	1,967
Santa Marianita	3,104
Nuevo Israel	1,206
<b>Total</b>	<b>10,816</b>

En la tabla 34 se muestra un resumen de las principales características del sistema de Santa Marianita. La dotación media por usuario es de 22.86 m<sup>3</sup>/mes, este valor es similar al calculado para la ciudad de Sucúa. Existe un alto número de usuarios inactivos (sin consumo), esto se debe a que existen contadores instalados en lotes que aún no cuenta con vivienda.

**Tabla 34.** Análisis de consumos de Santa Marianita.

Consumos	Id	Valor	Unidad
Total Registrado	a	10,816.00	m <sup>3</sup> /mes
Total Consumos Importantes	b	645.00	m <sup>3</sup> /mes
Total Consumo Doméstico	c = a-b	10,171.00	m <sup>3</sup> /mes
Total Usuarios	d	1,331	usuarios
Total Usuarios Importantes	e	7	usuarios
Total Usuarios Inactivos (Sin Consumo)	f	445	usuarios
Total Usuarios Activos	g = d-f	886	usuarios
<b>Dotación media por usuario</b>	<b>d=c/f</b>	<b>22.86</b>	<b>m<sup>3</sup>/mes</b>

Los cálculos realizados para llegar a la obtención de la demanda de cada nodo del sistema se muestran en la tabla 35. Existe un total de 265 nodos de consumo.

**Tabla 35.** Cálculo de los consumos por nodo.

Barrio	# Usuarios Domésticos	Consumos Importantes (m <sup>3</sup> /mes)	Consumos Doméstico (m <sup>3</sup> /mes)	Consumo Total (m <sup>3</sup> /mes)	# Total Nodos por Barrio	# Abonados Importantes	Consumo por Nodo (m <sup>3</sup> /mes)	Consumo por Nodo (l/s)
Belén	351	448.00	4,091.00	4,539.00	76	4	53.83	0.020
Bellavista	140	83.00	1,884.00	1,967.00	39	1	48.31	0.018
Marianita	354	114.00	2,990.00	3,104.00	82	2	36.46	0.014
Nuevo Israel	197	0.00	1,206.00	1,206.00	68	0	17.74	0.007
<b>Total</b>	<b>1,042</b>	<b>645</b>	<b>10,171</b>	<b>10,816</b>	<b>265</b>	<b>7</b>		

Al ser un sistema nuevo, la demanda en los primeros años de servicio va a ser bajo, el proyecto está contemplado para una vida útil de 20 años. En la figura 60 se observa el sistema completo de la red en Epanet, con sus respectivas demandas asignadas.

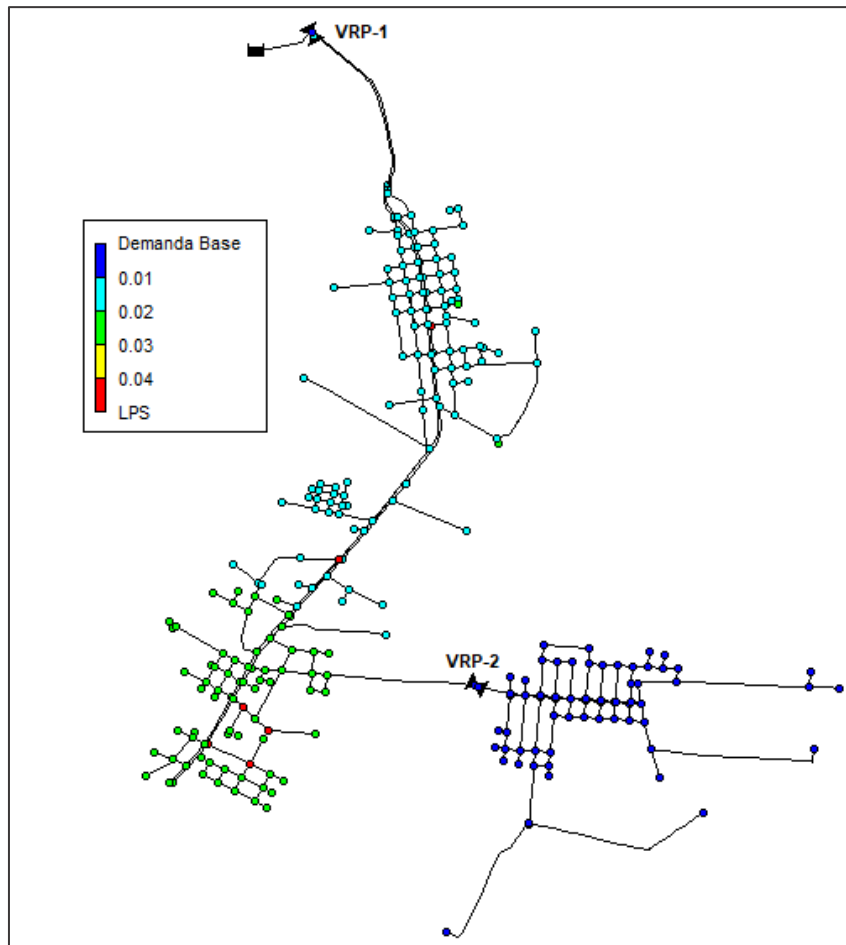


Figura 60. Red completa con demandas asignadas.

El sistema cuenta con dos válvulas reductoras de presión, las mismas han sido consideradas en el modelo. La primera válvula se encuentra instalada al ingreso de la parroquia Santa Marianita y la segunda al ingreso del barrio Nuevo Israel, ambas cuentan con datos de consignas (ver tabla 36).

Tabla 36. Válvulas reductoras de presión del sistema Santa Marianita.

Ubicación	Diámetro (mm)	Cota (msnm)	Consigna (mca)
Ingreso Santa Marianita	250	893.4	13
Ingreso Nuevo Israel	90	837.0	23

### 3.2.5 MODELO SIN CALIBRAR.

El modelo se encuentra completo una vez ingresado las cotas, demandas y válvulas VRP. Se realizan las primeras simulaciones en régimen permanente para comprobar que los datos estén ingresados correctamente.

El caudal inyectado a la red desde el embalse es de **4.04 l/s**, este valor concuerda con el consumo total de la población de 10,816.00 m<sup>3</sup>/mes (ver tabla 34). Una vez verificado los caudales inyectados, las cotas y diámetros de las tuberías, se puede decir que el modelo se encuentra concluido, pero no calibrado.

### 3.2.6 MEDICIONES.

No se dispone de datos de macromedición a la salida de la planta, por tal motivo se asumirá el patrón de consumo calibrado del sistema de Sucúa (ver figura 61). Al ser dos sistemas similares y al encontrarse dentro de la misma zona de estudio, el comportamiento de los consumos va a ser muy semejantes.

- **Patrón de Consumos (Curva de Modulación).**

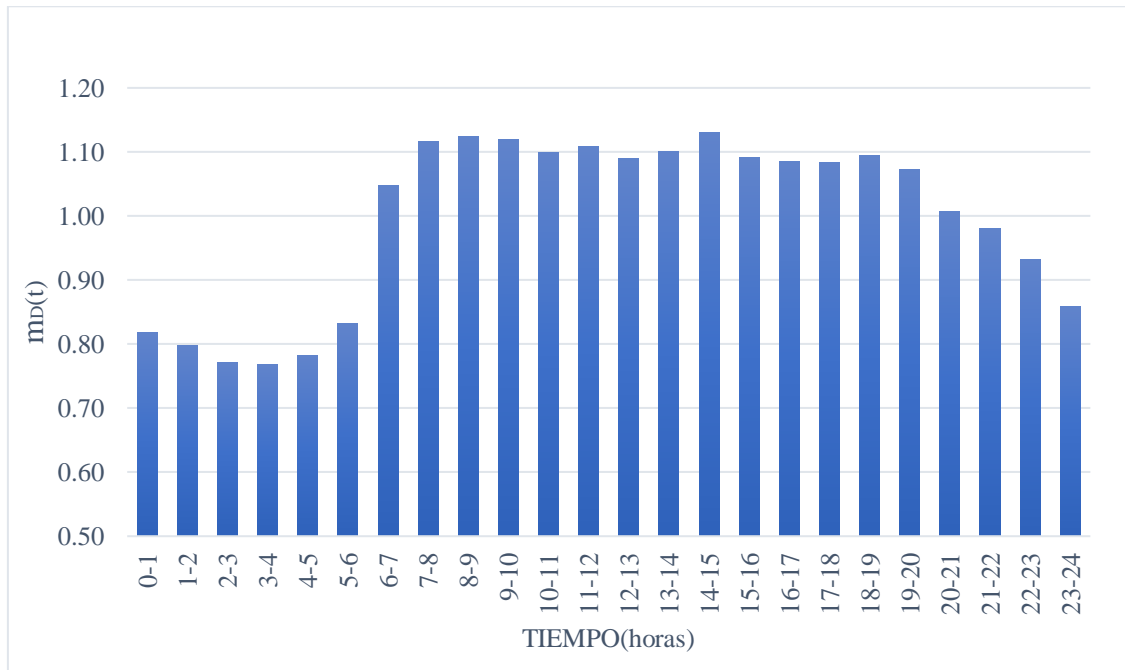


Figura 61. Patrón de consumo asumido (sistema de Sucúa).

### 3.2.7 AJUSTE Y CALIBRACIÓN.

Para llevar a cabo el proceso de calibración se seguirá el mismo flujograma descriptivo que se utilizó en la red de Sucúa (ver figura 47).

A falta de datos para realizar una buena calibración, se asumirá un porcentaje de pérdidas de agua del 20 % del caudal medio demandado, este dato permitirá realizar la calibración del coeficiente emisor (Fase I). Este porcentaje de fugas fue tomado del “*Estudio del sistema de agua potable de la parroquia Santa Marianita de Jesús (2010)*”.

#### 3.2.7.1 FASE I: AJUSTE DE EMISORES.

Siguiendo el mismo proceso utilizado en el ajuste de emisores de la red de Sucúa, en la tabla 37 se muestra los cálculos de la primera estimación del coeficiente.

**Tabla 37.** Cálculos de la primera estimación CE.

<b>CÁLCULOS</b>			
<b>Dato</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>
Q <sub>medio dem.</sub>	10,816.00	m <sup>3</sup> /mes	Caudal registrado Julio-2019
	348.90	m <sup>3</sup> /día	
	4.04	l/s	
Q <sub>F</sub>	0.81	l/s	20 % Q <sub>medio dem</sub>
Q <sub>medio iny</sub>	4.85	l/s	Q <sub>med dem</sub> +Q <sub>F</sub>
N	264	nodos	Dato Epanet
P <sub>media</sub>	44.04	mca	Dato Epanet
CE	0.00046	Coef. Emisor	Primera estimación

A partir de esta primera estimación, mediante la realización de simulaciones sucesivas utilizando la opción de valores medios (Incremento en Epanet), se irán modificando los valores de los coeficientes emisores hasta que el valor medio en el punto de inyección coincida con el caudal medio inyectado antes calculado, este proceso se realizará hasta que el error entre estos dos valores sea mínimo.

En la tabla 38 se muestra los valores de las iteraciones, obteniendo un valor del coeficiente emisor de  $C_E = 0.00047$  y un error relativo de -0.09 %.

**Tabla 38.** Iteraciones para el ajuste del coeficiente emisor (CE).

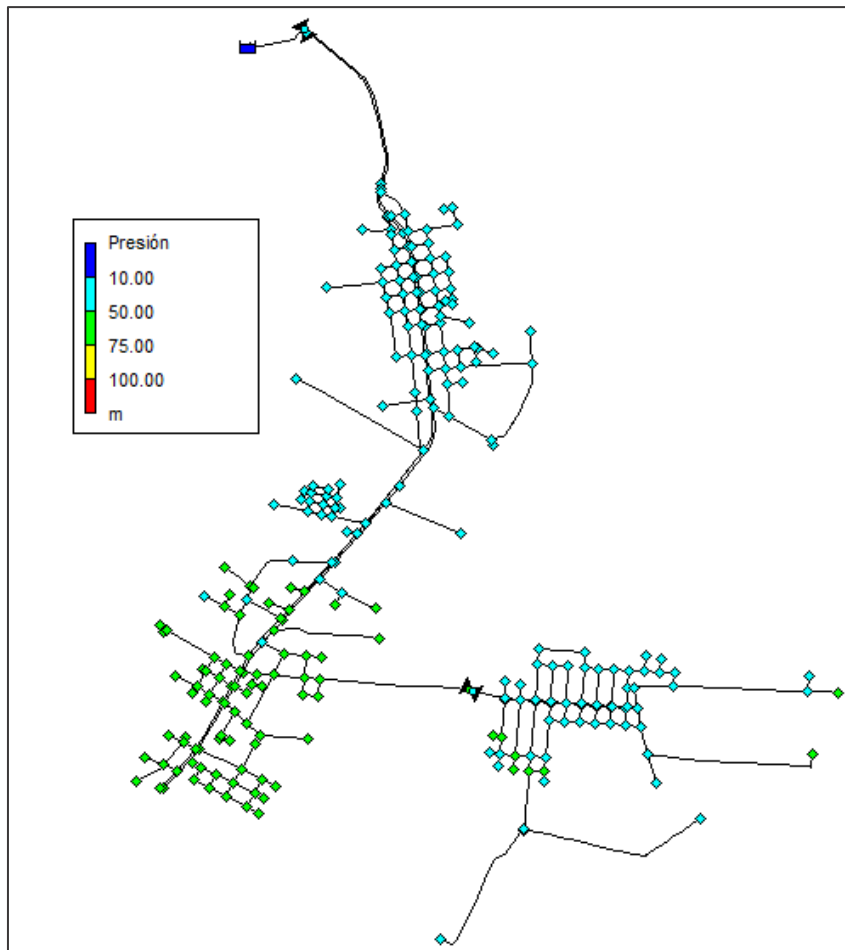
<b>CALIBRACIÓN DIARIA</b>				
<b>Iteración</b>	<b>CE</b>	<b>Q<sub>medio iny.</sub> (Caudalímetro) (l/s)</b>	<b>Q<sub>medio iny.</sub> (Modelo) (l/s)</b>	<b>ε relativo</b>
Sin fugas	0.000000	4.846	4.040	16.63%
1	0.000459	4.846	4.830	0.33%
2	0.000465	4.846	4.840	0.12%
3	0.000470	4.846	4.850	-0.09%

### 3.2.8 MODELO FINAL CALIBRADO.

Para la calibración de la red fueron necesarias tres iteraciones del coeficiente global del emisor. El sistema completo se muestra en la figura 62.

La simulación 0 corresponde a la simulación en la cual no se incluye emisores de fugas, y es utilizada para obtener el valor de la presión media del sistema. La simulación 1 se realiza con la primera aproximación del coeficiente global del emisor de fugas, que fue de  $0.000459 \text{ l/s(mca)}^{0.5}$  para cada nodo, finalmente, la simulación 3 corresponde al ajuste definitivo del sistema.





**Figura 62.** Sistema final calibrado Santa Marianita de Jesús.

# **CAPÍTULO 4**

## **ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO**

## 4 ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO.

La línea base de todo sistema de agua potable es conocer su estado actual, el diagnóstico del sistema permite identificar puntos conflictivos, zonas críticas de la red y de esta manera se pueden dar soluciones para mejorar la gestión del suministro.

Una vez verificado y calibrado el modelo matemático, se procederá a realizar el diagnóstico del sistema de agua potable del cantón Sucúa, el análisis comprenderá los siguientes temas: el estudio de presiones, velocidades, caudales y pérdidas unitarias en el sistema; Además, se analizará el rendimiento volumétrico de la red, la sectorización actual, la tarifación y la unificación de las dos redes.

### 4.1 ANÁLISIS RED DE SUCÚA.

#### 4.1.1 PRESIONES DEL SISTEMA.

Uno de los parámetros hidráulicos más importantes en un sistema de agua potable es la presión. Para garantizar un servicio óptimo a los usuarios, los valores de la presión deben de encontrarse dentro de los rangos permisibles.

Las presiones bajas en un sistema provocan un mal funcionamiento de ciertos aparatos sanitarios (duchas, inodoros, etc), mientras que las presiones altas pueden provocar daños en las tuberías (fisuras, roturas), aumentando las pérdidas por fugas en la red. Las presiones altas dentro de las viviendas pueden ocasionar daños en los aparatos hidrosanitarios.

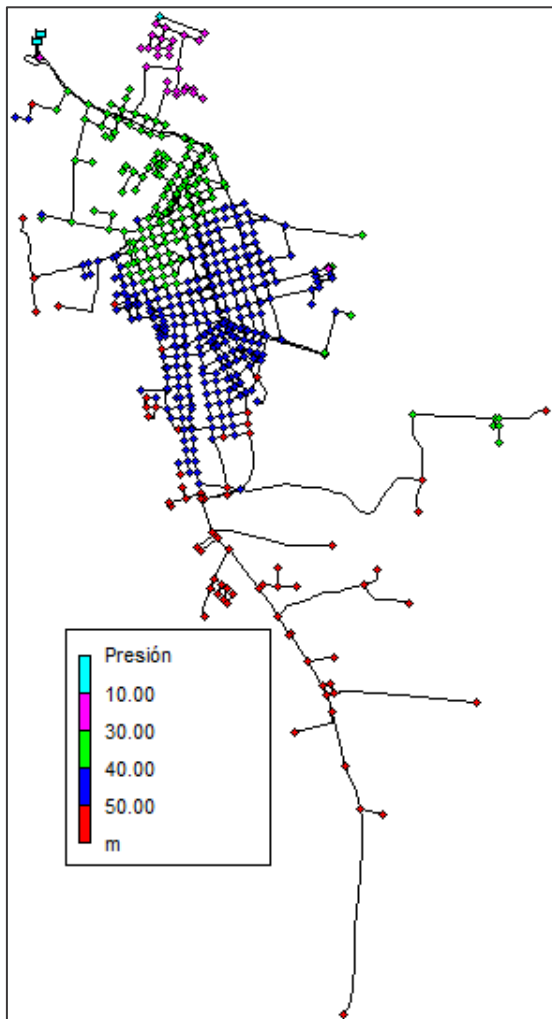
De acuerdo con la normativa ecuatoriana CO 10.07-601 para “*Abastecimiento de agua potable y eliminación de aguas residuales en el área Urbana*” establece una presión mínima de **10 mca** en los puntos y condiciones más desfavorables de la red y una presión máxima dinámica de **50 mca** (SENAGUA, 2015). Estos rangos se tomarán como base para el análisis de las presiones. Cabe recalcar que el tipo de vivienda predominante en el cantón son las viviendas de 1 planta y de 2 plantas, por lo que garantizar una presión mínima de 10 mca, en los puntos más desfavorables no repercutirá para garantizar un servicio óptimo.

Se evaluarán las fluctuaciones de presiones en los dos escenarios más desfavorables del sistema, correspondientes a hora valle (2:00) y hora punta (14:00). En la tabla 39 se muestra el análisis de las presiones de la red de Sucúa, se evidencia que aproximadamente el 18 % de los nodos sobrepasan el rango permisible (>50 mca) para el escenario de máximas presiones, mientras que el 82 % cumplen con los rangos de la norma, cabe notar que, si bien estos nodos cumplen con la normativa, sus valores se encuentran muy próximo al límite máximo (ver figura 63). En ninguno de los dos escenarios se tienen problemas de presiones mínimas (<1 %), los nodos que no cumplen con la norma son nodos a la salida de las reservas.

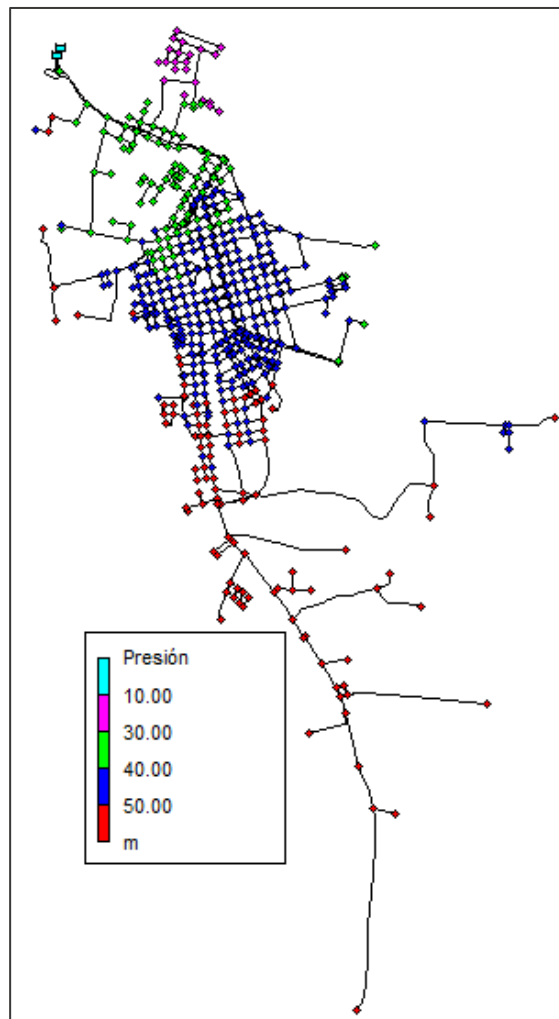
**Tabla 39.** Análisis de presiones.

Presiones	Hora	Q iny. (l/s)	Nodos					
			< 10 mca	%	10 mca < n < 50 mca	%	> 50 mca	%
P. mínimas	14:00	54.00	2	0.33	528	87.71	72	11.96
P. máximas	2:00	44.70	1	0.17	495	82.23	106	17.61

En la figura 63 se observan las presiones mínimas que se producen a la hora pico (14:00). Las zonas que presentan mayor presión se encuentran en los puntos más bajos del sistema (barrio Aeropuerto, barrio Nazareno y sector de Huambinimi). En la figura 64 se muestran las presiones máximas del sistema que corresponden a la hora valle (2:00).



**Figura 63.** Presiones mínimas.



**Figura 64.** Presiones máximas.

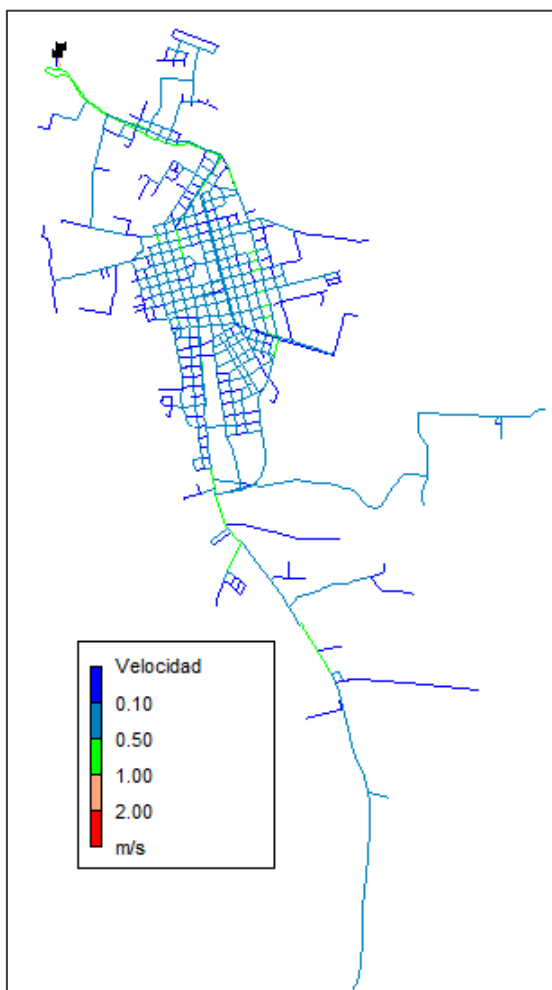
#### 4.1.2 VELOCIDADES.

