

Trabajo Fin de Máster

ANÁLISIS Y ELABORACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA-ECUADOR. PROPUESTAS DE MEJORA.

Intensificación: *HIDRÁULICA URBANA*

Autor:

NELSON SANTIAGO CHUQUIN VASCO

Director:

DR. JAVIER SORIANO OLIVARES

Codirector:

DR. JORGE GARCÍA-SERRA GARCÍA

ENERO, 2016



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto

Título: ANÁLISIS Y ELABORACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA-ECUADOR. PROPUESTAS DE MEJORA

Alumno: Nelson Santiago Chuquin Vasco

E-mail: sanchuva@posgrado.upv.es

Director: Dr. Javier Soriano Olivares

Codirector: Dr. Jorge García-Serra García

Resumen

Los sistemas de distribución de agua potable son parte fundamental en el transcurso cotidiano, el bienestar y el desarrollo de la población. Mediante el presente trabajo se pretende simular, analizar, evaluar y establecer criterios técnicos del comportamiento de la red de distribución de agua potable de la ciudad de Riobamba-Ecuador. La red en cuestión abastece un área aproximada de 50 km², con una población de alrededor de 249.891 habitantes. El abastecimiento se encuentra distribuido en 9 sectores: Tratamiento, Tapi, Recreo, Carmen, Saboya, Maldonado, Piscin, Veranillo, y Yaruquies. La distribución se realiza por gravedad, y cada sector se caracteriza por tener depósitos propios para su almacenamiento y distribución.

Con el desarrollo del trabajo se ha obtenido el modelo matemático de simulación de la red de agua de la ciudad. Para ello se han empleado tres software (*ARCGIS 10.3*, *ARCVIEW_GISRed 2.1* y *EPANET 2.0*) que constituyen el medio de soporte para la creación de la esqueletización de la red, asignación de cotas, consumos y la realización de las simulaciones necesarias. Adicionalmente, se ha contado con la colaboración de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba (EMAPAR) quien ha proporcionado los datos necesarios para llevar a cabo la elaboración del documento.

Para la creación del modelo se trabaja con una esqueletización de la red que se obtiene por medio de la generación de archivos en formato shape, a través de los cuales, en conjunto con la imagen Ráster, el paquete informático *GISRed* y su herramienta de interpolación espacial fue posible la asignación de cotas a cada uno de los nudos, además de la verificación de las posibles desconexiones entre las tuberías. Una vez esqueletizada la red, se genera un archivo .inp ejecutable en Epanet, donde se puede continuar con el desarrollo del modelo.

En la carga hidráulica se ha trabajado con fugas dependientes de la presión, y ponderadas según la longitud de la tubería (*Almandoz, 2003*). Con los volúmenes inyectados y facturados se estima el rendimiento volumétrico de la ciudad (próximo al 72 %), y de forma particularizada para cada uno de los sectores.

Se establecen dos escenarios de análisis: a) Consumos proporcionados por la empresa, b) Consumos estimados mediante datos de volúmenes facturados de cada sector. Con estos escenarios, se realizan las simulaciones oportunas para obtener un diagnóstico de las características operacionales de la red (presiones, pérdidas de carga, caudales, etc.). Se obtienen los siguientes resultados:

- El sistema es capaz de abastecer un volumen superior al demandado actualmente.
- Se tienen en varias zonas de la ciudad presiones excesivas.
- Gran parte de la red trabaja con velocidades bajas.

Una vez analizada la red se plantean dos propuestas de mejora que tendrían un ahorro económico y sostenible para la ciudad. La primera es implementar la instalación de válvulas reductoras de presión que permitan ayudar a las sobrepresiones ocasionadas en la mayoría de sectores, disminuyendo al mismo tiempo el caudal fugado.

La siguiente propuesta que se estudia es la gestión de fugas, analizando las pérdidas reales que se generan por defectos físicos de la red (fisuras en las tuberías, acometidas, válvulas, etc.). El objetivo primordial es detectar y reparar este tipo de inconvenientes, esto es factible siempre y cuando la empresa sea consciente de la inversión económica que involucra. Una vez que se ejecute el programa de control activo de fugas se estima tener una eficiencia del 80 %, y así tener un ahorro económico en el caudal fugado.

Resum

Els sistemes de distribució d'aigua potable són part fonamental del transcurs quotidià, el benestar i el desenvolupament de la població. Mitjançant el present treball es pretén simular, analitzar, avaluar i establir criteris tècnics del comportament de la xarxa de distribució d'aigua potable de la ciutat de Riobamba- Ecuador. La xarxa en qüestió abasteix una àrea aproximada de 50 km², amb una població al voltant de 249.891 habitants. L'abastiment es troba distribuït en 9 sectors: Tratamiento, Tapi, Recreo, Carmen, Saboya, Maldonado, Piscin, Veranillo i Yaruquies. La distribució es realitza per gravetat, i cada sector es caracteritza per tenir un dipòsit propi per al seu emmagatzematge i distribució.