Otro parámetro importante al momento de evaluar un sistema de abastecimiento es la velocidad en las tuberías. Las velocidades bajas provocan problemas de sedimentación en la tubería y además, puede afectar a la calidad del agua, mientras que las velocidades altas generan mayor fricción en las paredes internas de la tubería, lo que provoca un mayor desgaste en sus paredes reduciendo su vida útil y además, generan importantes pérdidas de carga.

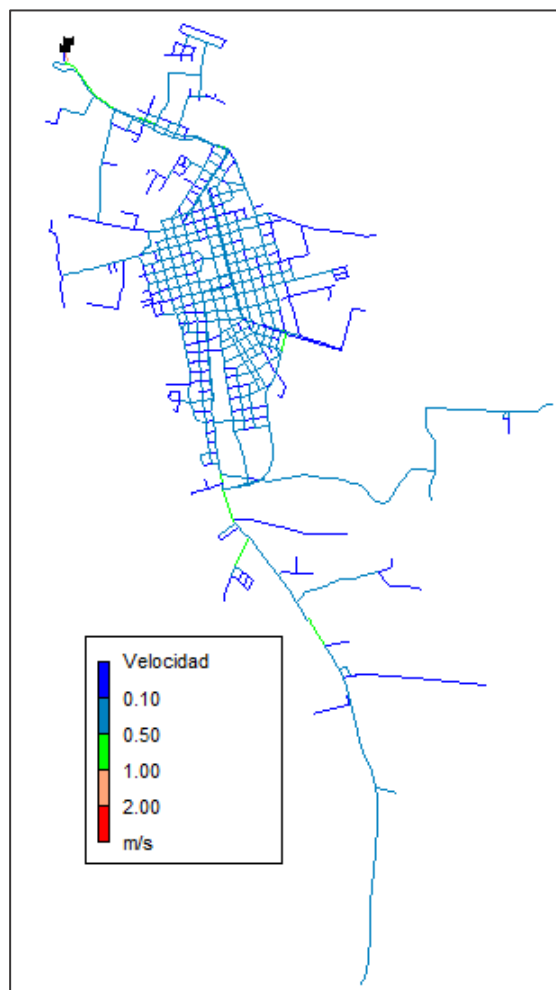
De acuerdo con la normativa ecuatoriana CO 10.07-601, las velocidades en las tuberías deberán, en lo posible, mantenerse alrededor de **1.5 m/s** (SENAGUA, 2015). Al no disponer en la normativa ecuatoriana de un rango establecido de velocidades mínimas y máximas, se considera la norma europea UNE – EN 805 que establece una velocidad mínima de **0.5 m/s** y una velocidad máxima de **2.0 m/s** (AENOR, 2000), estos valores serán considerandos para el análisis de las velocidades.

Las velocidades máximas se dan a la hora de mayor consumo (hora punta), en la figura 65 se observa las velocidades máximas en el sistema, no existen velocidades que sobrepasen los 2.0 m/s. La matriz principal es la que presenta las velocidades más altas del sistema.

Las velocidades mínimas se producen a la hora de menor consumo (hora valle), en la figura 66 se observa que el sistema tiene velocidades menores a 0.5 m/s, estas velocidades se les puede atribuir a que existe diámetros sobredimensionados en el sistema, ya que la normativa nacional establece un diámetro mínimo de tubería de 63 mm. Este comportamiento es habitual en redes de abastecimientos tipo mallado con fluctuaciones en la demanda. A medida que se incremente la demanda a futuro, se espera que estos valores de velocidades mejoren.



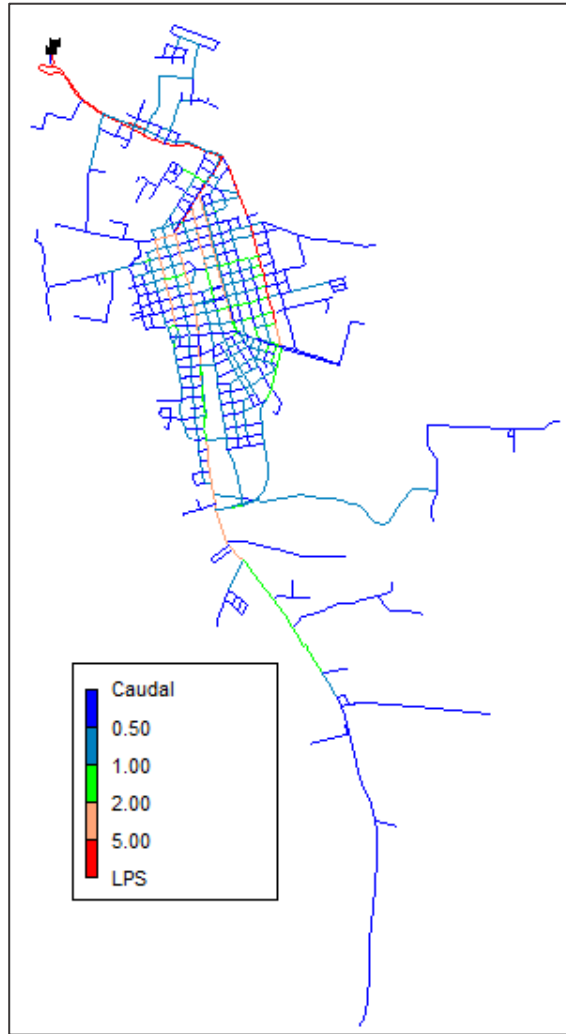
**Figura 65.** Velocidades máximas.



**Figura 66.** Velocidades mínimas.

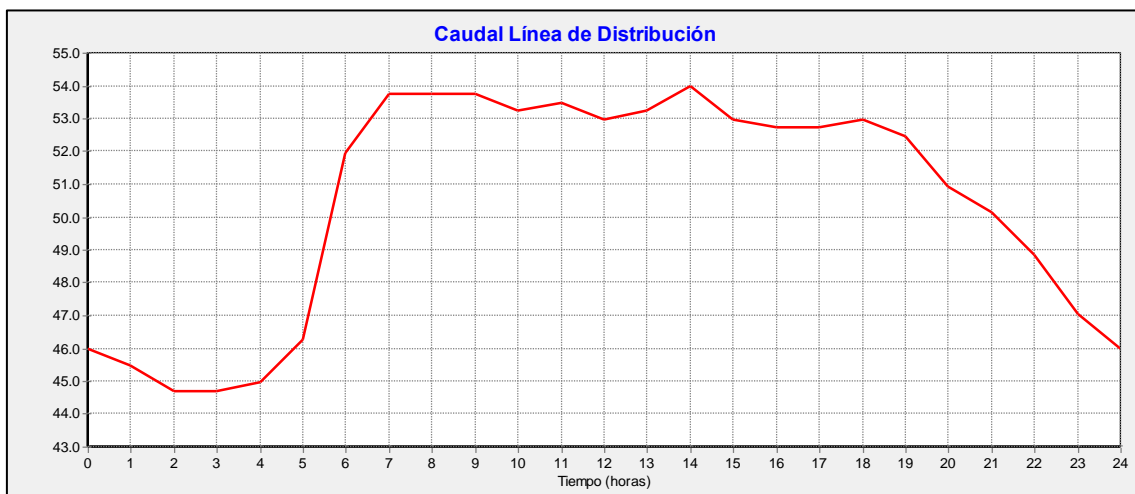
#### 4.1.3 CAUDALES.

Las tuberías que transportan mayor caudal son las dos líneas principales, cuyo diámetro es de 250 mm. Estas tuberías inician su recorrido en los reservorios ubicados a la salida de la planta de tratamiento y avanzan hasta la entrada al barrio la Cruz, en este sector las tuberías se separan, la primera línea se dirige por la Av. 2000 hasta el barrio 5 esquinas y la segunda línea va por la Av. Carlos Julio Arosemena hasta el barrio el Terminal (ver figura 67).



**Figura 67.** Caudales medios diario.

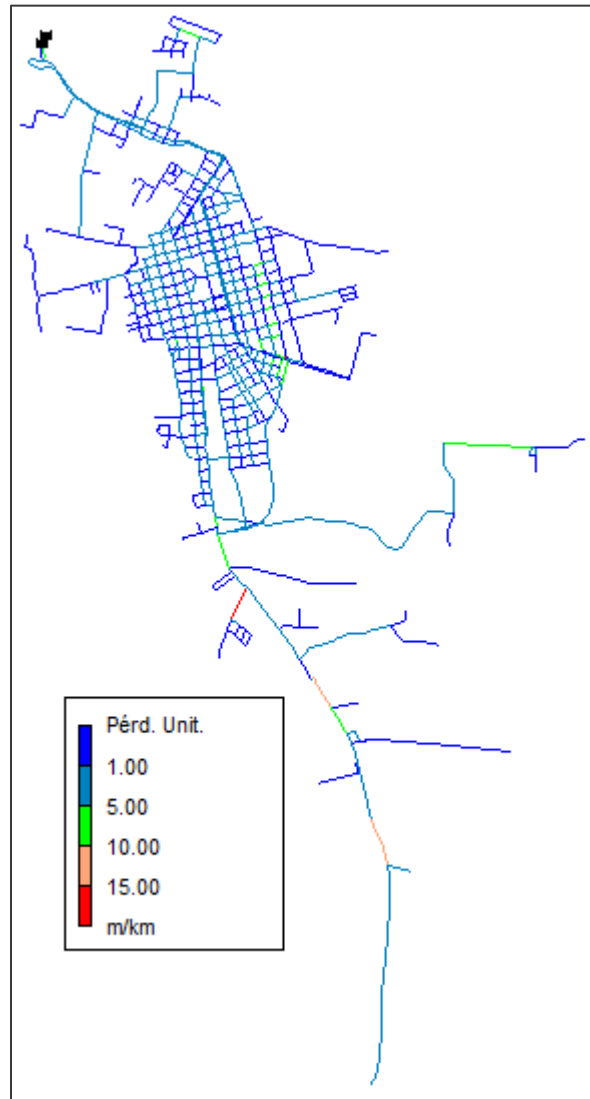
El caudal máximo inyectado tiene un valor de 54.0 l/s, el cual se registra a la hora punta (14:00), y a la hora valle (2:00) el sistema inyecta un caudal mínimo de 44.70 l/s (ver figura 68).



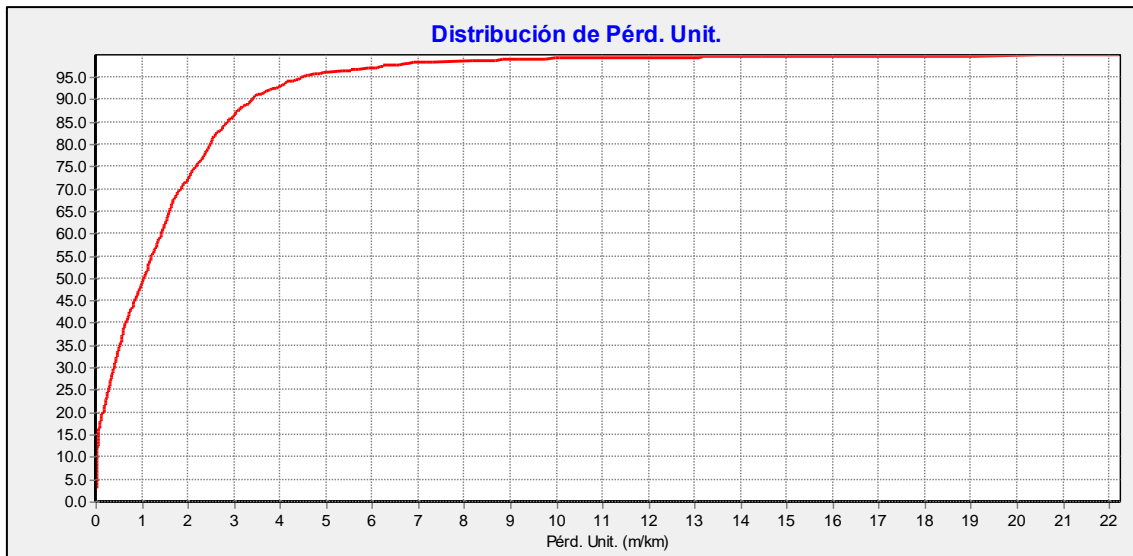
**Figura 68.** Caudal inyectado al sistema (línea L191b).

#### 4.1.4 PÉRDIDAS UNITARIAS.

El sistema en general no presenta pérdidas unitarias importantes, el 96 % de las tuberías tiene unas pérdidas unitarias menores a 5 mca/km y solo el 0.3% de las tuberías superan los 15 mca/km (ver figura 70). En la figura 69 se puede visualizar las pérdidas unitarias máximas de toda la red.



**Figura 69.** Pérdidas unitarias máximas.



**Figura 70.** Distribución de pérdidas unitarias máximas.

#### 4.1.5 ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE CAUDALES DURANTE EL DÍA.

Con el modelo matemático calibrado y el análisis del balance hídrico realizado, se procede a analizar la evolución de los caudales horarios durante 24 horas. En la tabla 40 se puede ver la evolución horaria de los caudales consumidos registrados, consumidos no registrados, caudal consumido total y el caudal fugado.

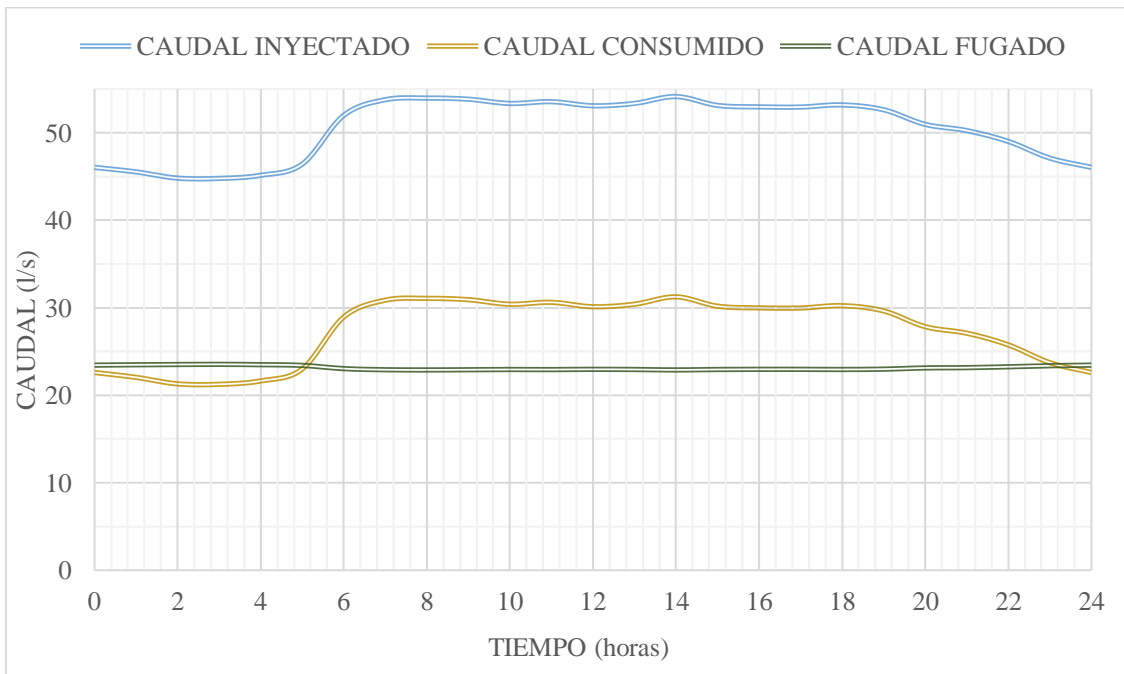
**Tabla 40.** Análisis de caudales horarios durante 24 horas.

Intervalo (horas)	a	Patrón de Consumo	b	c	d=b+c	f=a-d
	Caudal inyectado (l/s)		Caudal Consumido Registrado (l/s)	Caudal Consumido No Registrado (l/s)	Caudal Consumido Total (l/s)	Caudal Fugado (l/s)
0-1	46.04	0.82	19.98	2.62	22.59	23.44
1-2	45.52	0.80	19.49	2.55	22.04	23.48
2-3	44.81	0.77	18.83	2.47	21.30	23.51
3-4	44.78	0.77	18.79	2.46	21.25	23.53
4-5	45.13	0.78	19.13	2.50	21.64	23.49
5-6	46.41	0.83	20.33	2.66	23.00	23.41
6-7	51.99	1.05	25.59	3.35	28.94	23.04
7-8	53.78	1.12	27.29	3.57	30.87	22.91
8-9	53.96	1.12	27.47	3.60	31.07	22.89
9-10	53.83	1.12	27.34	3.58	30.92	22.91
10-11	53.35	1.10	26.88	3.52	30.40	22.94
11-12	53.55	1.11	27.07	3.54	30.62	22.93
12-13	53.08	1.09	26.63	3.49	30.11	22.96
13-14	53.35	1.10	26.88	3.52	30.40	22.94
14-15	54.14	1.13	27.63	3.62	31.24	22.89
15-16	53.12	1.09	26.68	3.49	30.17	22.94
16-17	52.95	1.08	26.51	3.47	29.99	22.96
17-18	52.94	1.08	26.50	3.47	29.97	22.96
18-19	53.18	1.09	26.73	3.50	30.23	22.94



Intervalo (horas)	a	Patrón de Consumo	b	c	d=b+c	f=a-d
	Caudal inyectado (l/s)		Caudal Consumido Registrado (l/s)	Caudal Consumido No Registrado (l/s)	Caudal Consumido Total (l/s)	Caudal Fugado (l/s)
19-20	52.62	1.07	26.20	3.43	29.64	22.98
20-21	50.95	1.01	24.61	3.22	27.83	23.12
21-22	50.25	0.98	23.95	3.14	27.09	23.15
22-23	49.01	0.93	22.77	2.98	25.76	23.25
23-24	47.10	0.86	20.97	2.75	23.72	23.37
<b>Promedio</b>	<b>50.66</b>	<b>1.00</b>	<b>24.35</b>	<b>3.19</b>	<b>27.54</b>	<b>23.12</b>

En la figura 71 se muestra la evolución de los caudales durante 24 horas, evidenciándose que el caudal consumido total tiende a seguir la curva del caudal inyectado, mientras que el caudal fugado presenta pocas fluctuaciones a lo largo del día.



**Figura 71.** Evolución de caudales durante 24 horas.

#### 4.1.6 ANÁLISIS RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO DE LA RED.

Con los datos calculados en el balance hídrico técnico (capítulo 3), se procede a calcular los rendimientos que caracteriza la eficiencia hídrica del sistema. A continuación, se muestra los rendimientos con sus respectivas fórmulas de cálculo.

$$Q_s = Q_r + Q_{ic} = Q - Q_{if}$$

- Rendimiento global del sistema:  $\eta_s = \frac{Q_r}{Q}$

- Rendimiento de la red:  $\eta_r = \frac{Q_s}{Q}$
- Rendimiento de medición:  $\eta_m = \frac{Q_r}{Q_s}$

En la tabla 41 se observa los resultados de los rendimientos volumétricos.

**Tabla 41.** Rendimientos volumétricos de la red inicial.

Rendimiento	Porcentaje
Rendimiento global del sistema.	48.10%
Rendimiento de la red.	54.40%
Rendimiento de medición,	88.40%

Cabrera et al., (1999) proponen la calificación de la gestión de un abastecimiento en función de su rendimiento global  $\eta_s$  (ver tabla 42), el sistema del cantón Sucúa tiene un rendimiento global de  $\eta_s = 0.48$ , lo cual le corresponde una calificación **Inaceptable**.

**Tabla 42.** Calificación de la gestión de un sistema en función de  $\eta_s$  (Cabrera et al., 1999).

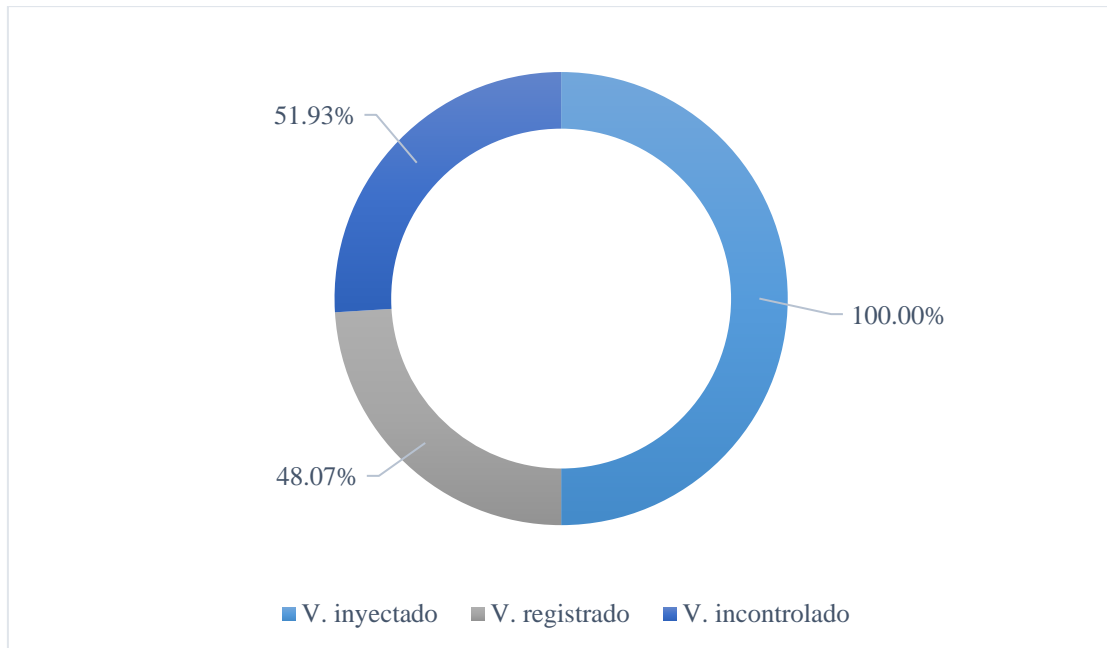
Rango	Calificación
$\eta_s > 0.9$	Excelente
$0.8 < \eta_s < 0.9$	Muy bueno
$0.7 < \eta_s < 0.8$	Bueno
$0.6 < \eta_s < 0.7$	Regular
$0.5 < \eta_s < 0.6$	Malo
$0.5 < \eta_s$	Inaceptable

El porcentaje de volumen incontrolado sobrepasa el 50 % (ver tabla 43), estos valores son excesivamente altos y hace concordancia con la calificación de “Inaceptable” en el rendimiento global del sistema.

**Tabla 43.** Volúmenes de la gestión global.

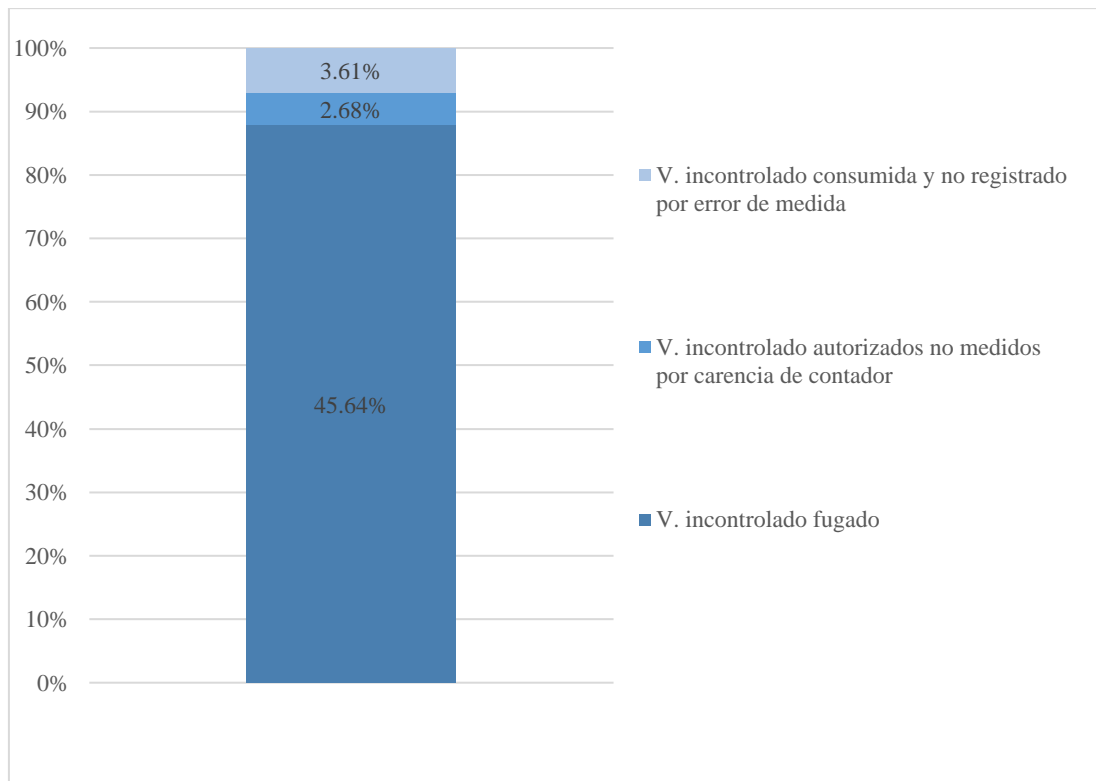
Volumen	m3/mes	Porcentaje
V. inyectado	135,680.90	100.00%
V. registrado	65,223.00	48.07%
V. incontrolado	70,457.90	51.93%

En la figura 72 se puede observar la distribución porcentual del volumen inyectado mensual.



**Figura 72.** Distribución porcentual de volúmenes de la gestión global.

El volumen incontrolado se encuentra conformado por los volúmenes fugados, errores en la medida del contador y volúmenes no registrados por carencia de contador. En la figura 73 se muestra la estructura del volumen incontrolado.



**Figura 73.** Estructura del volumen incontrolado.

#### 4.1.7 ANÁLISIS SECTORIZACIÓN EXISTENTE.

De acuerdo con el plano base de agua potable del año 2019, el sistema cuenta con 164 válvulas de corte (ver tabla 44), de las cuales 94 válvulas se encuentran conformando el trazado para la sectorización propuesta por ETAPA-EP en enero del 2015, las restantes se encuentran fuera del trazado.

La sectorización actual está conformada por 18 sectores (ver figura 24), de acuerdo al plano base de redes, existen sectores que no cuentan con válvulas instaladas en los puntos indicados por ETAPA-EP, con lo cual el sector no queda aislado completamente, además, con los años se ha ido ampliando la red y ahora existen nuevas tuberías que deben considerarse en la sectorización.

En la actual sectorización existen tres zonas que no están sectorizadas: barrio la Cruz, barrio el Progreso y el sector de la urbanización Pazan-Medina. Cabe indicar que el barrio la Cruz se encuentra conectado directamente a las líneas matrices de la red de distribución del cantón (D=250 mm), por lo que de suscitarse algún problema en este sector se puede poner en riesgo el suministro a toda la ciudadanía, por no encontrarse aislado completamente mediante una sectorización.

**Tabla 44.** Descripción de válvulas de corte del cantón.

Descripción	Unidades
Total Válvulas	164
Válvulas Perdidas	5
Válvulas Dañadas	1
Válvulas en Sectorización	100
Válvulas fuera de Sectorización	58

#### 4.1.8 ANÁLISIS COSTES DE AGUA Y TARIFACIÓN.

“La tarifa más adecuada es aquella que consigue garantizar la recuperación de todos los costes para cada uso, que en el ámbito de los servicios urbanos se compone fundamentalmente del uso doméstico, comercial, industrial, construcción y consumos públicos” (FEMP; AEAS, 2011).

La tarifa del servicio de suministro de agua potable del cantón Sucúa establece diferentes precios en función del tipo de uso: doméstico, no doméstico (comercial e industrial) y público.

Para todos los tipos de uso, la estructura de la tarifa es de tipo “*binomial*”, estableciendo una cuota fija mensual atribuida a la prestación del servicio (\$/mes) y unos precios unitarios variables en función del volumen mensual consumido (\$/m<sup>3</sup> x mes). La cuota fija mensual actual es de 3.0 \$/mes por usuario, este valor será cancelado en su totalidad por el usuario así no haya tenido consumo en ese periodo o si su consumo hubiese sido menor a 10 m<sup>3</sup>, es decir, todos los consumos menores a 10 m<sup>3</sup> tendrán que pagar siempre la cuota fija de 3.0 \$/mes.

En la tabla 45 se observa la estructura de tarifación binomial utilizada por EPMAPA-S. Esta estructura es aplicada para los consumos mayores a 10 m<sup>3</sup>/mes y varía en función del tipo de uso. Cabe indicar que existe ciertos subsidios para los usuarios de la tercera edad, conforme establece la ley ecuatoriana.

El cálculo del costo mensual se realiza con la siguiente ecuación:

$$\text{Costo} = V \times K \times C_u$$

Donde:

$V$  = Volumen facturado (m<sup>3</sup>/mes).

$K$  = Parámetro de cobro (tabla 46).

$C_u$  = Costo unitario (\$/m<sup>3</sup>).

El parámetro de cobro “ $K$ ” varía de acuerdo con el rango de consumo y al tipo de usuario. El costo unitario actual “ $C_u$ ” es de 0.30 \$/m<sup>3</sup>.

**Tabla 45.** Estructura de tarificación binomial.

PARÁMETROS DE COBRO (K)					
RANGO		TIPO			
Desde	Hasta	Doméstico	Comercial	Industrial	Pública
0	10	1.0	2.0	2.0	0.50
11	20	1.5	2.5	2.5	0.75
21	30	2.0	3.0	3.0	1.00
31	50	2.5	5.0	5.0	1.25
51	100	3.0	7.0	7.0	1.50
101	99999	4.0	7.0	7.0	2.00

Analizando históricamente la evolución de tarifas de agua potable (ver tabla 46), el costo del agua por metro cúbico se ha ido incrementando con el pasar de los años, en la actualidad el costo unitario de agua es 0.30 \$/m<sup>3</sup>. Para la facturación del servicio de alcantarillado se cobra un porcentaje del valor de la factura que paga el usuario.

**Tabla 46.** Evolución del costo de agua por metro cúbico.

COSTOS UNITARIO DEL SERVICIO (Cu)		
Periodo	Agua	Alcantarillado
	costo/m <sup>3</sup>	% facturado Agua Potable
anterior - 2009	0.10	50%
2009 - 2016	0.15	60%
2016 - actual	0.30	60%

A continuación, se realizará un ejemplo del costo de facturación para un usuario tipo “doméstico”, el cual haya tenido un consumo mensual de 18 m<sup>3</sup>. En la tabla 47 se muestran los cálculos realizados, dando como resultado un costo mensual a pagar por el usuario de 6.60 \$.

**Tabla 47.** Ejemplo de costo de facturación.

		a	b	c	d=a*b*c
PARÁMETRO DE COBRO (K)		COSTO UNITARIO (Cu)		VOLUMEN (V)	COSTO
RANGO		TIPO		m <sup>3</sup> /mes	\$/mes
Desde	Hasta	Doméstico			
0	10	1.0		10.00	3.00
11	20	1.5		8.00	3.60
<b>Total</b>				<b>18.00</b>	<b>6.60</b>

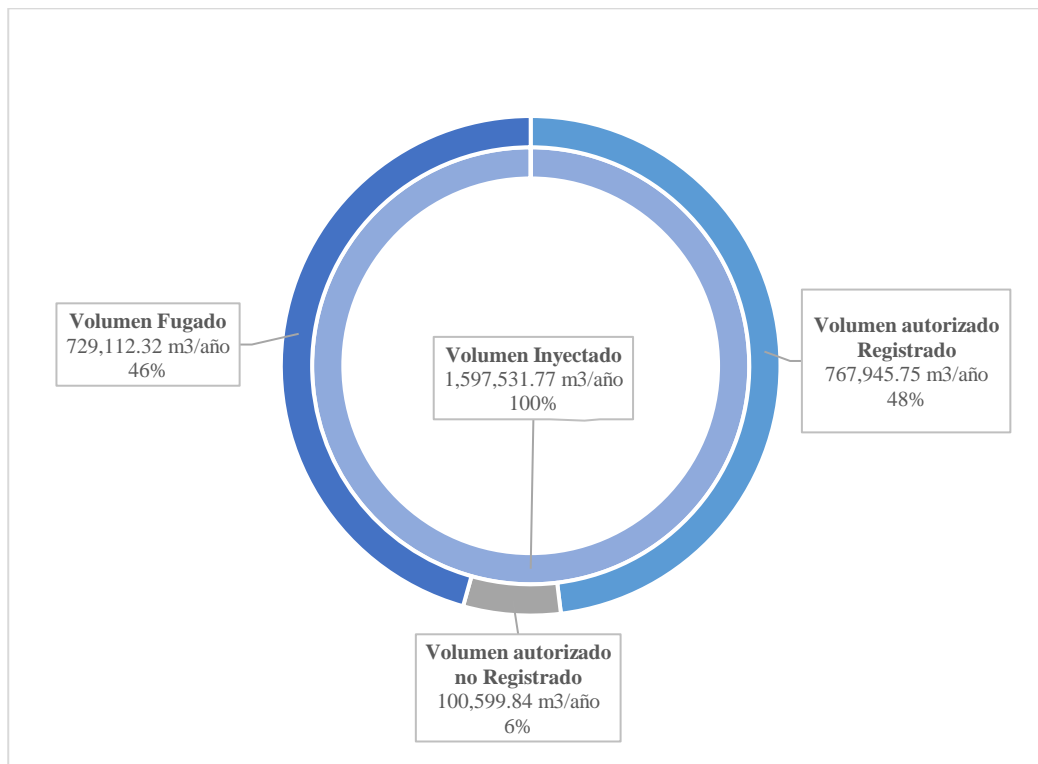
Para efecto de poder visualizar que está ocurriendo en el sistema en el tema económico, se tomará como referencia los volúmenes consumidos en la red el mes de diciembre del 2014, para el análisis se utilizará el costo unitario de 0.30 \$/m<sup>3</sup>, que es el valor actual dispuesto por la empresa de abastecimiento.

En la tabla 48 se muestra los volúmenes y costos anuales del agua. Existe un costo sustancial que la empresa de agua estaría dejando de percibir por las fugas en el sistema, cuyo valor asciende a 218,733.70 \$/año, de igual manera, existe un costo importante de 30,179.95 \$/año por volumen de agua autorizado no registrado. La suma de estos dos valores de los volúmenes incontrolados asciende a **248,913.65 \$/año**, lo cual estaría superando al valor recaudado por la empresa que es de **230,383.73 \$/año**.

**Tabla 48.** Volúmenes y costes anuales de agua.

Descripción	Volúmenes		Costes	
Volumen Inyectado	4,376.80	m3/día	1,313.04	\$/día
	135,680.78	m3/mes	40,704.23	\$/mes
	1,597,531.77	m3/año	479,259.53	\$/año
Volumen autorizado Registrado	2,103.96	m3/día	631.19	\$/día
	65,223.00	m3/mes	19,566.90	\$/mes
	767,945.75	m3/año	230,383.73	\$/año
Volumen autorizado no Registrado	275.62	m3/día	82.68	\$/día
	8,544.10	m3/mes	2,563.23	\$/mes
	100,599.84	m3/año	30,179.95	\$/año
Volumen Fugado	1,997.57	m3/día	599.27	\$/día
	61,924.61	m3/mes	18,577.38	\$/mes
	729,112.32	m3/año	218,733.70	\$/año

Nota: volúmenes referentes a diciembre 2014



**Figura 74.** Volúmenes anuales de agua.

En la figura 74 se observa la distribución de los volúmenes anuales de agua, el volumen de agua fugada representa aproximadamente el 46 % del total inyectada, en el siguiente capítulo se abordará los temas de mejoras, donde se buscará disminuir este porcentaje.

En la figura 75 se presenta los costos anuales de agua, como se puede apreciar el monto recaudado anualmente por el servicio de agua potable es un valor relativamente bajo en comparación con los costos de producción.

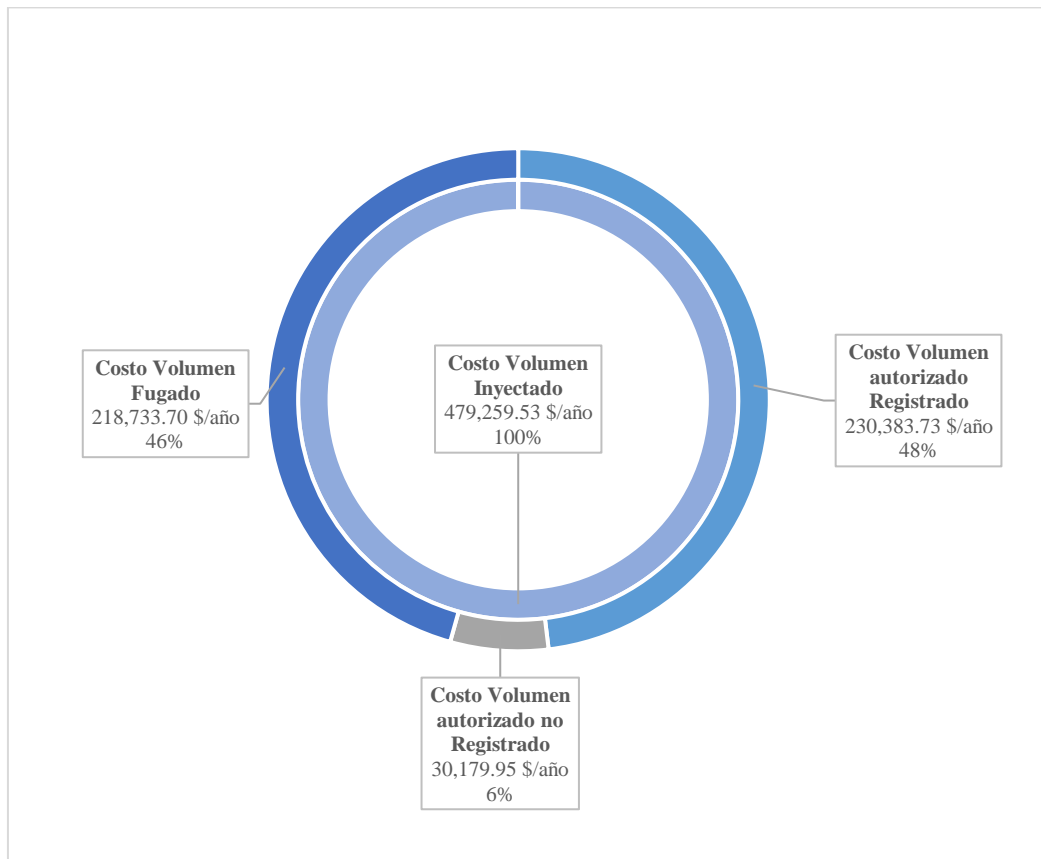


Figura 75. Costos anuales de agua.

#### 4.2 ANÁLISIS DE LA RED UNIFICADA.

Las redes de Sucúa y Santa Marianita de Jesús fueron unificadas en mayo del 2016, esta disposición se dio por los problemas en la línea de conducción que venía aquejando al sistema de Sucúa. La decisión fue tomada sin ningún tipo de estudio previo que analice el comportamiento que iban a tener las dos redes con la unificación. Los dos sistemas calibrados fueron unificados en Epanet (ver figura 76).

Las redes están conectadas en dos puntos, estos puntos se encuentran ubicados en el barrio la Cruz (ver figura 77). En el punto 1 se encuentra instalada una válvula de retención que permite el flujo en un solo sentido, el flujo circula desde el sistema de Santa Marianita hacia el sistema de Sucúa. El punto 2 no dispone de válvula de retención, en ambos puntos se encuentran instaladas válvulas de corte que permite aislar los sistemas.

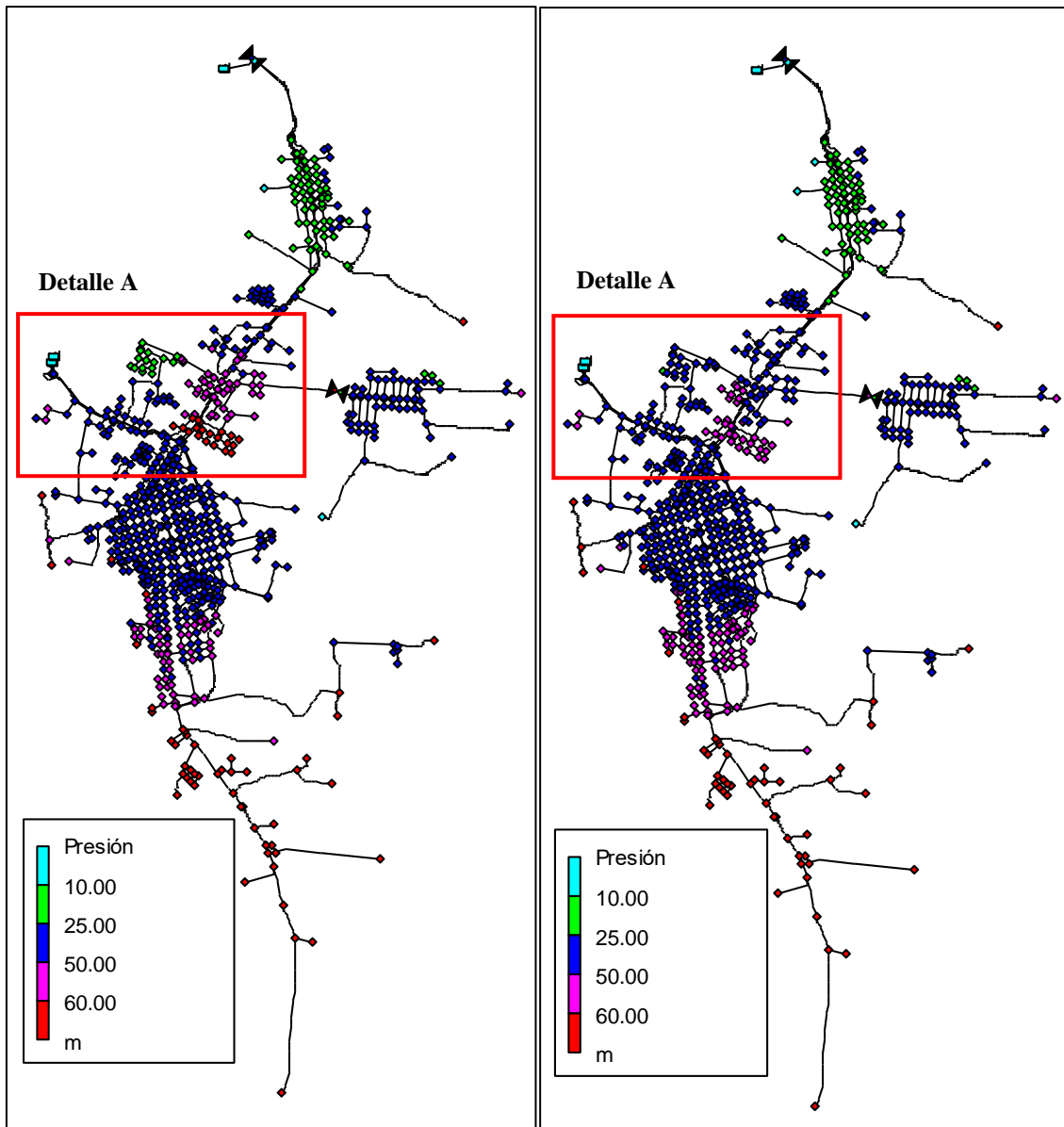


Figura 76. Unificación de los dos sistemas, izquierda sin unificar y derecha unificado.



Figura 77. Puntos de unificación de las redes (Detalle A).



A continuación, se realizará el análisis de ciertos parámetros hidráulicos de la unificación.

#### 4.2.1 PRESIONES.

El análisis de las presiones en la red unificada se llevó a cabo en el momento de máximas presiones (hora valle-2:00), en la figura 76 se puede ver que la red de Sucúa sufre un aumento de las presiones en varios sectores, mientras que la red de Santa Marianita tiene un descenso de presiones en las zonas cercanas a la unión (punto 1).

En la tabla 49 se realiza un análisis completo del comportamiento de las presiones en los nodos, antes y después de la unificación. La red de Sucúa tiene un aumento del porcentaje de nodos que superan los 50 mca, pasando del 18 % al 22 %, mientras que la red de Santa Marianita tiene un descenso de los porcentajes de nodos que superan los 50 mca, reduciendo de 34 % a 28 %.

Es preciso indicar que, aunque estas variaciones en los porcentajes no sean muy amplias, existen una gran cantidad de nodos en la red de Sucúa que luego de la unificación se aproximaron más al límite superior establecido por la normativa ecuatoriana. Este aumento de presiones en la red de Sucúa solo ahonda más el problema en el sistema, ya que un aumento de presiones se convierte en un aumento del caudal fugado.

**Tabla 49.** Análisis de las máximas presiones en el sistema unificado (hora valle – 2:00).

Sistema	Descripción	SIN UNIFICACIÓN			CON UNIFICACIÓN		
		valor	unidad	%	valor	unidad	%
Sucúa	Caudal Inyectado	44.7	l/s		37.18	l/s	
	Presiones <10 mca	1	nodos	0.20%	1	nodos	0.20%
	Presiones 10 mca <n< 50 mca	495	nodos	82%	468	nodos	78%
	Presiones >50 mca	106	nodos	18%	133	nodos	22%
	Total Nodos	602	nodos	100%	602	nodos	100%
Santa Marianita	Caudal Inyectado	3.95	l/s		11.8	l/s	
	Presiones <10 mca	1	nodos	0.40%	1	nodos	0.40%
	Presiones 10 mca <n< 50 mca	174	nodos	65%	191	nodos	72%
	Presiones >50 mca	92	nodos	34%	75	nodos	28%
	Total Nodos	267	nodos	100%	267	nodos	100%

#### 4.2.2 CAUDALES.

La unificación de las redes provocó también una variación de los caudales inyectados en cada sistema (ver tabla 49). El sistema de Sucúa tuvo una reducción del caudal inyectado de **7.52 l/s**, mientras que el sistema de Santa Marianita tuvo un aumento de caudal inyectado de **7.85 l/s**. Las variaciones de caudales inyectados en los sistemas se le puede atribuir a la diferencia de cotas que se encuentran los reservorios, el reservorio de la planta de Santa Marianita se encuentra a los 930 msnm, mientras que los reservorios de Sucúa se encuentran a los 876 msnm.