Amb el desenvolupament del treball s'ha obtingut el model matemàtic de simulació de la xarxa d'aigua de la ciutat. Per a açò s'han utilitzat tres softwares (*ARCGIS 10.3*, *ARCVIEW GISRed 2.1* y *EPANET 2.0*) que constitueixen un mig de suport per a la creació de la esqueletització de la xarxa, assignació de quotes, consums i la realització de les simulacions necessàries. Addicionalment, s'ha comptat amb la col·laboració de l'Empresa Municipal d'Aigua Potable i Clavegueram de Riobamba (EMAPAR), qui ha proporcionat les dades necessàries per a dur a terme l'elaboració del document.

Per a la creació del model es treballa amb una esqueletització de la xarxa que s'obté per mitjà de la generació dels arxius en format "shape", per mitjà dels quals, en conjunt amb la imatge Ràster, el paquet informàtic *GISRed* i la seua ferramenta d'interpolació espacial, fou possible l'assignació de quotes a cada un dels nucs, a més de la verificació de les possibles desconexions entre les conduccions. Una vegada esqueletitzada la xarxa, es genera un arxiu .inp executable en Epanet, on es pot continuar amb el desenvolupament del model.

En la càrrega hidràulica s'ha treballat amb fugides dependents de la pressió, i ponderades segons la longitud de la conduccions (*Almandoz, 2003*). Amb els volums injectats i facturats s'estima el rendiment volumètric de la ciutat (pròxim al 72 %), i de forma particularitzada per a cadascun dels sectors.

S'estableixen dos escenaris d'anàlisi: a) Consums proporcionats per l'empresa, b) Consums estimats mitjançant dades de volums facturats de cada sector. Amb aquests escenaris, es realitzen les simulacions oportunes per obtenir un diagnòstic de les

característiques operacionals de la xarxa (pressions, pèrdues de càrrega, caudals, etc.).

S'obtenen els següents resultats:

- El sistema és capaç d'abastir un volum superior al demandat actualment.
- Es tenen en diverses zones de la ciutat pressions excessives.
- Gran part de la xarxa treballa amb velocitats baixes.

Una vegada analitzada la xarxa es plantegen dues propostes de millora que tindran un estalvi econòmic sostenible per a la ciutat. La primera és implementar la instal·lació de vàlvules reductores de pressió que permeten ajudar a les sobrepressions ocasionades en la majoria de sectors, disminuint al mateix temps el caudal escapolit.

La següent proposta que s'estudia, és la gestió de fugides analitzant les pèrdues reals que es generen per defectes físics de la xarxa (fissures en les conduccions, escomeses, vàlvules, etc.). L'objectiu primordial és detectar i reparar aquest tipus d'inconvenients, açò és factible sempre i quan l'empresa siga conscient de la inversió econòmica que involucra. Una vegada que s'execute el programa de control actiu de fugues s'estima tenir una eficiència del 80 %, i així tenir un estalvi econòmic en el caudal escapolit.

Summary

Distribution systems of drinking water are an essential part of everyday life, welfare and population growth. The purpose of this investigation is to simulate, analyze, evaluate and establish technical criteria for the performance of the distribution of potable drinking water in the city of Riobamba, Ecuador. The distribution network in question caters to an area of approximately 50 square kilometers with a population of around 249.891 inhabitants. The water supply is divided into nine sectors called: Tratamiento, Tapi, Recreo, Carmen, Saboya, Maldonado, Piscin, Veranillo and Yaruquies. The distribution is accomplished through gravity, and each sector is characterized by having its own storage area and distribution.

The research development has allowed a mathematical simulation model of the water system of the city of Riobamba to be designed. Three software programs have been utilized (*ARCGIS 10.3*, *ARCView_GISRed 2.1*, *EPANET 2.0*) which constitutes the support for the creation of the network, allocation levels, consumption requirements and the necessary simulations. Additionally, the Municipal Water and Sewerage Department of Riobamba (EMAPAR) has cooperated fully providing the necessary data to carry out the preparation of the document.

In order to create the model, a design of the network is obtained through file generation in shape format, which together with the raster image; a software package and its tool *GISRed* with spatial interpolation permitted to assign levels to each of the nodes, and permitting the verification of the possible disconnection points between pipes. Once the network was illustrated, an executable .inp file in Epanet was created where you can continue with the development of the model.

The hydraulic load has been operated by dependent pressure leakage, and weighted according to the length of the pipe (*Almandoz, 2003*). Injected and billed volumes produce an approximate volumetric efficiency of the city (close to 72 %), as well as for each of the sectors.