Una vez analizado estos parámetros hidráulicos, se puede concluir que la unificación no representa un beneficio para el sistema de Sucúa, ya que solo acrecentó el gran problema de fugas que tiene la red. Por lo antes expuesto se recomienda que los sistemas funcionen de manera separada, como fueron concebidos en su diseño original.

El sistema de Santa Marianita presenta problemas con las sobrepresiones, por lo que se recomienda una revisión de las consignas de sus dos válvulas reductoras de presión, además, de ser el caso la instalación de nuevas válvulas en puntos críticos de la red. Al ser un sistema que se encuentra en fase inicial de funcionamiento, sus consumos son bajos, por lo que se debe de regular en caudal de ingreso a la planta para evitar desperdicios de agua por rebose en los reservorios.

Para aislar las dos redes, es necesario que permanezcan cerradas las dos válvulas de corte (punto 1 y punto 2), estas válvulas se deberían de operar solo en casos de emergencia, como los suscitados en la red de conducción del sistema de Sucúa en el año 2016.

Para las propuestas de mejoras que se tratará en el siguiente capítulo, se considerara a la red de Sucúa como una red separada, es decir, sin unificación. En el **Anexo 3** se muestra la configuración actual de los sistemas.



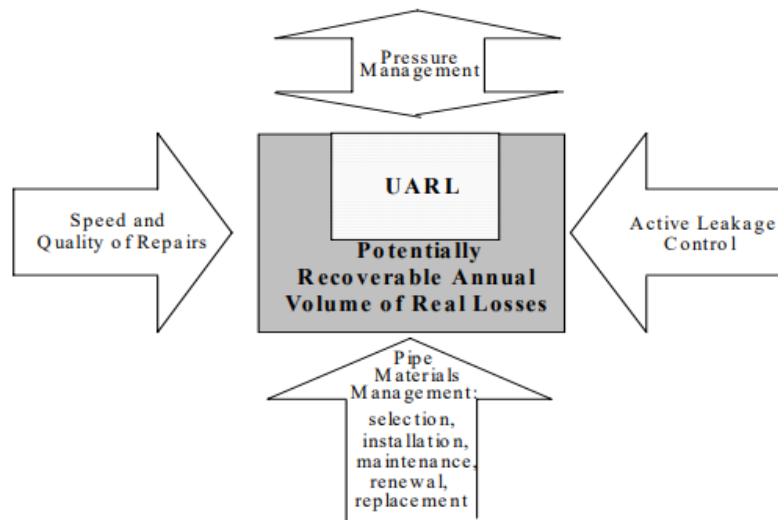
# **CAPÍTULO 5**

## **PROPUESTAS DE MEJORA**

## 5 PROPUESTAS DE MEJORA.

El problema más importante que presenta el sistema de distribución del cantón Sucúa, son las sobrepresiones, existen muchos puntos de consumo donde las presiones se encuentran sobre el límite de la normativa nacional o muy cerca del rango superior establecido (50 mca). El problema de las sobrepresiones en la red afecta directamente al volumen de agua fugada.

El grupo de trabajo en pérdidas de agua de la International Water Association (IWA) propone cuatro actividades para la gestión de fugas en los sistemas de distribución (ver figura 78).



**Figura 78.** Las cuatro técnicas básicas de gestión de fugas (IWA, 2007).

La gestión de la presión en una red, es la actividad clave a la hora de controlar las pérdidas reales del sistema. Las propuestas de mejoras para la red de Sucúa se centrarán en el control de las sobrepresiones y el control activo de fugas. Como paso previo al control de presiones, se realizará la mejora en la sectorización del sistema.

### 5.1 MEJORA EN LA SECTORIZACIÓN DE LA RED.

Según Gómez et al., (2017) “el diseño de la red sectorizada variará en función de cuál sea el objetivo principal por el que se compartimenta la red. Para una misma red existen múltiples configuraciones de sectores y su eficiencia dependerá tanto de las características de la red de partida como del propio diseño de los sectores que la constituyen”.

La sectorización actual fue propuesta por ETAPA-EP en el año 2015. De acuerdo con el plano base de redes agua potable 2019, existen sectores que no cuenta con válvulas de corte instaladas en los puntos indicados en el diseño de ETAPA-EP, esto provoca que el sector no quede completamente aislado cuando se presente algún problema en la red.

Existen nuevos tendidos de tuberías que se debería incluir en la actual sectorización. En la nueva sectorización se considerarán los tres nuevos sectores: barrio Progreso, barrio la Cruz y urbanización Pazan-Medina.

Para la sectorización propuesta, se ha procurado respetar el trazado actual y dar uso a los accesorios existentes (que estuvieran en buen estado), esto con el afán de no encarecer el presupuesto para la implementación de la sectorización.

La nueva sectorización propuesta cuenta con 146 válvulas, de las cuales 100 son válvulas existentes y 46 son válvulas nuevas (ver tabla 50). De las 46 válvulas nuevas, el 72 % corresponde a válvulas de diámetro 63 mm y el 20 % a válvulas con diámetro 110 mm (ver tabla 51).

**Tabla 50.** Válvulas de corte para nueva sectorización.

Descripción	Unidades	Porcentaje
Válvulas existentes Sectorización	100	68%
Válvulas nuevas Sectorización	46	32%
Total válvulas Sectorización	146	100%

**Tabla 51.** Distribución por diámetros de las válvulas nuevas.

Descripción	Unidades	Porcentaje
Válvulas diámetro 50 mm	2	4%
Válvulas diámetro 63 mm	33	72%
Válvulas diámetro 90 mm	2	4%
Válvulas diámetro 110 mm	9	20%
<b>TOTAL</b>	<b>46</b>	<b>100%</b>

Para la sectorización, las válvulas serán clasificadas en dos grandes grupos, el primer grupo será las válvulas de cierre (VC), las cuales permanecerán siempre cerradas y el segundo grupo están las válvulas de operación (VO), estas válvulas podrán adoptar la posición de abierta o cerrada, dependiendo de la situación. Del total de válvulas de la sectorización, el 64 % serán válvulas cerradas (VC) y el 36 % serán válvulas de operación (VO) (ver tabla 52).

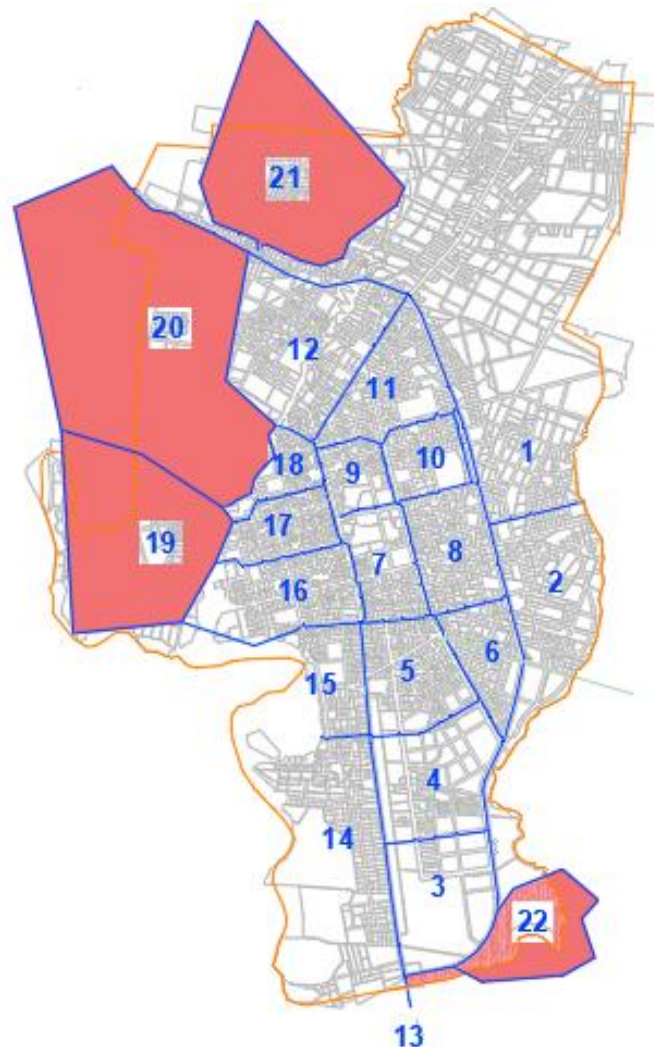
**Tabla 52.** Estado de las válvulas.

Descripción	#	Porcentaje
Válvulas cerradas (VC)	93	64%
Válvulas Operación abierta-cerrada (VO)	53	36%
<b>TOTAL</b>	<b>146</b>	<b>100%</b>

En la figura 79 se muestra la distribución de la nueva sectorización, los nuevos sectores considerados son los siguientes: el sector 19 (barrio el Progreso), sector 20 y 21 (barrio la Cruz) y el sector 22 (ingreso urbanización Pazan-Medina). La nueva sectorización contempla 22 sectores, de los cuales 18 son existentes y 4 son nuevos. Existe un ahorro en el caudal medio inyectado al sistema de **0.79 l/s** con la implementación de la sectorización.

En el **Anexo 4** se muestra el plano de la nueva sectorización (22 sectores) para el sistema de distribución, en el cual se puede diferenciar las válvulas que permanecerán cerradas (VC) y las válvulas de operación (VO). Las válvulas VC92 y VC93 son las encargadas de mantener aislado los dos sistemas de distribución, estas válvulas permanecerán cerradas.

En el **Anexo 5** se muestra una tabla con la operación para la sectorización, ahí se indica cuál es el estado de cada válvula (abierta o cerrada) y que sector se afecta con la maniobra. Hay que tener en cuenta que, al suspender ciertos sectores, se podrían tener una baja de presión en otros sectores, además, al suspender el sector 18 también se suspenderá el sector 19.



**Figura 79.** Distribución de la nueva sectorización.

## 5.2 GESTIÓN DE PRESIONES.

La gestión de presiones puede implicar tanto aumentos como disminuciones de la presión, en diferentes momentos del día o del año. En cualquier caso, habrá una influencia significativa en el volumen anual de pérdidas reales inevitables (Lambert, 2000).

El sistema de Sucúa presenta problemas de presiones altas, estas sobrepresiones se presentan en las horas de menor consumo (horas valle) y en las zonas más bajas. Para solucionar este problema se plantea la instalación de nuevas válvulas reductoras de presión en sitios estratégicos y el ajuste de la consigna de las válvulas existentes.

### 5.2.1 VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN (VRP).

Las válvulas reductoras de presión (VRP) son válvulas de control automático. El objetivo de una VRP es mantener la presión constante aguas abajo del punto de instalación; estas válvulas, al limitar las presiones en las conducciones, ayuda a disminuir el timbraje de las tuberías. Son muy utilizadas en sistemas de agua potable por su costo y por su fácil implementación.

Las válvulas reductoras de presión pueden trabajar en tres posiciones, esto depende de la presión de tarado o consigna ( $P_c$ ). Las tres posiciones son: abierta, regulando o cerrada (ver figura 80).

- **Abierta.** si la  $P_1 < P_c \rightarrow P_2 = P_1 + h_v ; Q > 0$
- **Regulando.** si la  $P_1 > P_c \rightarrow P_2 = P_c ; Q > 0$
- **Cerrada.** si la  $P_1 > P_c \rightarrow$  se anula  $Q ; Q = 0$

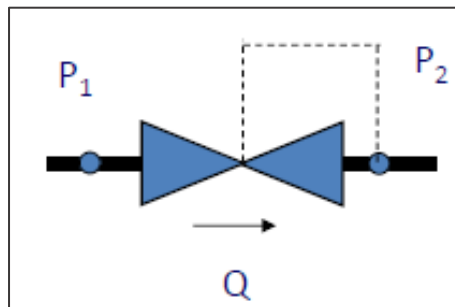


Figura 80. Esquema de una válvula reductora de presión.

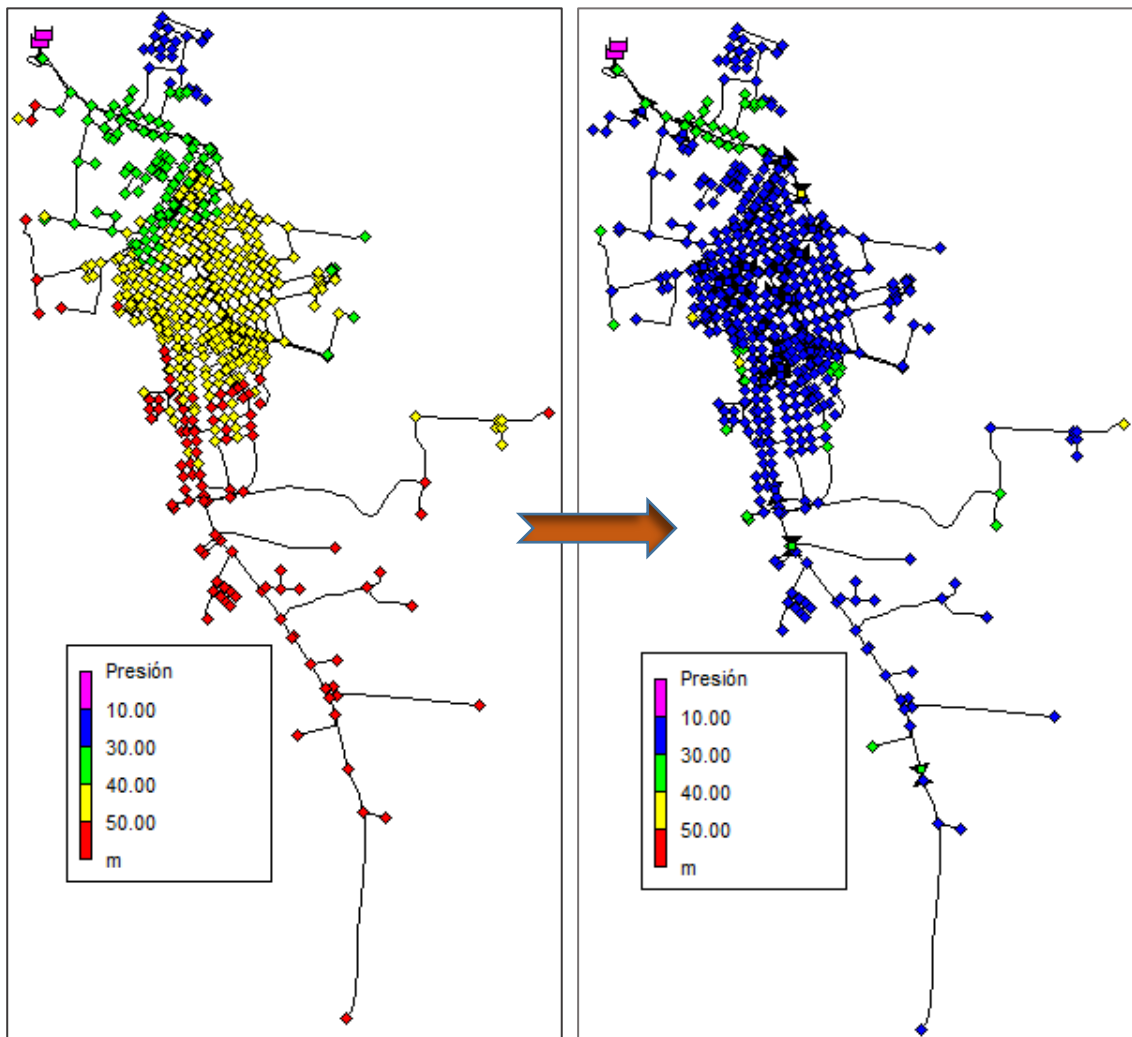
Para ingresar las válvulas en Epanet, es necesario crear nodos extras con las mismas cotas del punto donde se va a instalar, el valor de la consigna se va ajustando, dependiendo de las presiones que tengan los nodos aguas abajo, en este caso, las presiones mínimas no deberán de descender de los 10 mca en ninguna hora del día. La simulación será realizada en la hora de máxima presión (hora valle).

Para controlar las sobrepresiones fue necesario instalar 8 VRP nuevas. De las 19 VRP existentes en la red, solo se utilizó 1 válvula (V-1), las otras 18 válvulas se encuentran dentro de las zonas malladas, lo cual complica su funcionamiento, por lo que se las dejó completamente abiertas para que no afecten a otros nodos de consumo (ver Anexo 6).

Luego de gestionar las presiones, el sistema presenta un ahorro en el volumen de agua fugada. Se consiguió solucionar las sobrepresiones en su totalidad (ver figura 81), no existen puntos de consumos con presiones mayores 50 mca (ver tabla 53).

**Tabla 53.** Análisis de presiones máximas del sistema con gestión presiones.

Sistema	Descripción	SIN VRP		CON VRP	
		Nodos	Porcentaje	Nodos	Porcentaje
Sucúa	Presiones <10 mca	1	0.17%	1	0.17%
	Presiones 10 mca <n< 50 mca	495	82.23%	601	99.83%
	Presiones >50 mca	106	17.61%	0	0.00%
	Total Nodos	602	100.00%	602	100.00%



**Figura 81.** Presiones máximas, izquierda sin VRP y derecha con VRP.

En la tabla 54 se muestra un listado de todas las válvulas reductoras de presión instaladas en el sistema. Las válvulas existentes que se encontraban dentro de las zonas malladas fueron abiertas completamente, ya que las válvulas no pueden trabajar de manera correcta dentro de estas zonas.

En primera instancia, los diámetros de las válvulas nuevas fueron colocadas con el mismo diámetro de las tuberías donde se pretenden instalar. Una vez verificado que no existe problemas de cavitación en las válvulas, se realizó un ajuste en los diámetros, con el objetivo de optimizar el diseño. Las dos válvulas de diámetro 250 mm se cambiaron por válvulas de diámetro 110 mm, de igual manera las válvulas de 90 mm se cambiaron por 63 mm, estos ajustes fueron posibles porque las válvulas presentaban velocidades



bajas y pérdidas de carga moderadas. En el **Anexo 7** se muestra un ejemplo realizado para la comprobación de cavitación en la válvula reductora de presión (V-21). Todos estos ajustes repercutirán de manera positiva en el presupuesto referencial que se realizará más adelante (capítulo 6).

**Tabla 54.** Válvulas reductoras de presión del sistema de Sucúa.

Ubicación	Id	Diámetro (mm)	Cota (msnm)	Consigna (mca)	Tubería (Epanet)	Observación
SECTOR 5	V-2	63	824	*	L770	Existente
	V-3	63	824	*	L747	Existente
	V-4	63	824	*	L748	Existente
	V-5	63	824	*	L740	Existente
	V-6	63	824.18	*	L756	Existente
SECTOR 7	V-7	63	825.19	**	L594	Existente
	V-15	110	826.85	*	L441	Existente
	V-16	63	827.88	*	L583	Existente
SECTOR 8	V-14	63	826.78	*	L166	Existente
SECTOR 10	V-17	110	828.46	*	L135	Existente
	V-18	63	828.76	*	L649	Existente
	V-19	63	829.02	*	L637	Existente
SECTOR 11	V-20	110	832.43	20	L385	Nueva
	V-21	110	835.17	20	L377	Nueva
SECTOR 13	V-26	63	803.74	11	L262	Nueva
	V-27	50	776.12	12	L288	Nueva
SECTOR 14	V-1	90	816	19	L460	Existente
SECTOR 15	V-25	63	824	15	L453	Nueva
SECTOR 16	V-8	110	828.18	*	L127	Existente
	V-9	63	830.14	*	L557	Existente
SECTOR 17	V-10	63	830.38	*	L154	Existente
	V-11	110	830.86	*	L405	Existente
	V-12	63	831.13	*	L559	Existente
	V-13	110	830.37	*	L415	Dañada
SECTOR 18	V-24	63	829.9	10	L245	Nueva
SECTOR 20	V-22	63	838.47	15	L228	Nueva
	V-23	50	835.46	15	L255	Nueva
* Sin consigna; Estado: completamente abierta, se encuentra dentro de área mallada.						
** Sin consigna, VRP se eliminará por cambio de tubería.						

Con la nueva sectorización y con el control de las sobrepresiones, el sistema presentó pérdidas unitarias elevadas (>15 m/km). La recirculación del caudal en la sectorización provocó que se formen cuellos de botella en ciertos sectores, por lo que fue necesario el cambio de ciertos tramos de tuberías, estos cambios de tuberías serán considerados en la valoración económica del capítulo 6.

En la tabla 55 se indica un resumen de las tuberías que van a ser sustituidas, los conductos con mayor porcentaje de cambio son las tuberías de diámetro 63 mm, que

representan el 76 %, y serán sustituidas por diámetros de 90 mm. La longitud total de tubería cambiada es de 1,901.81 m.

**Tabla 55.** Resumen de tuberías remplazadas.

<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
63 mm	312.57	16%
90 mm	1,449.96	76%
110 mm	116.46	6%
160 mm	22.80	1%
<b>Total</b>	<b>1,901.81</b>	<b>100%</b>

En la tabla 56 se muestra el listado de las tuberías que fueron reemplazadas con sus respectivas características principales, se reemplazó un total de 25 tramos. Luego de realizar estos reemplazos en la red, el sistema presenta pérdidas unitarias dentro del rango aceptable, menores al 15 m/km. Para lograr corregir todos estos problemas, fue necesario realizar ciertas iteraciones en el cambio de tuberías.

**Tabla 56.** Tuberías sustituidas.

<b>EPANET ID línea</b>	<b>Longitud m</b>	<b>Diámetro mm</b>	<b>Nuevo Diámetro</b>	
			<b>D int (mm)</b>	<b>DN (mm)</b>
<b>PRIMERA ITERACIÓN</b>				
Tubería L321	116.46	58	101.6	110
Tubería L493	2.02	58	83	90
Tubería L712	41.26	58	83	90
Tubería L104	22.80	101.6	147.6	160
Tubería L772	94.95	58	83	90
Tubería L638	4.06	58	83	90
Tubería L322	84.41	58	83	90
Tubería L659	2.02	58	83	90
Tubería L888	312.57	36.2	58	63
Tubería L172	8.31	58	83	90
Tubería L864	98.60	58	83	90
Tubería L594	122.66	58	83	90
<b>SEGUNDA ITERACIÓN</b>				
Tubería L65	103.74	58	83	90
Tubería L175	23.10	58	83	90
Tubería L771	52.52	58	83	90
Tubería L752	16.28	58	83	90
Tubería L174	17.60	58	83	90
Tubería L741	63.82	58	83	90
Tubería L12	102.95	58	83	90
Tubería L66	99.32	58	83	90
<b>TERCERA ITERACIÓN</b>				
Tubería L773	103.03	58	83	90
Tubería L753	50.54	58	83	90
Tubería L731	99.96	58	83	90
Tubería L843	225.81	58	83	90
Tubería L843b	33.00	58	83	90

### 5.3 CONTROL ACTIVO DE FUGAS (CAF).

El control activo de fugas 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.” Thornton, J., Sturm, R. y Kunkel, G (2008) citada en (GIZ & VAG, 2011).

Es importante anotar que el caudal fugado varía dependiendo del tipo de fuga, las fugas se pueden clasificar en tres tipos:

- **Fugas de fondo:** son pérdidas muy pequeñas e indetectables.
- **Fugas comunicadas:** son fugas visibles en la superficie.
- **Fugas no comunicadas:** son fugas ocultas, no afloran en la superficie; se necesita un equipo especial para poder detectarlas.

El mayor volumen de agua fugada se produce por las fugas no comunicadas, ya que, al encontrarse ocultas, sus pérdidas permanecen constantes. La implementación del CAF es importante para poder atacar este tipo de fugas.

El proceso del CAF comprende de 4 etapas:

- Detectar la existencia de una fuga.
- Localizarla con precisión.
- Confirmarla visualmente con la apertura de la zanja.
- Repararla (Gómez, 2015).

Una vez detectada y reparada la fuga, es recomendable que la empresa municipal EPMAPA-S lleve un historial de todos estos sucesos, lo cual a futuro les permitirá gestionar de mejor manera la red.

Cabe indicar que la implementación de un CAF conlleva una inversión económica para la empresa, pero como resultado se tendrá una mejor gestión de las fugas y un mejor rendimiento del sistema.

#### 5.3.1 MÉTODOS DE DETECCIÓN DE FUGAS.

Se puede interpretar que existe una fuga en el sistema, cuando hay un aumento repentino del caudal inyectado a la red, una baja de presión en la hora de mínimo consumo o mediante la manifestación de algún ruido en las tuberías.

Para la detección de fugas existen métodos acústicos y no acústicos, siendo los más comunes los primeros.

- **Métodos acústicos:** se basan en la identificación de ruidos para la localización de las fugas. Entre los equipos más usados se encuentran las “*varillas de escucha*” y “*geófonos*”, que son métodos sencillos y económicos, y por otro lado se tiene a los “*correladores acústicos*”, que son sistemas con un coste económico elevado, pero con rendimientos más altos.

- **Métodos no acústicos:** estos métodos son aplicables cuando el ruido no produce un sonido perceptible. Entre los métodos se encuentra el “*gas rastreo*” y “*transitorios hidráulicos*”. Estos métodos son complejos y requieren de personal muy capacitado.

A continuación, se describirán los dos métodos acústicos más utilizados para detección de fugas.

### 5.3.1.1 GEÓFONO.

El geófono es un equipo que consta de: un módulo de control y amplificación, un micrófono y auriculares. El micrófono de pie es de tipo campana, lo cual ayuda a aislar el entorno evitando la contaminación acústica.

La manera de trabajar del geófono consiste en identificar el ruido ampliándolo por el micrófono. La localización de fugas mediante el geófono se vuelve más preciso y confiable, cuanto mayor experiencia y experticia vaya desarrollando el operador.

El geofonamiento se vuelve más efectivo mientras más presión tenga la red, por lo que este tipo de trabajos se realiza en horas nocturnas. En la figura 82 se muestra el equipo de geofonamiento y su forma de trabajo.



Figura 82. Equipo de geofonamiento (PCE Iberica S.L., 2020).

### 5.3.1.2 CORRELADOR ACÚSTICO.

Los correladores son equipos electrónicos que sirven para localizar fugas (ver figura 83), el correlador acústico está compuesto por:

- **Unidad central:** tiene la función de ampliación, control y tratamientos de datos.
- **Sensores:** consta de dos o más sensores que captan la señal y lo envían a la unidad central, estos datos son procesados mediante un software especializado.

Entre las ventajas más importantes de este dispositivo, está su funcionamiento, el cual no está condicionado por el tipo de suelo, ni por la profundidad de la tubería.



Figura 83. Correlador acústico. (sebaKMT, 2020).

## 5.4 RESULTADOS LUEGO DE LAS MEJORAS.

Luego de realizado las mejoras en el sistema, tanto en la sectorización como en la gestión de fugas, se procederá a realizar el análisis de los resultados obtenidos.

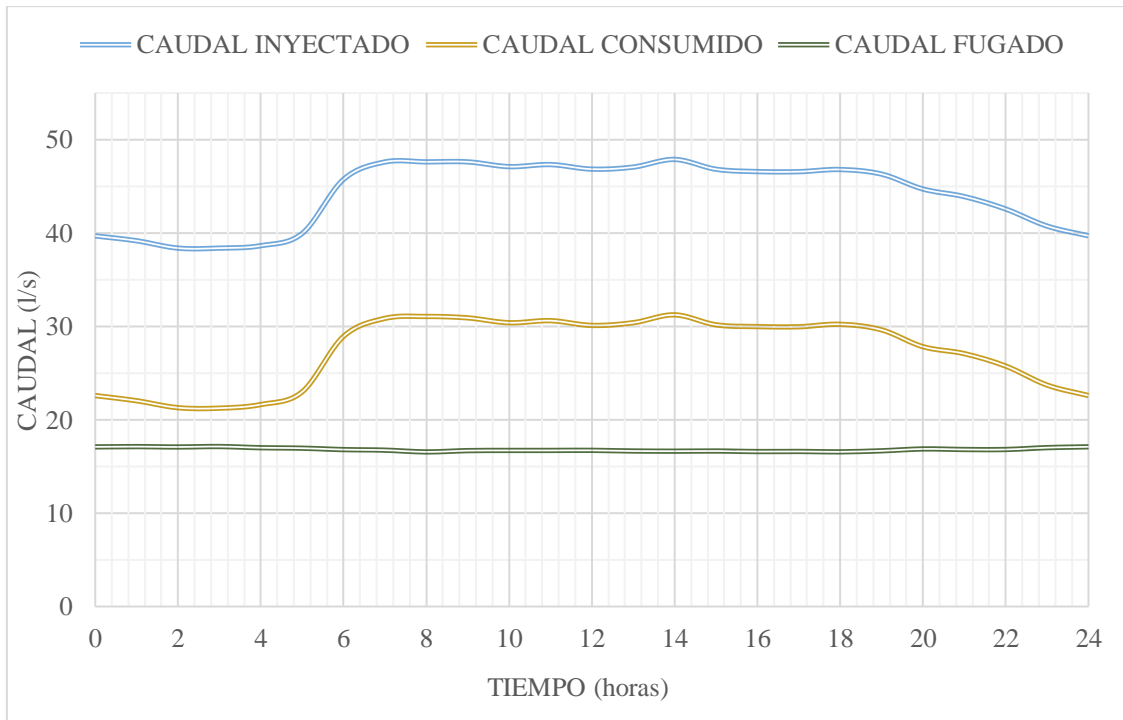
### 5.4.1 BALANCE HÍDRICO TÉCNICO.

El sistema presenta una disminución del caudal inyectado en la red luego de realizar la sectorización y la gestión de la presión con la instalación de VRP. La reducción de caudal es de 6.31 l/s que equivale a **198,911.74 m<sup>3</sup>/año** de agua fugada. El valor del caudal registrado y el caudal incontrolado consumido se mantienen inalterables, ya que se está analizando para el mismo periodo (diciembre 2014). El porcentaje de agua fugada se redujo de 45.64 % a 37.90 % (ver tabla 57).

Tabla 57. Comparación del balance hídrico técnico, sin gestión (actual) y con gestión de presiones.

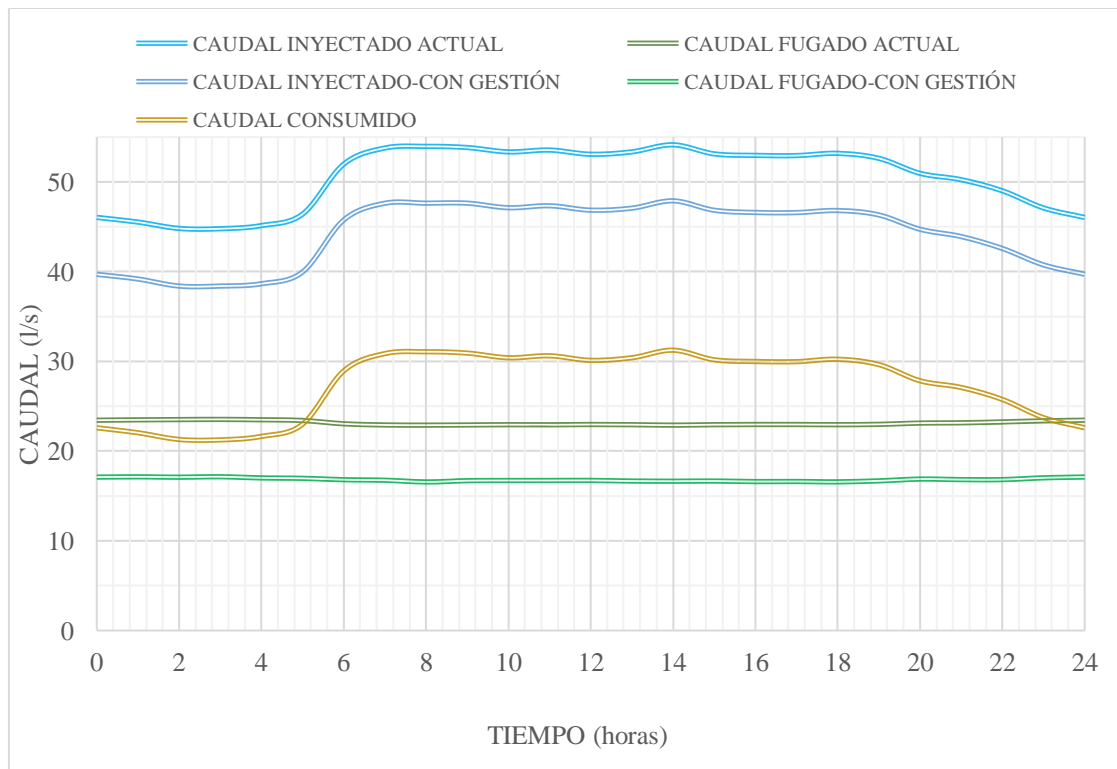
Descripción	Caudal	SIN GESTIÓN DE PRESIONES		CON GESTIÓN DE PRESIONES	
		Valor	Unidad	Valor	Unidad
Caudal Inyectado.	Q	50.66	l/s	44.35	l/s
Caudal Registrado.	Q <sub>r</sub>	24.35	l/s	24.35	l/s
Caudal Incontrolado.	Q <sub>i</sub>	26.31	l/s	20.00	l/s
Caudal incontrolado consumido.	Q <sub>ic</sub>	3.19	l/s	3.19	l/s
Caudal incontrolado consumido y no medido por carencia de contador.	Q <sub>icc</sub>	1.36	l/s	1.36	l/s
Caudal incontrolado consumido y no registrado por error de medida.	Q <sub>ice</sub>	1.83	l/s	1.83	l/s
Caudal incontrolado fugado.	Q <sub>if</sub>	23.12	l/s	16.81	l/s
<b>% agua fugada</b>		<b>45.64</b>	<b>%</b>	<b>37.90</b>	<b>%</b>

En la figura 84 se muestra la evolución de los caudales durante 24 horas luego de realizar la gestión de las presiones.



**Figura 84.** Evolución de caudales con gestión de presiones.

En la figura 85 se observa la evolución de los caudales durante el día de los dos escenarios, se puede apreciar gráficamente que existe una disminución del caudal fugado y caudal inyectado al sistema. El caudal consumido se mantiene constante en los dos escenarios, ya que el análisis se realizó en el mismo periodo de tiempo.



**Figura 85.** Comparación de caudales luego de la gestión de presiones.

### 5.4.2 RENDIMIENTO DEL SISTEMA.

Luego de realizar la mejora en la gestión de presiones de la red, se consigue un rendimiento global del sistema ( $\eta_s$ ) de 54.9 %, si este valor, se confronta con el rendimiento obtenido en el sistema actual de 48.1 %, se logra un incremento de 6.8 % en el rendimiento global, además, si se utiliza la misma la calificación planteada en la tabla 42, el sistema pasa de una calificación “**Inaceptable**” a “**Malo**” (ver tabla 58).

**Tabla 58.** Resultados del rendimiento global del sistema luego de la gestión.

Descripción	Id	Sin gestión	Con gestión	Unidad
Caudal inyectado	a	50.66	44.35	l/s
Caudal consumido, autorizado y registrado	b	24.35	24.35	l/s
Caudal consumido, autorizado y no registrado	c	3.19	3.19	l/s
Caudal fugado	d= a-(b+c)	23.12	16.81	l/s
% fugas	f=d/a	45.64	37.90	%
Rendimiento global del sistema	$\eta_s=b/a$	48.1	54.9	%
<b>Valoración del rendimiento</b>		<b>Inaceptable</b>	<b>Malo</b>	

En la tabla 59 se realiza la comparación de los rendimientos volumétricos del sistema en los dos escenarios. Estos rendimientos al estar relacionados con valores de caudales instantáneos pueden ser variables a corto tiempo, para este caso de estudio, fue posible la comparación porque ambos escenarios analizados se encuentran en el mismo periodo de tiempo.

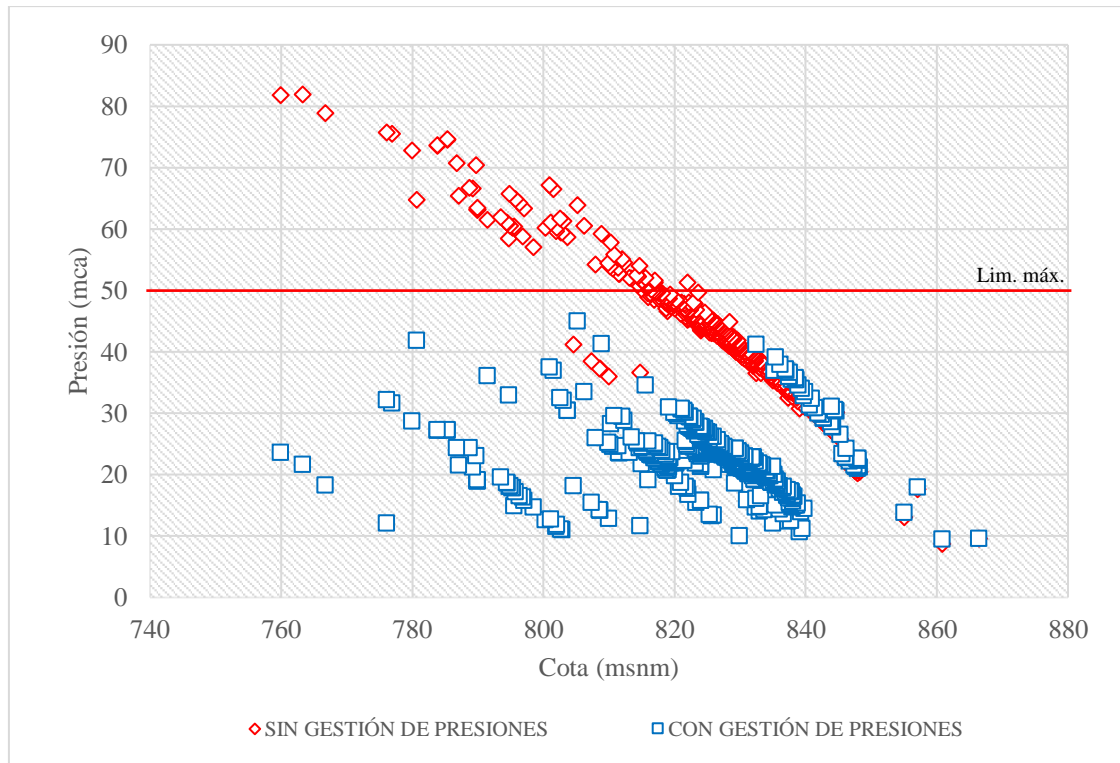
El rendimiento de la red ( $\eta_r$ ) cuantifica su modo de operación y su estado físico, mientras que el rendimiento de la medición ( $\eta_m$ ) representa hasta donde se registra el caudal suministrado a los abonados, por lo tanto, el rendimiento global del sistema ( $\eta_s$ ) representa la síntesis del abastecimiento como conjunto (Cabrera et al., 1999). El rendimiento de la red ( $\eta_r$ ) tiene un incremento de **7.7 %**, luego de la gestión de presiones (ver tabla 59).

**Tabla 59.** Comparación de rendimientos volumétricos del sistema.

Descripción	Id	Sin gestión	Con gestión	Unidad
Rendimiento global del sistema.	$\eta_s = Q_r/Q$	48.1	54.9	%
Rendimiento de la red.	$\eta_r = Q_s/Q$	54.4	62.1	%
Rendimiento de medición.	$\eta_m = Q_r/Q_s$	88.4	88.4	%
$Q_s = Q_r + Q_{ic} = Q - Q_{if}$				

### 5.4.3 EVALUACIÓN DE PRESIONES.

En la figura 86 se muestra la dispersión de presiones medias en el sistema, se puede ver que las presiones sin gestión tienen valores elevados (color rojo), mientras que las presiones luego de la presión se mantienen en rangos aceptables (color azul). El valor de la presión media sin gestión es de 43.28 mca y luego de la gestión se reduce a **23.16 mca**.



**Figura 86.** Dispersión de presiones en los dos escenarios.

#### 5.4.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA.

En la tabla 60 se muestra los volúmenes y costos anuales del sistema luego de la gestión de las presiones, para el análisis se utilizará el costo de **0.30 \$/m<sup>3</sup>**, que es el valor actual dispuesto por la empresa de abastecimiento. En la figura 87 se representa los costos anuales del agua tras la gestión.

**Tabla 60.** Volúmenes y costes anuales de agua con gestión de presiones.

Descripción	Volúmenes		Costes	
Volumen Inyectado	3,831.84	m3/día	1,149.55	\$/día
	118,787.04	m3/mes	35,636.11	\$/mes
	1,398,621.60	m3/año	419,586.48	\$/año
Volumen autorizado Registrado	2,103.96	m3/día	631.19	\$/día
	65,223.00	m3/mes	19,566.90	\$/mes
	767,945.75	m3/año	230,383.73	\$/año
Volumen autorizado no Registrado	275.62	m3/día	82.68	\$/día
	8,544.10	m3/mes	2,563.23	\$/mes
	100,599.84	m3/año	30,179.95	\$/año
Volumen Fugado	1,452.38	m3/día	435.72	\$/día
	45,023.90	m3/mes	13,507.17	\$/mes
	530,120.16	m3/año	159,036.05	\$/año

Nota: volúmenes referentes a diciembre 2014



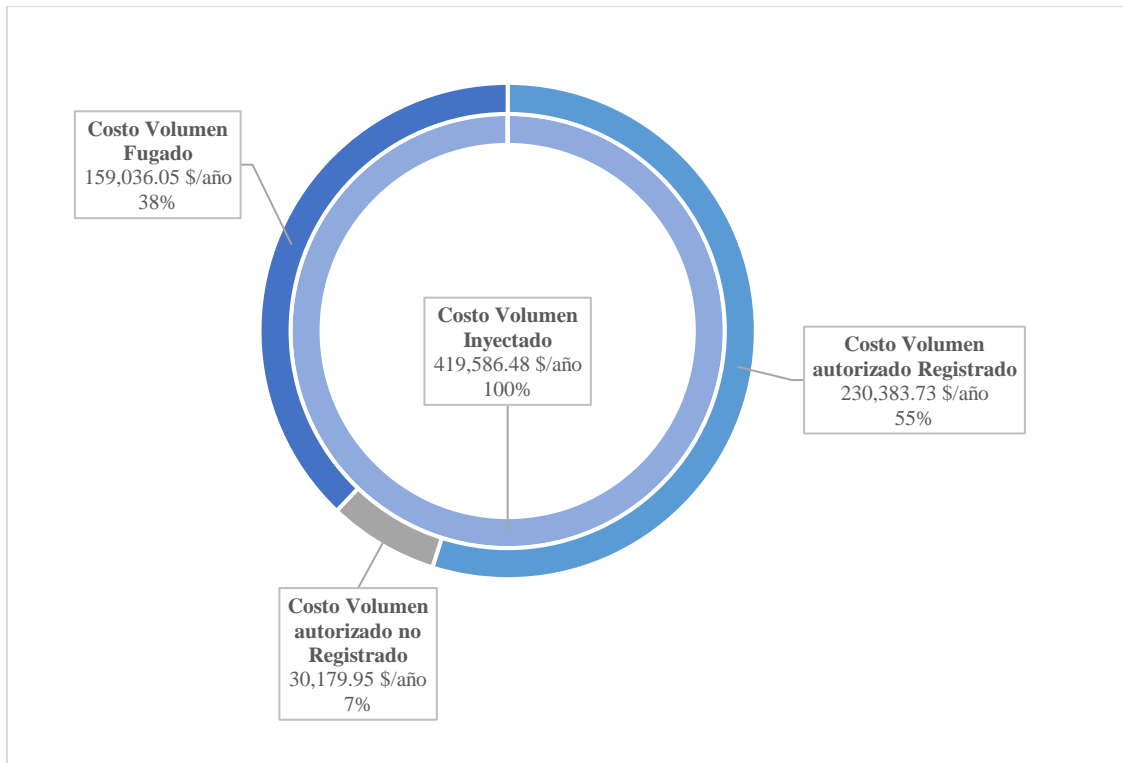


Figura 87. Costos anuales del agua con gestión de presión.

En la figura 88 y la figura 89 se visualiza la diferencia de volúmenes y costos que presenta el sistema en los dos escenarios de análisis, sin gestión (actual) y con gestión, además, se representa el ahorro que se obtiene tanto de volumen como de costos.

Luego de la gestión de las presiones se logra un ahorro del volumen fugado anual de **198,992.16 m<sup>3</sup>**, lo cual representa un ahorro económico anual para la empresa municipal EPMAPA-S de **59,697.65 \$**.

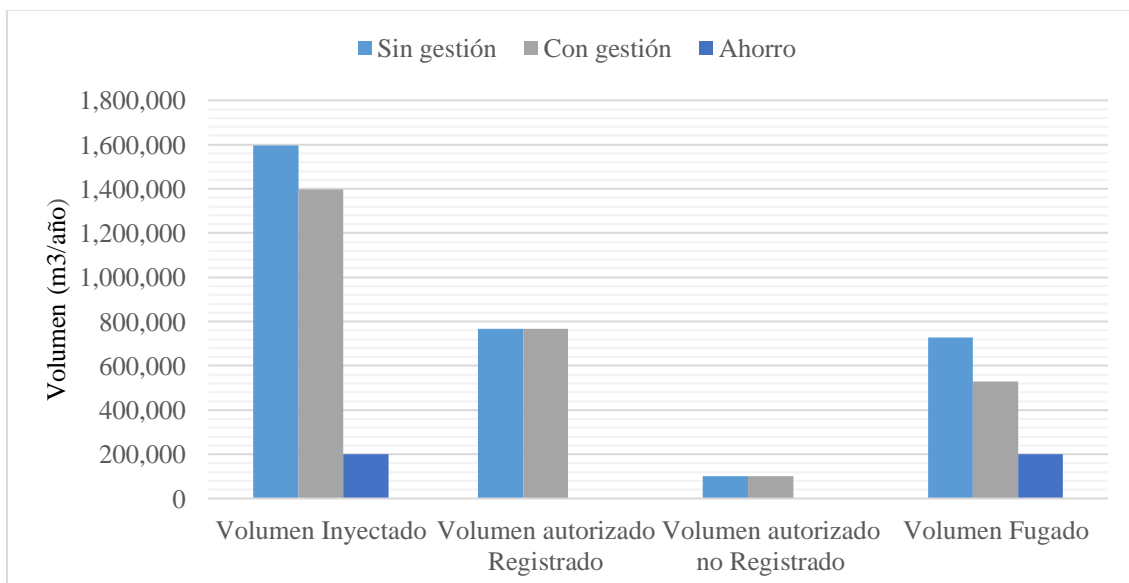
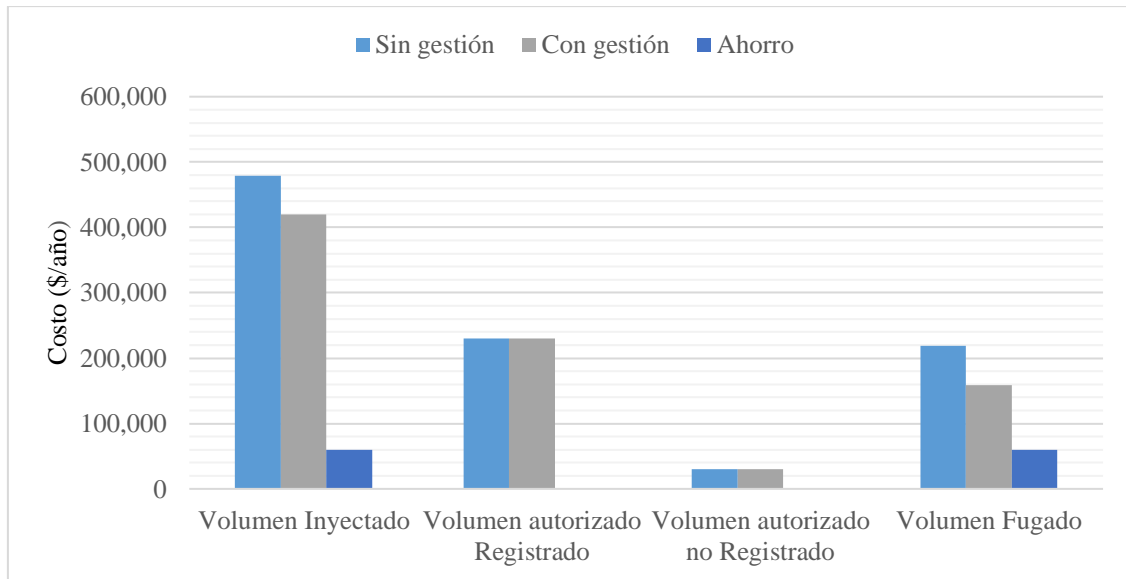


Figura 88. Análisis de los volúmenes de agua en los dos escenarios.