Two stages of analysis are set: a) consumption provided by the company, b) estimated consumption through data volumes billed by each sector. With these scenarios, appropriate simulations are performed for a diagnosis of the operational

characteristics of the network (pressure, pressure drop, flow, etc.). The following results were obtained:

- The system is capable of supplying a higher volume output to which is currently required.
- Several areas of the city have overpressure.
- Much of the network works at low speeds.

Once the network was analyzed, two possible ideas for improving the network which would have an economic and sustainable savings for the city were proposed. The first is to install pressure reducing valves that would reduce overpressure in most sectors, while reducing current leakage as well.

The second proposal that is being studied is leakage management, which analyzes real losses generated by the network's physical defects (cracks in pipes, connections, valves, etc.). The primary objective is to detect and repair such shortcomings; this is feasible as long as the company is aware of the economic investment that involves. Once the active leakage control program is executed, an estimated 80 % of efficiency is expected, consequently, large savings are expected from the previous water loss.

Palabras clave: *Distribución, modelo matemático, simulación, rendimiento volumétrico, gestión de la presión.*

Paraules Claus: *Distribució, model matemàtic, simulació, rendiment volumètric, gestió de fugides*

Key words: *Distribution, mathematical simulation model, volumetric efficiency, leakage management*

AGRADECIMIENTOS

Primeramente quisiera agradecer a Dios por permitirme estar en este proceso de la vida, y a la vez a mis padres, tíos, hermanos, por apoyarme en cada decisión y demostrarme su cariño y respaldo en cada momento. A mi novia por brindarme esa energía y amor constante en el transcurso de este largo tiempo. Y en especial a mi hermano Daniel por formar parte de este paso fundamental en nuestro futuro y sobre todo por ser mi compañero esencial.

Además dar las gracias a mi Tutor Javier Soriano Olivares y Codirector Jorge García-Serra García, por brindarme la oportunidad de trabajar junto a ellos y demostrarme que la perseverancia y el esfuerzo son las características más importantes del ser humano.

Quisiera también agradecer al Municipio de la ciudad de Riobamba y a la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado, por darme el apoyo elemental para poder elaborar este documento.

Finalmente a la prestigiosa Universidad Politécnica de Valencia por haberme aceptado a ser parte de ella y permitirme ganar experiencia, confianza y sabiduría.

Santiago Chuquin



ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 OBJETIVOS | 2 |
| 2. ANTECEDENTES | 3 |
| 2.1 SAN PEDRO DE RIOBAMBA | 3 |
| 2.2 EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE RIOBAMBA | 3 |
| 3. ZONA DE ESTUDIO | 4 |
| 3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA | 4 |
| 3.2 CLIMATOLOGÍA | 5 |
| 3.3 TOPOGRAFÍA | 5 |
| 3.4 DEMOGRAFÍA | 7 |
| 4. DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE | 8 |
| 4.1 INTRODUCCIÓN | 8 |
| 4.2 ABASTECIMIENTO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA | 9 |
| 4.2.1 CAPTACIONES | 9 |
| 4.2.1.1 CAPTACIÓN SAN PABLO | 10 |
| 4.2.1.2 CAPTACIÓN LLIO | 10 |
| 4.3 CONDUCCIONES Y TRANSPORTE | 12 |
| 4.3.1 CONDUCCIÓN SAN PABLO-AEREADORES | 12 |
| 4.3.2 CONDUCCIÓN LLIO-AEREADORES | 12 |
| 4.4 TANQUES DE ALMACENAMIENTO | 13 |
| 5. SECTORIZACIÓN ACTUAL | 14 |
| 5.1 CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN | 15 |
| 5.1.1 LONGITUDES DE TUBERÍA | 15 |
| 5.1.2 DIÁMETROS | 16 |
| 5.1.3 MATERIALES | 16 |
| 6. BALANCE HÍDRICO | 17 |
| 6.1 VOLUMEN DE AGUA INYECTADA | 18 |
| 6.2 VOLUMEN DE AGUA FACTURADA O CONSUMIDA | 19 |
| 6.3 RENDIMIENTOS ESTIMADOS DE LA RED | 20 |
| 6.3.1 RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO MEDIO | 20 |
| 6.3.2 RENDIMIENTOS VOLUMÉTRICOS POR SECTORES | 21 |
| 6.4 MODULACIÓN DE LA DEMANDA | 22 |
| 7. MODELO MATEMÁTICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE PARA LA CIUDAD DE RIOBAMBA-ECUADOR | 23 |
| 7.1 ETAPAS PARA LA ELABORACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO | 23 |
| 7.1.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN | 24 |
| 7.1.2 ESQUELETIZACIÓN DE LA RED (ARCGIS-ARCVIEW-EPANET) | 26 |
| 7.1.3 CREACIÓN DE LAS CAPAS SHAPE | 26 |
| 7.1.4 CREACIÓN DEL PROYECTO EN ARCVIEW | 27 |
| 7.1.5 IMPORTACIÓN DE LAS CAPAS SHAPE | 27 |