**Figura 89.** Análisis de los costos de agua en los dos escenarios.



# **CAPÍTULO 6**

## **VALORACIÓN ECONÓMICA**

## 6 VALORACIÓN ECONÓMICA.

**Tabla 61.** Presupuesto referencial para la sectorización y gestión de presiones de la red de distribución.

### SECTORIZACIÓN Y GESTIÓN DE PRESIONES DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL CANTÓN SUCÚA

**Entidad:** EPMAPA-S

**Ubicación:** SUCÚA - MORONA SANTIAGO

**Fecha:** Enero 2020

PRESUPUESTO REFERENCIAL					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
<b>1</b>	<b>SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN</b>				<b>78,047.45</b>
<b>1.01</b>	<b>CAMBIO DE TUBERÍAS</b>				<b>41,995.70</b>
1.01.01	Excavación mecánica en suelo sin clasificar de 0 a 2 m de profundidad,	m3	910.71	2.86	2,606.45
1.01.02	Excavación a mano en Suelo sin clasificar, Profundidad entre 0 y 2 m	m3	47.93	11.45	548.70
1.01.03	Suministro y colocación de cama de arena - e=5 cm	m2	955.46	1.09	1,037.92
1.01.04	Acostillado de tubería con material de mejoramiento	m3	216.32	12.09	2,614.82
1.01.05	Relleno mecánico compactado con material de sitio	m3	437.35	5.80	2,538.49
1.01.06	Relleno mecánico compactado con material de reposición - Base Clase 1	m3	237.00	21.67	5,136.70
1.01.07	Desalojo de material (Cargado a máquina + Transporte de material hasta 5km)	m3	521.29	2.98	1,554.49
1.01.08	Sum e Inst. Tubería PVC E/C 0,80 MPA D=160 mm	m	22.80	8.62	196.44
1.01.09	Sum e Inst. Tubería PVC E/C 0,80 MPA D=110 mm	m	116.46	5.06	589.14
1.01.10	Sum e Inst. Tubería PVC E/C 0,80 MPA D=90 mm	m	1,449.96	3.13	4,539.97
1.01.11	Sum e Inst. Tubería PVC E/C 0,80 MPA D=63 mm	m	312.57	1.87	585.88
1.01.12	Rotura de calzada de asfalto, espesor 4"	m2	317.00	5.37	1,701.53
1.01.13	Reposición de calzada asfalto	m3	31.70	216.49	6,862.83
1.01.14	Remoción de calzada de Adoquín	m2	954.00	2.67	2,547.18
1.01.15	Reposición de calzada de Adoquín	m2	954.00	9.37	8,935.16
<b>1.02</b>	<b>SECTORIZACIÓN Y GESTIÓN DE PRESIÓN</b>				<b>36,051.75</b>
1.02.01	Excavación a mano en Suelo sin clasificar, Profundidad entre 0 y 2 m	m3	16.20	13.24	214.45
1.02.02	Excavación mecánica en suelo sin clasificar de 0 a 2 m de profundidad,	m3	54.00	3.81	205.89
1.02.03	Relleno manual compactado con material de mejoramiento	m3	53.20	21.49	1,143.36
1.02.04	Replanteo de Piedra, e=15 cm	m2	26.46	7.47	197.54
1.02.05	Hormigón Simple 180 kg/cm2	m3	1.32	175.39	232.05
1.02.06	Sum e Inst. Tubo HS D=600 mm	m	75.60	68.97	5,214.09
1.02.07	Sum, Colocación Tapa y cerco de Hierro Fundido D=600mm	u	54.00	154.68	8,352.75
1.02.08	Desalojo de material (Cargado a máquina + Transporte de material hasta 5km)	m3	84.24	2.98	251.20
1.02.09	Rotura de calzada de asfalto, espesor 4"	m2	21.60	5.37	115.94
1.02.10	Reposición de calzada asfalto	m3	2.16	216.49	467.63
1.02.11	Remoción de calzada de Adoquín	m2	46.65	8.25	385.04
1.02.12	Reposición de calzada de Adoquín	m2	30.13	9.50	286.23
1.02.13	Hormigón Simple 210 Kg/cm2	m3	1.19	257.51	306.43
1.02.14	Sum e Inst. Válvula HF D=50 mm	u	2.00	68.53	137.06
1.02.15	Sum e Inst. Válvula HF D=63 mm	u	33.00	122.76	4,051.16
1.02.16	Sum e Inst. Válvula HF D=90 mm	u	2.00	172.89	345.78
1.02.17	Sum e Inst. Válvula HF D=110 mm	u	9.00	244.73	2,202.58
1.02.18	Sum, Unión de reparación PVC U/E D=50 mm	u	4.00	8.81	35.23
1.02.19	Sum, Unión de reparación PVC U/E D=63 mm	u	66.00	11.21	739.73
1.02.20	Sum, Unión de reparación PVC U/E D=90 mm	u	4.00	17.40	69.60
1.02.21	Sum, Unión de reparación PVC U/E D=110 mm	u	18.00	18.80	338.47
1.02.22	Sum e Inst. Válvula reductora de presión D=50 mm (incl. Accesorios)	u	2.00	1,120.51	2,241.02
1.02.23	Sum e Inst. Válvula reductora de presión D=63 mm (incl. Accesorios)	u	4.00	1,156.41	4,625.64
1.02.24	Sum e Inst. Válvula reductora de presión D=110 mm (incl. Accesorios)	u	2.00	1,946.44	3,892.88
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>78,047.45</b>
	<b>IVA</b>			12%	<b>9,365.69</b>
	<b>TOTAL</b>				<b>87,413.14</b>

Son: OCHENTA Y SIETE MIL CUATROCIENTOS TRECE DÓLARES CON CATORCE CENTAVOS.



En la tabla 61 se presenta el presupuesto agrupado por rubros para la sectorización y gestión de presiones de la red de distribución del cantón Sucúa, el monto asciende a **87,413.14 \$**. Si este valor se compara con el ahorro del volumen de agua fugada, que representa un valor económico de **59,697.65 \$**, la empresa de agua podría recuperar la inversión en menos de dos años.

# **CAPÍTULO 7**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 7.1 CONCLUSIONES.

Una vez concluido el presente trabajo, se ha logrado elaborar el modelo matemático de la red de distribución de agua potable del cantón Sucúa, con la ayuda del software Epanet, el cual permitió realizar el diagnóstico del estado actual del sistema, identificar los principales problemas de la red y posteriormente realizar propuestas de mejoras.

La calibración del modelo matemático se realizó en dos fases; la fase I propuso un *ajuste diario*, mediante la estimación de un valor del coeficiente global de los emisores y la fase II formula el *ajuste horario*, mediante el ajuste del patrón de variación temporal de la demanda.

Se ha realizado el balance hídrico técnico del sistema, el cual permitió efectuar el análisis de los rendimientos volumétricos del sistema. El rendimiento global actual obtenido en el sistema es de 48.1 %, el cual obedece a una calificación de *Inacceptable*, luego de las mejoras propuestas en la red, el rendimiento global alcanza un valor de 54.9 %, pasando a una calificación de *Mala*.

El principal problema que presenta la red en su estado actual son las sobrepresiones, las cuales superan los límites permisibles por la normativa nacional. Luego de realizar la gestión de las presiones en la red mediante la instalación de válvulas reductoras de presión, el valor de la presión media se redujo de 43.28 mca a 23.16 mca.

Se ha elaborado el modelo matemático de la red de distribución de la parroquia Santa Marianita de Jesús y se ha unificado con el modelo matemático de la red de Sucúa. Los parámetros hidráulicos analizados con la unificación fueron las presiones y caudales, este análisis ha permitido concluir que la unificación no representa un beneficio para el sistema de Sucúa, ya que solo acrecentó el gran problema de fugas que tiene la red por el aumento de presiones en la zona de unión. Por lo antes expuesto se recomienda que los sistemas funcionen de manera separada, como fueron concebidos en su diseño original.

Se ha realizado la nueva sectorización de la red mediante la instalación de nuevas válvulas de corte. Para la sectorización propuesta, se ha procurado respetar el trazado actual y dar uso a los accesorios existentes (que estuvieran en buen estado), esto con el afán de no encarecer el presupuesto para su implementación. La nueva sectorización cuenta con 146 válvulas, de las cuales 100 son existentes y 46 son nuevas, además, se ha incluido en la sectorización tres nuevos sectores: barrio Progreso, barrio la Cruz y urbanización Pazan-Medina.

Luego de realizar la gestión del sistema, el volumen de agua inyectada en la red disminuye, debido a la reducción del volumen fugado. La cantidad de agua fugada se reduce de 23.12 l/s a 16.81 l/s, con esta reducción se ha logrado un ahorro del volumen fugado anual de 198,992.16 m<sup>3</sup>, lo cual representa un ahorro económico para la empresa municipal de **59,697.65 \$/anual**.

El costo económico de todas las medidas adoptadas para el mejoramiento del sistema, en las cuales constan el cambio de tuberías, instalación de válvulas reductoras de presión y válvulas de corte, asciende a **87,413.14 \$**, si este valor se compara con el ahorro

económico anual que produce la disminución del volumen de agua fugada, la empresa podría recuperar la inversión en menos de dos años.

Finalmente, se concluye que las propuestas de mejoras planteadas en el presente trabajo para optimizar la eficiencia del sistema de agua potable del cantón Sucúa son factibles, necesarias y rentables para la empresa pública EPMAPA-S.

## 7.2 RECOMENDACIONES.

Luego de haber realizado el análisis, diagnóstico y propuesta de mejora del sistema de distribución de agua potable del cantón Sucúa se puede recomendar lo siguiente:

- La implementación de un programa de Control Activo de Fugas (CAF) ayudaría a reducir el porcentaje de agua fugada y lograría una mejor eficiencia del sistema. El costo que representaría para la empresa implementar el programa, sería menor en comparación con los beneficios que esta lograría, ya que el rendimiento del sistema podría alcanzar el 80 % o superior.
- Dada la sub-medición que presenta los micromedidores instalados en el sistema, se sugiere considerar un programa de cambio de medidores de una manera progresiva.
- Es necesario la instalación de medidores de caudal (macromedidores) al ingreso y salida de la planta de tratamiento, de igual forma, al ingreso y salida de los tanques de reserva, y en los ingresos a la red de los sectores principales.
- Una vez implementado lo antes expuesto, es ineludible llevar los registros de las lecturas de los macromedidores, así como los reportes de las reparaciones realizadas en la red, estos registros se convierten en información primordial a la hora de realizar análisis futuros en el sistema.





# **CAPÍTULO 8**

## **BIBLIOGRAFÍA**

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- AENOR. (2000). *Abastecimiento de agua. Especificaciones para redes exteriores a los edificios y sus componentes. Norma UNE-EN 805*. Madrid.
- Bartolín Ayala, H. J. (2013). *Confección de Modelos de Redes de Distribución de Agua desde un SIG y desarrollo de Herramientas de Apoyo a la Toma de Decisiones*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Bentley Systems, I. (2010). *Bentley WaterCAD V8i User's Guide*. USA.
- Bhave, P. R. (Febrero de 1988). Calibrating Water Distribution Network Models. *Journal of Environmental Engineer. ASCE*, 114(1), 120-136.
- Cabrera, E., Almandoz, J., Arregui, F., & García-Serra, J. (1999). Auditoría de redes de distribución de agua. *Ingeniería del Agua*, 6(4), 387-399.
- EPMAPA-S, E. P. (2019). Plano Base Redes de Agua Potable. Sucúa.
- ETAPA-EP. (2014). *Fortalecimiento institucional de la empresa de agua potable y alcantarillado EPMAPA-S*. Informe Técnico, Sucúa.
- FEMP; AEAS;. (2011). *Guía de Tarifas de los Servicios de Abastecimiento y Saneamiento de Agua*. Madrid.
- GADM-S. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Sucúa (PDOT)*. Informe Técnico, Sucúa.
- GADM-S. (2019). *Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Sucúa*. Obtenido de <https://www.sucua.gob.ec/ciudad/territorio-y-poblacion>
- GADM-S, G. A. (2010). *Sistema de agua potable para la parroquia Santa Marianita, barrio el Belén y Nuevo Israel*. Sucúa.
- GIZ, & VAG. (2011). *Guía para la reducción de las pérdidas de agua / Un enfoque en la gestión de la presión*. Eschborn.
- Gómez Martínez, P., Cubillo González, F., & Martín Carrasco, F. J. (2017). Methodology for efficiency assessment in sectorized water distribution networks. *Water Technology and Sciences*, 8(4), 57-77.
- Gómez, E. (abril de 2015). Pérdidas de Agua. *Curso de Posgrado Gestión técnica de abastecimientos de agua urbanos sostenibles. Instituto Tecnológico del Agua. Universidad Politécnica de Valencia*. España.
- Iglesias Rey, P. L., & Martínez Solano, F. J. (2012). *Análisis y diseño de redes de distribución de agua mediante Epanet 2 vE*. Valencia: Fluidos-UPV. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.

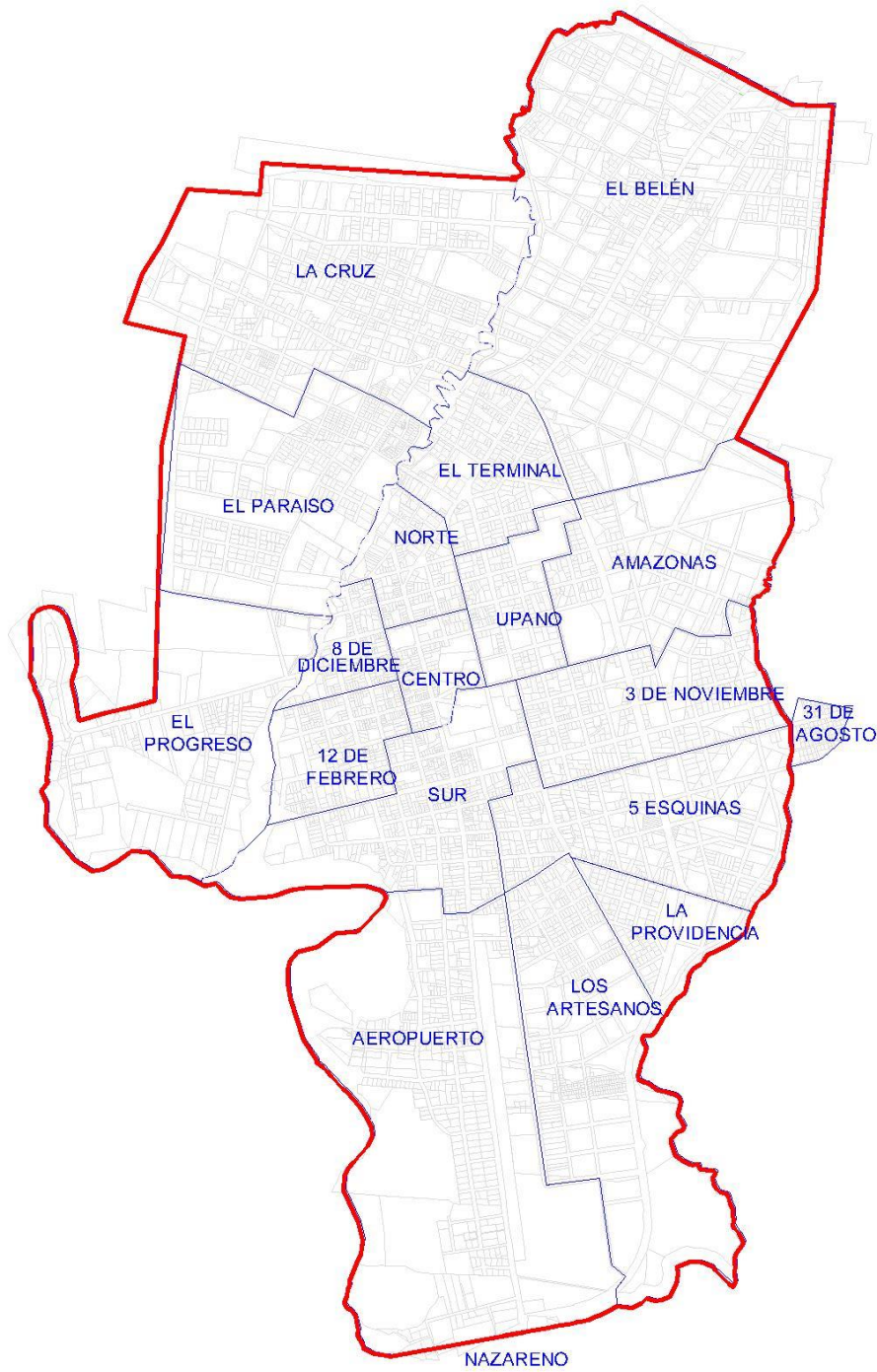
- IGM. (2019). *Instituto Geográfico Militar Ecuador*. Obtenido de <http://www.geoportaligm.gob.ec/visorIEE/composer/>
- INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. Obtenido de INEC: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>
- IWA, W. L. (2007). *Leak Location and Repair: Guidance Notes*.
- Lambert, A. O. (2000). What do we know about pressure: Leakage relationship in distribution systems? *IWA Conference 'System Approach to Leakage Control and Water Distribution Systems Management' in Brno*. Czech Republic.
- Martínez Solano, F. J. (2019). Calibración de modelos con fugas - Ajuste de la curva de modulación de un modelo con fugas. *Curso de Posgrado Análisis y modelación de redes de distribución de agua, Universidad Politécnica de Valencia*. España.
- Martínez Solano, F. J., Iglesias Rey, P., & Molina Arce, S. X. (2015). Calibración de modelos de redes de distribución de agua mediante la utilización conjunta de demandas y consumos dependientes de la presión. *IV Jornadas de Ingeniería del Agua - La precipitación y los procesos erosivos*, (págs. 841 - 850). Córdoba.
- PCE Iberica S.L. (Enero de 2020). *PCE Instruments*. Obtenido de <https://www.pce-instruments.com/espanol/>
- sebaKMT. (Enero de 2020). *sebaKTM portafolio de productos*. Obtenido de <https://www.sebakmt.com/es/la-cartera-de-productos.html>
- SENAGUA. (2015). *Código ecuatoriano para el diseño de la construcción de obras sanitarias - Norma CO 10.07-601 Abastecimiento de agua potable y eliminación de aguas residuales en el área urbana*.
- SENPLADES, S. N. (2014). *Ficha de cifras generales - Sucúa*. Obtenido de [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/FICHAS%20F/1406\\_SUCUA\\_MORONA%20SANTIAGO.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/FICHAS%20F/1406_SUCUA_MORONA%20SANTIAGO.pdf)
- Walski, T. M. (Abril de 1986). Case study: Pipe network model calibration issues, *Journal of Water Resources Planning and Manageme. ASCE*, 112(2), 238-249.
- Yáñez Vásquez, C. X. (2018). *Determinación de niveles de consumo y propuestas de sectorización de la red de distribución del sistema de agua potable de la ciudad de Sucúa, cantón Sucúa, provincia de Morona Santiago*. Tesis de Grado, Sucúa. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15438>

# **CAPÍTULO 9**

## **ANEXOS**

## 9 ANEXOS.

### 9.1 ANEXO 1. Barrios del cantón Sucúa.



## 9.2 ANEXO 2. Registro de macromedición.



**FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL DE LA EMPRESA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO EPMAPA-S**  
**AGUA NO CONTABILIZADA**  
**MEDICIÓN DE CAUDALES**

Nota: Salida Planta Antigua + Salida Planta Nueva

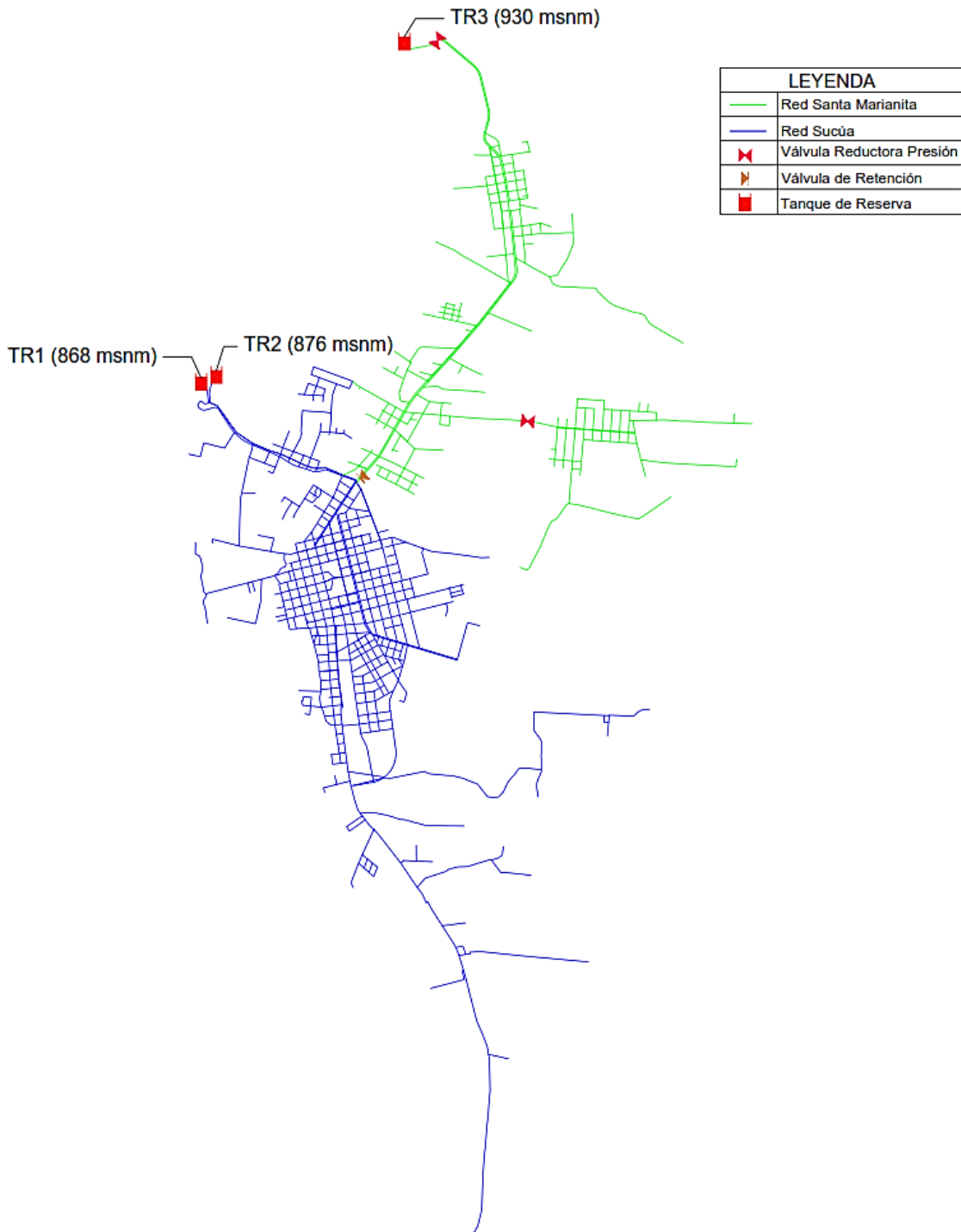
Hora	Q(l/s)	V(m3/10min)	Hora	Q(l/s)	V(m3/10min)	Hora	Q(l/s)	V(m3/10min)
28/01/2015 15:10	51.5	30.9	28/01/2015 22:10	48.56	29.14	29/01/2015 5:10	45.42	27.25
28/01/2015 15:20	51.74	31.04	28/01/2015 22:20	48.27	28.96	29/01/2015 5:20	45.69	27.41
28/01/2015 15:30	51.64	30.98	28/01/2015 22:30	48.86	29.32	29/01/2015 5:30	46.62	27.97
28/01/2015 15:40	51.72	31.03	28/01/2015 22:40	48.68	29.21	29/01/2015 5:40	46.56	27.94
28/01/2015 15:50	51.59	30.95	28/01/2015 22:50	48.15	28.89	29/01/2015 5:50	47.76	28.66
28/01/2015 16:00	51.47	30.88	28/01/2015 23:00	47.24	28.34	29/01/2015 6:00	48.43	29.06
28/01/2015 16:10	51.4	30.84	28/01/2015 23:10	47.09	28.25	29/01/2015 6:10	50.45	30.27
28/01/2015 16:20	52.07	31.24	28/01/2015 23:20	47.02	28.21	29/01/2015 6:20	52.46	31.48
28/01/2015 16:30	51.37	30.82	28/01/2015 23:30	46.39	27.83	29/01/2015 6:30	53.34	32
28/01/2015 16:40	52.05	31.23	28/01/2015 23:40	46.11	27.67	29/01/2015 6:40	53.93	32.36
28/01/2015 16:50	52.37	31.42	28/01/2015 23:50	45.5	27.3	29/01/2015 6:50	53.97	32.38
28/01/2015 17:00	51.45	30.87	29/01/2015 0:00	46.17	27.7	29/01/2015 7:00	53.42	32.05
28/01/2015 17:10	51.1	30.66	29/01/2015 0:10	46.06	27.64	29/01/2015 7:10	53.68	32.21
28/01/2015 17:20	51.88	31.13	29/01/2015 0:20	45.82	27.49	29/01/2015 7:20	52.95	31.77
28/01/2015 17:30	51.45	30.87	29/01/2015 0:30	45.69	27.41	29/01/2015 7:30	53.22	31.93
28/01/2015 17:40	52.09	31.25	29/01/2015 0:40	45.58	27.35	29/01/2015 7:40	53.39	32.03
28/01/2015 17:50	51.18	30.71	29/01/2015 0:50	45.63	27.38	29/01/2015 7:50	53	31.8
28/01/2015 18:00	51.35	30.81	29/01/2015 1:00	46.14	27.68	29/01/2015 8:00	52.89	31.73
28/01/2015 18:10	52.31	31.39	29/01/2015 1:10	45.24	27.14	29/01/2015 8:10	53.36	32.02
28/01/2015 18:20	51.46	30.88	29/01/2015 1:20	45.71	27.43	29/01/2015 8:20	52.89	31.73
28/01/2015 18:30	51.6	30.96	29/01/2015 1:30	45.74	27.44	29/01/2015 8:30	53.16	31.9
28/01/2015 18:40	51.3	30.78	29/01/2015 1:40	45.59	27.35	29/01/2015 8:40	53.47	32.08
28/01/2015 18:50	52.62	31.57	29/01/2015 1:50	45.02	27.01	29/01/2015 8:50	53.19	31.91
28/01/2015 19:00	51.92	31.15	29/01/2015 2:00	44.66	26.8	29/01/2015 9:00	53.17	31.9
28/01/2015 19:10	52.19	31.31	29/01/2015 2:10	44.08	26.45	29/01/2015 9:10	53.62	32.17
28/01/2015 19:20	52.26	31.36	29/01/2015 2:20	44.32	26.59	29/01/2015 9:20	54.22	32.53
28/01/2015 19:30	50.95	30.57	29/01/2015 2:30	44.99	26.99	29/01/2015 9:30	53.54	32.12
28/01/2015 19:40	50.78	30.47	29/01/2015 2:40	44.8	26.88	29/01/2015 9:40	53.65	32.19
28/01/2015 19:50	51	30.6	29/01/2015 2:50	44.7	26.82	29/01/2015 9:50	52.75	31.65
28/01/2015 20:00	50.61	30.37	29/01/2015 3:00	44.93	26.96	29/01/2015 10:00	53.13	31.88
28/01/2015 20:10	50.43	30.26	29/01/2015 3:10	45.04	27.02	29/01/2015 10:10	53.23	31.94
28/01/2015 20:20	50.72	30.43	29/01/2015 3:20	44.67	26.8	29/01/2015 10:20	53.3	31.98
28/01/2015 20:30	50.26	30.16	29/01/2015 3:30	44.49	26.69	29/01/2015 10:30	53.68	32.21
28/01/2015 20:40	50.53	30.32	29/01/2015 3:40	44.5	26.7	29/01/2015 10:40	53.99	32.39
28/01/2015 20:50	50.51	30.31	29/01/2015 3:50	44.63	26.78	29/01/2015 10:50	53.92	32.35
28/01/2015 21:00	51.04	30.62	29/01/2015 4:00	44.6	26.76	29/01/2015 11:00	53.25	31.95
28/01/2015 21:10	50.63	30.38	29/01/2015 4:10	45.15	27.09	29/01/2015 11:10	53.87	32.32
28/01/2015 21:20	50.81	30.49	29/01/2015 4:20	44.85	26.91	29/01/2015 11:20	54.26	32.56
28/01/2015 21:30	49.35	29.61	29/01/2015 4:30	44.92	26.95	29/01/2015 11:30	53.85	32.31
28/01/2015 21:40	49.32	29.59	29/01/2015 4:40	44.9	26.94	29/01/2015 11:40	52.92	31.75
28/01/2015 21:50	49.27	29.56	29/01/2015 4:50	44.76	26.86	29/01/2015 11:50	53.69	32.21
28/01/2015 22:00	48.97	29.38	29/01/2015 5:00	45.13	27.08	29/01/2015 12:00	57.89	34.73

Hora	Q(l/s)	V(m3/10min)	Hora	Q(l/s)	V(m3/10min)	Hora	Q(l/s)	V(m3/10min)
29/01/2015 12:10	53.69	32.21	29/01/2015 20:30	51.25	30.75	30/01/2015 4:50	45.73	27.44
29/01/2015 12:20	53.76	32.26	29/01/2015 20:40	50.26	30.16	30/01/2015 5:00	46.22	27.73
29/01/2015 12:30	53.83	32.3	29/01/2015 20:50	48.81	29.29	30/01/2015 5:10	46.43	27.86
29/01/2015 12:40	52.34	31.4	29/01/2015 21:00	51.08	30.65	30/01/2015 5:20	45.25	27.15
29/01/2015 12:50	52.76	31.66	29/01/2015 21:10	50.82	30.49	30/01/2015 5:30	47.66	28.6
29/01/2015 13:00	52.66	31.6	29/01/2015 21:20	50.57	30.34	30/01/2015 5:40	48.09	28.85
29/01/2015 13:10	52.43	31.46	29/01/2015 21:30	49.89	29.93	30/01/2015 5:50	48.27	28.96
29/01/2015 13:20	52.4	31.44	29/01/2015 21:40	50.22	30.13	30/01/2015 6:00	49.02	29.41
29/01/2015 13:30	52.56	31.54	29/01/2015 21:50	49.55	29.73	30/01/2015 6:10	50.33	30.2
29/01/2015 13:40	53.41	32.05	29/01/2015 22:00	49.75	29.85	30/01/2015 6:20	53.4	32.04
29/01/2015 13:50	53.98	32.39	29/01/2015 22:10	49.6	29.76	30/01/2015 6:30	54.5	32.7
29/01/2015 14:00	54.36	32.62	29/01/2015 22:20	49.66	29.8	30/01/2015 6:40	55.32	33.19
29/01/2015 14:10	54.84	32.9	29/01/2015 22:30	49.03	29.42	30/01/2015 6:50	54.95	32.97
29/01/2015 14:20	54.31	32.59	29/01/2015 22:40	48.22	28.93	30/01/2015 7:00	55.25	33.15
29/01/2015 14:30	54.85	32.91	29/01/2015 22:50	47.53	28.52	30/01/2015 7:10	54.3	32.58
29/01/2015 14:40	55.6	33.36	29/01/2015 23:00	47.86	28.72	30/01/2015 7:20	54.03	32.42
29/01/2015 14:50	52.92	31.75	29/01/2015 23:10	47.47	28.48	30/01/2015 7:30	54.39	32.63
29/01/2015 15:00	53.51	32.11	29/01/2015 23:20	46.95	28.17	30/01/2015 7:40	54.19	32.51
29/01/2015 15:10	54.36	32.62	29/01/2015 23:30	46.55	27.93	30/01/2015 7:50	53.44	32.06
29/01/2015 15:20	53.82	32.29	29/01/2015 23:40	46.56	27.94	30/01/2015 8:00	54.38	32.63
29/01/2015 15:30	53.2	31.92	29/01/2015 23:50	46.35	27.81	30/01/2015 8:10	54.52	32.71
29/01/2015 15:40	53.55	32.13	30/01/2015 0:00	46.04	27.62	30/01/2015 8:20	54.49	32.69
29/01/2015 15:50	53.2	31.92	30/01/2015 0:10	45.7	27.42	30/01/2015 8:30	54.6	32.76
29/01/2015 16:00	52.02	31.21	30/01/2015 0:20	45.67	27.4	30/01/2015 8:40	54.26	32.56
29/01/2015 16:10	53.22	31.93	30/01/2015 0:30	45.56	27.34	30/01/2015 8:50	54.44	32.66
29/01/2015 16:20	53.84	32.3	30/01/2015 0:40	45.21	27.13	30/01/2015 9:00	54.16	32.5
29/01/2015 16:30	53.39	32.03	30/01/2015 0:50	45.63	27.38	30/01/2015 9:10	54	32.4
29/01/2015 16:40	53.06	31.84	30/01/2015 1:00	46.23	27.74	30/01/2015 9:20	54.29	32.57
29/01/2015 16:50	52.99	31.79	30/01/2015 1:10	45.34	27.2	30/01/2015 9:30	53.73	32.24
29/01/2015 17:00	53.65	32.19	30/01/2015 1:20	45.22	27.13	30/01/2015 9:40	53.61	32.17
29/01/2015 17:10	53.27	31.96	30/01/2015 1:30	45.14	27.08	30/01/2015 9:50	52.85	31.71
29/01/2015 17:20	53.36	32.02	30/01/2015 1:40	44.85	26.91	30/01/2015 10:00	53.46	32.08
29/01/2015 17:30	52.9	31.74	30/01/2015 1:50	44.67	26.8	30/01/2015 10:10	53.42	32.05
29/01/2015 17:40	52.82	31.69	30/01/2015 2:00	45.57	27.34	30/01/2015 10:20	53.05	31.83
29/01/2015 17:50	52.92	31.75	30/01/2015 2:10	44.61	26.77	30/01/2015 10:30	53.89	32.33
29/01/2015 18:00	52.52	31.51	30/01/2015 2:20	45.1	27.06	30/01/2015 10:40	52.89	31.73
29/01/2015 18:10	53.87	32.32	30/01/2015 2:30	45.1	27.06	30/01/2015 10:50	52.2	31.32
29/01/2015 18:20	53.76	32.26	30/01/2015 2:40	45.04	27.02	30/01/2015 11:00	52.63	31.58
29/01/2015 18:30	53.93	32.36	30/01/2015 2:50	45.29	27.17	30/01/2015 11:10	53.85	32.31
29/01/2015 18:40	53.6	32.16	30/01/2015 3:00	45.2	27.12	30/01/2015 11:20	53.83	32.3
29/01/2015 18:50	53.86	32.32	30/01/2015 3:10	45.01	27.01	30/01/2015 11:30	52.95	31.77
29/01/2015 19:00	53.7	32.22	30/01/2015 3:20	45.11	27.07	30/01/2015 11:40	55.29	33.17
29/01/2015 19:10	53.74	32.24	30/01/2015 3:30	45.51	27.31	30/01/2015 11:50	52.21	31.33
29/01/2015 19:20	53.22	31.93	30/01/2015 3:40	45.6	27.36	30/01/2015 12:00	49.24	29.54
29/01/2015 19:30	53.84	32.3	30/01/2015 3:50	44.86	26.92	30/01/2015 12:10	52.91	31.75
29/01/2015 19:40	53.03	31.82	30/01/2015 4:00	45.42	27.25	30/01/2015 12:20	53.5	32.1
29/01/2015 19:50	52.81	31.69	30/01/2015 4:10	45.36	27.22	30/01/2015 12:30	52.12	31.27
29/01/2015 20:00	51.79	31.07	30/01/2015 4:20	45.18	27.11	30/01/2015 12:40	52.66	31.6
29/01/2015 20:10	52.29	31.37	30/01/2015 4:30	45.92	27.55	30/01/2015 12:50	52.25	31.35
29/01/2015 20:20	51.59	30.95	30/01/2015 4:40	45.54	27.32	30/01/2015 13:00	53.3	31.98

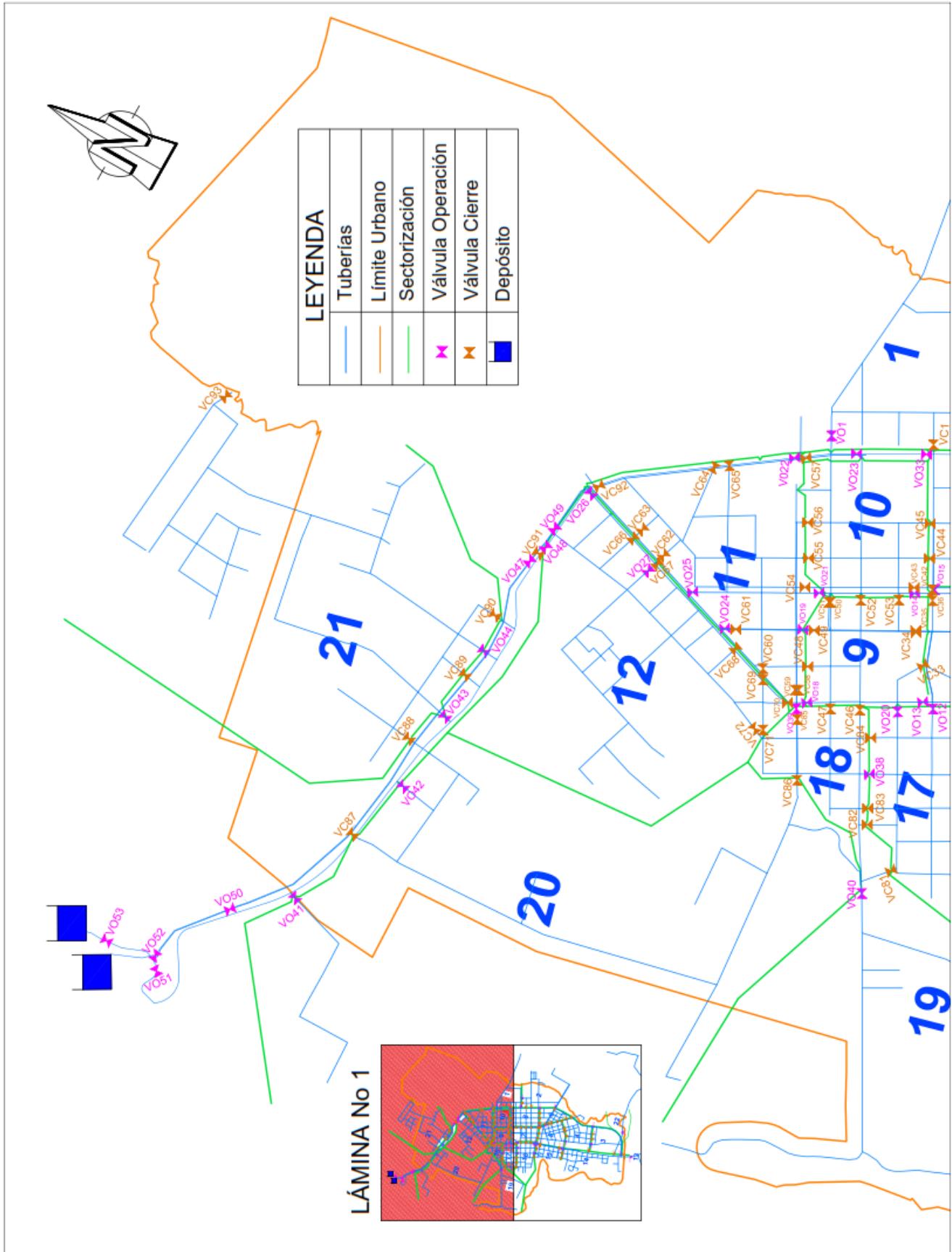




9.3 ANEXO 3. Configuración actual de las redes de distribución de Agua Potable de Sucúa y Santa Marianita de Jesús.



9.4 ANEXO 4. Sectorización del sistema de distribución del cantón Sucúa.



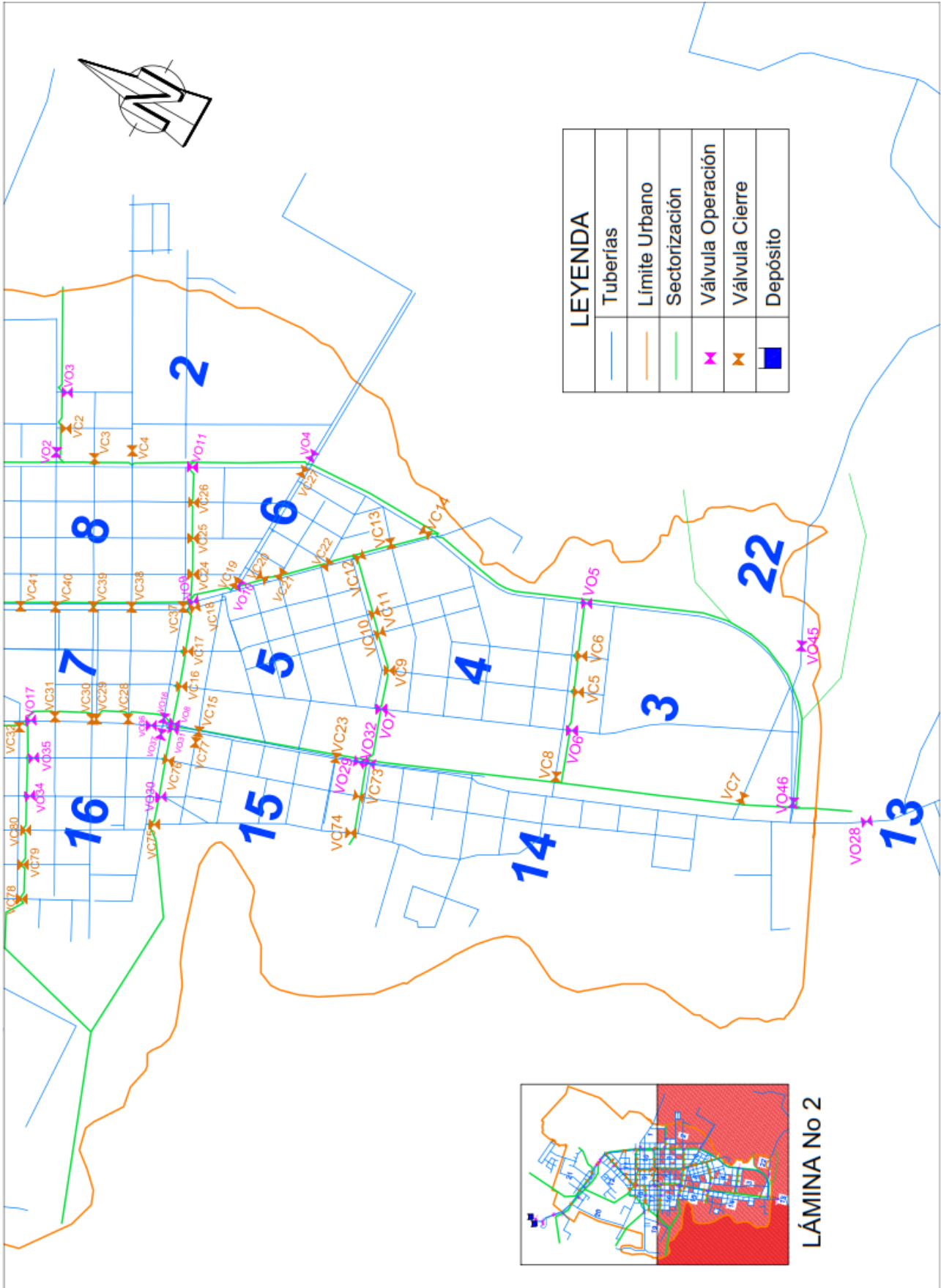


LÁMINA No 2

**9.5 ANEXO 5. Operación de las válvulas para la Sectorización.**

SECTORIZACIÓN SISTEMA SUCÚA					
UBICACIÓN	ID	DIÁMETRO (mm)	OPERACIÓN	OBSERVACIÓN	EPANET
SUBSECTOR 1	VC1	63	CERRADA	Existente	L156
	VC2	63	CERRADA	Nueva	L323
	VO1	63	ABIERTA	Existente	L691
	VO2	63	ABIERTA	Existente	L694
	VO3	63	ABIERTA	Existente	L703
SUBSECTOR 2	VC2	63	CERRADA	Existente	L323
	VC3	63	CERRADA	Existente	L164
	VC4	63	CERRADA	Existente	L700
	VC27	63	CERRADA	Nueva	L268
	VO3	63	ABIERTA	Existente	L703
SUBSECTOR 3	VO4	63	ABIERTA	Nueva	L267
	VC5	63	CERRADA	Existente	L43
	VC6	63	CERRADA	Existente	L25
	VC7	63	CERRADA	Nueva	L844
	VO5	63	ABIERTA	Existente	L52
SUBSECTOR 4	VO6	63	ABIERTA	Existente	L777
	VO46	63	ABIERTA	Existente	L843
	VC5	63	CERRADA	Existente	L43
	VC6	63	CERRADA	Existente	L25
	VC8	63	CERRADA	Nueva	L787
	VC9	63	CERRADA	Existente	L11
	VC10	63	CERRADA	Existente	L46
	VC11	63	CERRADA	Existente	L853
	VC12	63	CERRADA	Existente	L759
	VC13	63	CERRADA	Nueva	L33
	VC14	63	CERRADA	Existente	L54
SUBSECTOR 5	VO5	63	ABIERTA	Existente	L52
	VO6	63	ABIERTA	Existente	L777
	VO7	63	ABIERTA	Existente	L772
	VC9	63	CERRADA	Existente	L11
	VC10	63	CERRADA	Existente	L46
	VC11	63	CERRADA	Existente	L853
	VC12	63	CERRADA	Existente	L759
	VC15	63	CERRADA	Nueva	L178
	VC16	63	CERRADA	Existente	L732
	VC17	63	CERRADA	Existente	L736
	VC18	63	CERRADA	Existente	L136
	VC19	63	CERRADA	Nueva	L271
	VC20	63	CERRADA	Existente	L686
	VC21	63	CERRADA	Existente	L273
	VC22	63	CERRADA	Existente	L764
VC23	63	CERRADA	Nueva	L727	
VO7	63	ABIERTA	Existente	L772	
VO8	63	ABIERTA	Existente	L731	
VO9	63	ABIERTA	Existente	L321	
VO10	110	ABIERTA	Nueva	L445	

<b>SECTORIZACIÓN SISTEMA SUCÚA</b>					
<b>UBICACIÓN</b>	<b>ID</b>	<b>DIÁMETRO (mm)</b>	<b>OPERACIÓN</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>	<b>EPANET</b>
	VO32	63	ABIERTA	Existente	L299
SUBSECTOR 6	VC13	63	CERRADA	Nueva	L33
	VC22	63	CERRADA	Existente	L764
	VC21	63	CERRADA	Existente	L273
	VC20	63	CERRADA	Existente	L686
	VC19	63	CERRADA	Nueva	L271
	VC24	63	CERRADA	Nueva	L143
	VC25	63	CERRADA	Existente	L861
	VC26	63	CERRADA	Existente	L60
	VC27	63	CERRADA	Nueva	L268
	VO4	63	ABIERTA	Nueva	L267
	VO11	250	ABIERTA	Existente	L394
SUBSECTOR 7	VC16	63	CERRADA	Existente	L732
	VC17	63	CERRADA	Existente	L736
	VC18	63	CERRADA	Existente	L136
	VC28	63	CERRADA	Existente	L592
	VC29	63	CERRADA	Existente	L591
	VC30	63	CERRADA	Existente	L165
	VC31	63	CERRADA	Existente	L160
	VC32	110	CERRADA	Existente	L159
	VC33	63	CERRADA	Existente	L580
	VC34	63	CERRADA	Existente	L608
	VC35	110	CERRADA	Nueva	L421
	VC36	63	CERRADA	Existente	L578
	VO12	110	ABIERTA	Existente	L416
	VO13	110	ABIERTA	Nueva	L109
	VO14	110	ABIERTA	Nueva	L135
	VO15	110	ABIERTA	Existente	L432
	VO16	110	ABIERTA	Nueva	L594
VO17	110	ABIERTA	Existente	L88	
SUBSECTOR 8	VC24	63	CERRADA	Nueva	L143
	VC25	63	CERRADA	Existente	L861
	VC26	63	CERRADA	Existente	L60
	VC37	63	CERRADA	Nueva	L670
	VC38	110	CERRADA	Existente	L430
	VC39	63	CERRADA	Nueva	L663
	VC40	63	CERRADA	Nueva	L584
	VC41	63	CERRADA	Nueva	L661
	VC42	63	CERRADA	Existente	L579
	VC43	63	CERRADA	Nueva	L315
	VC44	63	CERRADA	Existente	L655
	VC45	63	CERRADA	Existente	L656
	VC1	63	CERRADA	Existente	L156
	VC3	63	CERRADA	Existente	L164
	VC4	63	CERRADA	Existente	L700
	VO2	63	ABIERTA	Existente	L694
	VO9	63	ABIERTA	Existente	L321
	VO11	250	ABIERTA	Existente	L394
	VO15	110	ABIERTA	Existente	L432

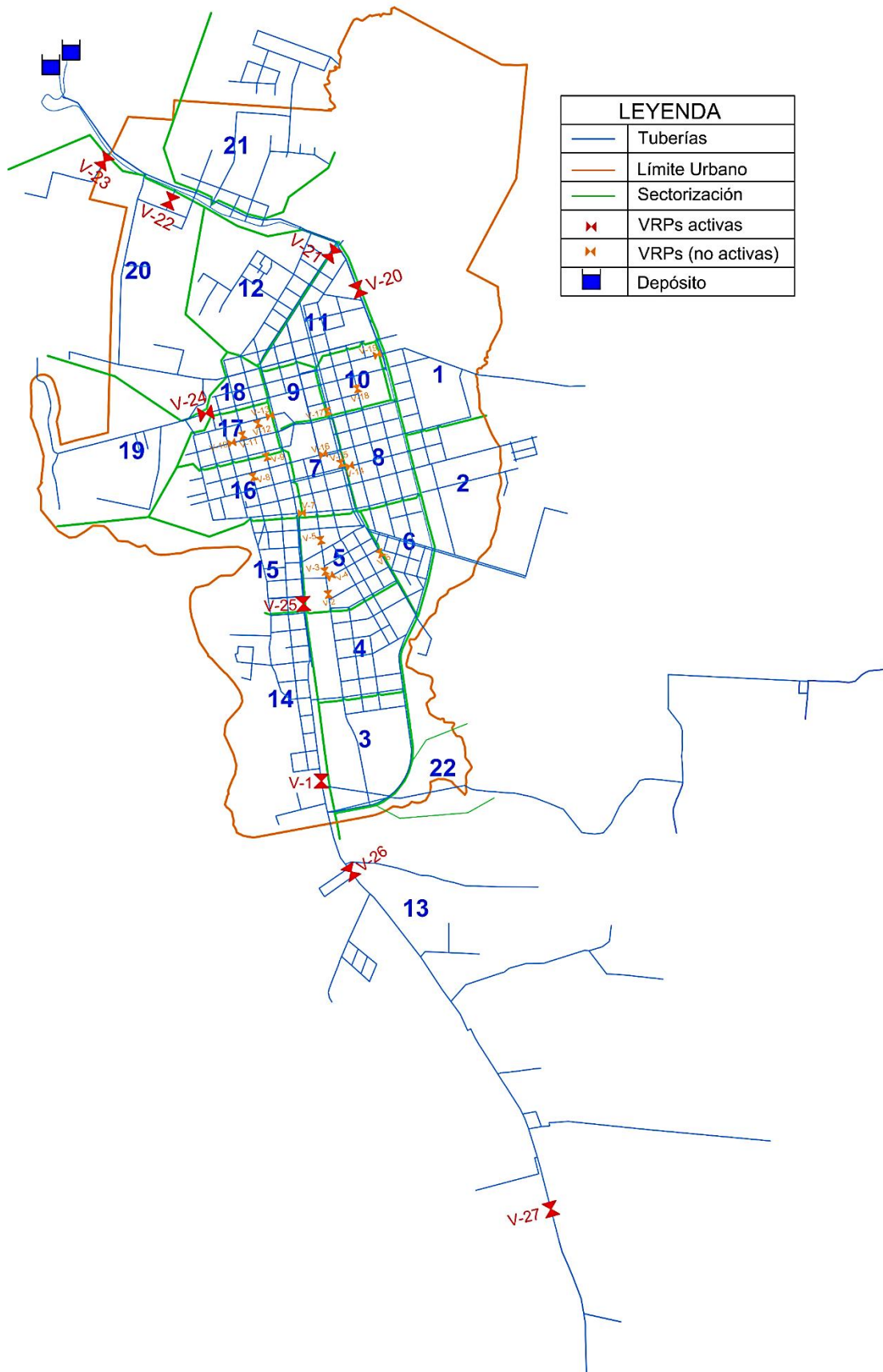
<b>SECTORIZACIÓN SISTEMA SUCÚA</b>					
<b>UBICACIÓN</b>	<b>ID</b>	<b>DIÁMETRO (mm)</b>	<b>OPERACIÓN</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>	<b>EPANET</b>
	VO33	250	ABIERTA	Existente	L388
SUBSECTOR 9	VC34	63	CERRADA	Existente	L608
	VC35	110	CERRADA	Nueva	L421
	VC33	63	CERRADA	Existente	L580
	VC46	63	CERRADA	Nueva	L547
	VC47	63	CERRADA	Existente	L615
	VC48	63	CERRADA	Existente	L90
	VC49	63	CERRADA	Existente	L611
	VC50	63	CERRADA	Existente	L569
	VC51	90	CERRADA	Existente	L80
	VC52	63	CERRADA	Existente	L574
	VC53	63	CERRADA	Existente	L138
	VO13	110	ABIERTA	Nueva	L109
	VO18	110	ABIERTA	Nueva	L106
	VO19	110	ABIERTA	Existente	L425
	VO20	110	ABIERTA	Nueva	L415
SUBSECTOR 10	VC43	63	CERRADA	Nueva	L315
	VC44	63	CERRADA	Existente	L655
	VC45	63	CERRADA	Existente	L656
	VC53	63	CERRADA	Existente	L138
	VC52	63	CERRADA	Existente	L574
	VC50	63	CERRADA	Existente	L569
	VC51	90	CERRADA	Existente	L80
	VC54	63	CERRADA	Nueva	L312
	VC55	63	CERRADA	Nueva	L632
	VC56	63	CERRADA	Existente	L114
	VC57	63	CERRADA	Nueva	L644
	VO14	110	ABIERTA	Nueva	L135
	VO21	110	ABIERTA	Existente	L133
	VO22	250	ABIERTA	Existente	L387
	VO23	250	ABIERTA	Existente	L388
SUBSECTOR 11	VC55	63	CERRADA	Existente	L632
	VC56	63	CERRADA	Existente	L114
	VC57	63	CERRADA	Nueva	L644
	VC48	63	CERRADA	Existente	L90
	VC49	63	CERRADA	Existente	L611
	VC58	63	CERRADA	Existente	L119
	VC59	110	CERRADA	Existente	L121
	VC60	63	CERRADA	Existente	L111
	VC61	63	CERRADA	Existente	L614
	VC62	63	CERRADA	Nueva	L619
	VC63	63	CERRADA	Nueva	L307
	VC64	63	CERRADA	Nueva	L866
	VC65	63	CERRADA	Nueva	L867
	VO21	110	ABIERTA	Existente	L133
	VO19	110	ABIERTA	Existente	L425
	VO24	110	ABIERTA	Existente	L428
VO25	110	ABIERTA	Existente	L129	
SUBSECTOR 12	VC66	63	CERRADA	Nueva	L481

<b>SECTORIZACIÓN SISTEMA SUCÚA</b>					
<b>UBICACIÓN</b>	<b>ID</b>	<b>DIÁMETRO (mm)</b>	<b>OPERACIÓN</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>	<b>EPANET</b>
	VC62	63	CERRADA	Nueva	L619
	VC67	63	CERRADA	Nueva	L869
	VC68	63	CERRADA	Existente	L870
	VC69	63	CERRADA	Existente	L488
	VC70	63	CERRADA	Existente	L89
	VC71	63	CERRADA	Existente	L491
	VC72	63	CERRADA	Nueva	L490
	VO26	63	ABIERTA	Nueva	L98
	VO27	110	ABIERTA	Existente	L435
SUBSECTOR 13	VO28	90	ABIERTA	Nueva	L462
SUBSECTOR 14	VC7	63	CERRADA	Nueva	L844
	VC8	63	CERRADA	Nueva	L787
	VC73	63	CERRADA	Existente	L728
	VC74	63	CERRADA	Existente	L839
	VO7	63	ABIERTA	Existente	L772
	VO29	90	ABIERTA	Existente	L453
SUBSECTOR 15	VC73	63	CERRADA	Existente	L728
	VC74	63	CERRADA	Existente	L839
	VC75	63	CERRADA	Existente	L171
	VC76	63	CERRADA	Existente	L714
	VC77	63	CERRADA	Existente	L177
	VO29	90	ABIERTA	Existente	L453
	VO30	63	ABIERTA	Existente	L712
	VO31	90	ABIERTA	Existente	L275
SUBSECTOR 16	VC75	63	CERRADA	Existente	L171
	VC76	63	CERRADA	Existente	L714
	VC78	63	CERRADA	Existente	L521
	VC79	63	CERRADA	Existente	L526
	VC80	63	CERRADA	Existente	L538
	VC28	63	CERRADA	Existente	L592
	VC29	63	CERRADA	Existente	L591
	VC30	63	CERRADA	Existente	L165
	VC31	63	CERRADA	Existente	L160
	VO17	110	ABIERTA	Existente	L88
	VO30	63	ABIERTA	Existente	L712
	VO34	110	ABIERTA	Existente	L144
	VO35	63	ABIERTA	Nueva	L557
	VO36	110	ABIERTA	Nueva	L103
VO37	110	ABIERTA	Nueva	L412	
SUBSECTOR 17	VC32	110	CERRADA	Existente	L159
	VC78	63	CERRADA	Existente	L521
	VC79	63	CERRADA	Existente	L526
	VC80	63	CERRADA	Existente	L538
	VC81	63	CERRADA	Existente	L507
	VC82	63	CERRADA	Existente	L508
	VC83	63	CERRADA	Existente	L516
	VC84	63	CERRADA	Existente	L139
	VO34	110	ABIERTA	Existente	L144
	VO38	110	ABIERTA	Existente	L404

<b>SECTORIZACIÓN SISTEMA SUCÚA</b>					
<b>UBICACIÓN</b>	<b>ID</b>	<b>DIÁMETRO (mm)</b>	<b>OPERACIÓN</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>	<b>EPANET</b>
	VO12	110	ABIERTA	Existente	L416
	VO20	110	ABIERTA	Nueva	L415
	VO35	63	ABIERTA	Nueva	L557
SUBSECTOR 18	VC46	63	CERRADA	Nueva	L547
	VC81	63	CERRADA	Existente	L507
	VC82	63	CERRADA	Existente	L508
	VC83	63	CERRADA	Existente	L516
	VC84	63	CERRADA	Existente	L139
	VC71	63	CERRADA	Existente	L491
	VC72	63	CERRADA	Nueva	L490
	VC85	90	CERRADA	Nueva	L467
	VC86	50	CERRADA	Existente	L242
	VC47	63	CERRADA	Existente	L615
	VO38	110	ABIERTA	Existente	L404
	VO39	110	ABIERTA	Existente	L397
SUBSECTOR 19	VO40	63	ABIERTA	Nueva	L246
SUBSECTOR 20	VC86	50	CERRADA	Existente	L242
	VC87	50	CERRADA	Existente	L236
	VO41	50	ABIERTA	Nueva	L255
	VO42	63	ABIERTA	Existente	L228
SUBSECTOR 21	VC88	63	CERRADA	Nueva	L205
	VC89	63	CERRADA	Nueva	L207
	VC90	63	CERRADA	Nueva	L301
	VO43	63	ABIERTA	Existente	L232
	VO44	63	ABIERTA	Nueva	L204
SUBSECTOR 22	VO45	50	ABIERTA	Nueva	L335
RESERVORIO - DISTRIBUCIÓN	VC91	250	CERRADA	Existente	L376
	VO47	250	ABIERTA	Existente	L305
	VO48	250	ABIERTA	Existente	L385
	VO49	250	ABIERTA	Existente	L375
	VO50	63	ABIERTA	Existente	L300
	VO51	250	ABIERTA	Existente	L198
	VO52	250	ABIERTA	Existente	L189
	VO53	250	ABIERTA	Existente	L191
UNIFICACIÓN REDES	VC92	63	CERRADA	Existente	L263
	VC93	50	CERRADA	Existente	L1216



9.6 ANEXO 6. Válvulas Reductoras de Presión en el sistema de distribución (VRP).



9.7 ANEXO 7. Comprobación de cavitación en válvula reductora de presión (VRP).

Diámetro nominal	K <sub>v0</sub> Disco estandar	K <sub>v0</sub> Abertura en V
2"	50	33
3"	120	78
4"	205	137
6"	505	312
8"	830	546
10"	1280	855
12"	1960	1229
16"	3425	2184

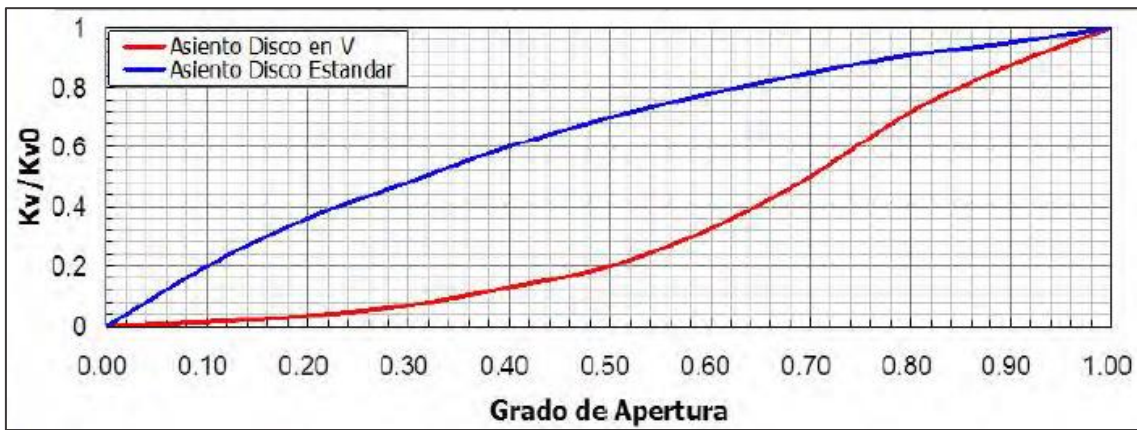


Figura 90. Diagrama de características de flujo.

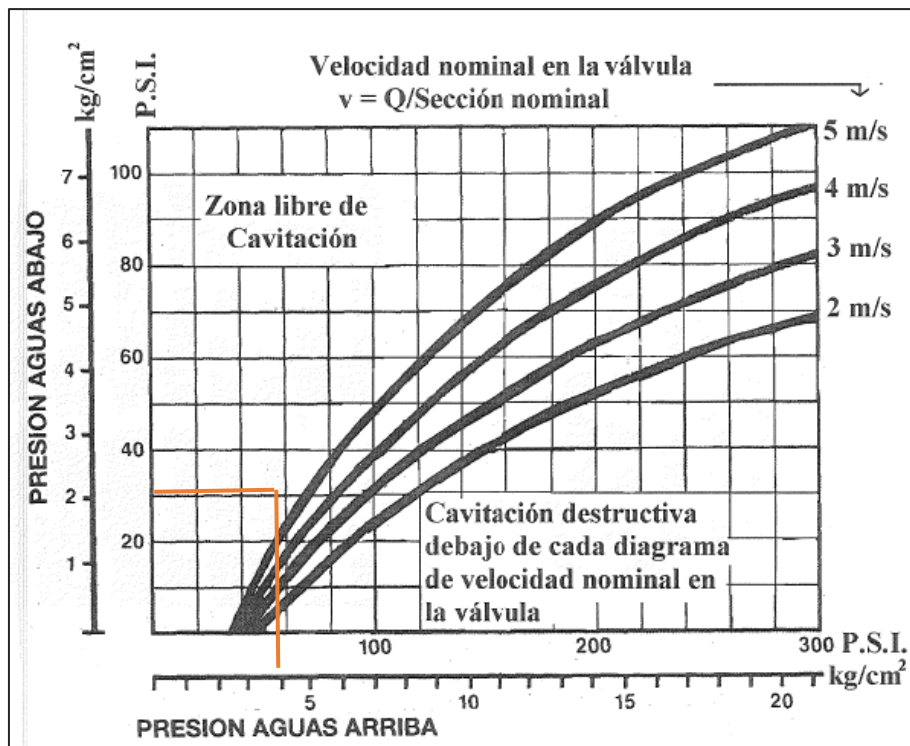
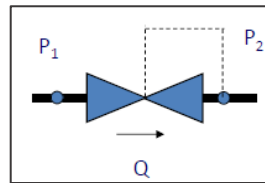


Figura 91. Diagrama de cavitación de válvulas, teniendo en cuenta la velocidad.

**Tabla 62.** Ejemplo para la comprobación de Cavitación de la VRP # 21.

VÁLVULA (V-21)		
<b>DN</b>	110	mm
<b>Consigna</b>	20	mca
<b>Kv0</b>	137	
<b>Tipo</b>	Asiento en V	



Tiempo	Presiones		Válvula			Kv	Kv/Kv0	Asiento en V	Cavitación
	P1 (mca)	P2 (mca)	V (m/s)	Q (m3/h)	hv (kg/cm2)			GA (%)	
0:00	37.52	20	2.49	85.21	1.75	64.38	0.47	68.0	NO
1:00	37.58	20	2.47	84.46	1.76	63.70	0.46	67.7	NO
2:00	37.67	20	2.43	83.30	1.77	62.67	0.46	67.7	NO
3:00	37.67	20	2.43	83.30	1.77	62.67	0.46	67.7	NO
4:00	37.64	20	2.45	83.70	1.76	63.02	0.46	67.7	NO
5:00	37.48	20	2.5	85.57	1.75	64.72	0.47	68.0	NO
6:00	36.72	20	2.76	94.57	1.67	73.14	0.53	70.5	NO
7:00	36.46	20	2.85	97.56	1.65	76.04	0.56	73.0	NO
8:00	36.45	20	2.85	97.60	1.65	76.09	0.56	73.0	NO
9:00	36.45	20	2.85	97.60	1.65	76.09	0.56	73.0	NO
10:00	36.53	20	2.83	96.77	1.65	75.27	0.55	72.5	NO
11:00	36.5	20	2.84	97.13	1.65	75.61	0.55	72.5	NO
12:00	36.57	20	2.82	96.34	1.66	74.84	0.55	72.5	NO
13:00	36.53	20	2.83	96.70	1.65	75.21	0.55	72.5	NO
14:00	36.42	20	2.86	97.99	1.64	76.47	0.56	73.0	NO
15:00	36.57	20	2.82	96.34	1.66	74.84	0.55	72.5	NO
16:00	36.6	20	2.80	95.94	1.66	74.46	0.54	72.0	NO
17:00	36.61	20	2.80	95.90	1.66	74.41	0.54	72.0	NO
18:00	36.57	20	2.81	96.26	1.66	74.78	0.55	72.5	NO
19:00	36.64	20	2.79	95.51	1.66	74.04	0.54	72.0	NO
20:00	36.87	20	2.72	92.92	1.69	71.54	0.52	71.0	NO
21:00	36.98	20	2.68	91.62	1.70	70.31	0.51	70.5	NO
22:00	37.16	20	2.62	89.53	1.72	68.35	0.50	70.0	NO
23:00	37.39	20	2.54	86.76	1.74	65.79	0.48	69.0	NO

En la tabla 62 se muestra un ejemplo realizado para la comprobación de cavitación en la válvula reductora de presión (V-21), el mismo proceso fue realizado para las otras 8 válvulas instaladas. Se concluye que todas las válvulas trabajan de forma correcta sin presentar problemas de cavitación en ninguna de ellas.