| | |
|---|-----------|
| 7.1.6 ASIGNACIÓN DE COTAS A LOS NUDOS DE CONSUMO | 30 |
| 7.1.7 ASIGNACIÓN DE DEMANDAS Y FUGAS EN EL SISTEMA | 31 |
| 7.1.7.1 DEMAND ALLOCATION | 31 |
| 7.1.7.2 FUGAS DEPENDIENTES DE LA PRESIÓN | 33 |
| 7.1.8 EXPORTACIÓN DEL MODELO A EPANET | 35 |
| 8. ANÁLISIS, SIMULACIONES Y RESULTADOS | 37 |
| 8.1 CONSUMOS PROPORCIONADOS POR LA EMPRESA DE ABASTECIMIENTO | 38 |
| 8.1.1 ESTUDIO DE PRESIONES | 40 |
| 8.1.2 ESTUDIO DE VELOCIDADES | 41 |
| 8.1.2.1 VELOCIDADES MÍNIMAS | 42 |
| 8.1.2.2 VELOCIDADES MÁXIMAS | 43 |
| 8.1.3 ESTUDIO DE CAUDALES | 44 |
| 8.1.4 ESTUDIO DE PÉRDIDAS UNITARIAS | 45 |
| 8.1.5 CONCLUSIONES PRIMER ESCENARIO | 45 |
| 8.2 ANÁLISIS POR SECTORES | 46 |
| 8.2.1 SECTOR EL TRATAMIENTO | 47 |
| 8.2.1.1 ANÁLISIS DE PRESIONES | 47 |
| 8.2.1.2 ANÁLISIS DE CAUDALES | 48 |
| 8.2.1.3 ANÁLISIS DE VELOCIDADES | 49 |
| 8.2.1.4 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS | 49 |
| 8.2.2 SECTOR EL CARMEN | 50 |
| 8.2.2.1 ANÁLISIS DE PRESIONES | 50 |
| 8.2.2.2 ANÁLISIS DE CAUDALES | 51 |
| 8.2.2.3 ANÁLISIS DE VELOCIDADES | 52 |
| 8.2.2.4 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS | 52 |
| 8.2.3 SECTOR LA SABOYA | 53 |
| 8.2.3.1 ANÁLISIS DE PRESIONES | 53 |
| 8.2.3.2 ANÁLISIS DE CAUDALES | 54 |
| 8.2.3.3 ANÁLISIS DE VELOCIDADES | 55 |
| 8.2.3.4 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS | 56 |
| 8.2.4 SECTOR SAN JOSÉ DE VERANILLO | 56 |
| 8.2.4.1 ANÁLISIS DE PRESIONES | 57 |
| 8.2.4.2 ANÁLISIS DE CAUDALES | 57 |
| 8.2.4.3 ANÁLISIS DE VELOCIDADES | 58 |
| 8.2.4.4 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS | 58 |
| 8.2.5 SECTOR YARUQUIES | 59 |
| 8.2.5.1 ANÁLISIS DE PRESIONES | 59 |
| 8.2.5.2 ANÁLISIS DE CAUDALES | 59 |
| 8.2.5.3 ANÁLISIS DE VELOCIDADES | 60 |
| 8.2.5.4 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS | 60 |
| 8.3 ANÁLISIS ABASTECIMIENTO 18 HORAS | 61 |
| 8.3.1 CURVAS DE MODULACIÓN | 61 |
| 8.3.2 ESTUDIO DE PRESIONES | 62 |
| 8.3.3 ESTUDIO DE CAUDALES | 63 |
| 8.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 65 |
| 9. PROPUESTAS DE MEJORA | 66 |
| 9.1 GESTIÓN DE LA PRESIÓN | 66 |
| 9.1.1 VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN | 66 |
| 9.1.2 INSTALACIÓN DE VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN | 68 |
| 9.1.2.1 SECTOR EL TRATAMIENTO | 69 |
| 9.1.2.2 SECTOR TAPI | 70 |
| 9.1.2.3 SECTOR EL RECREO | 71 |
| 9.1.2.4 SECTOR EL CARMEN | 72 |



| | |
|--|------------|
| 9.1.2.5 SECTOR LA SABOYA | 73 |
| 9.1.2.6 SECTOR MALDONADO | 74 |
| 9.1.2.7 SECTOR SAN JOSE DE VERANILLO | 75 |
| 9.1.2.8 SECTOR EL PISCIN | 76 |
| 9.1.2.9 SECTOR YARUQUIES | 77 |
| 9.1.3 ANÁLISIS ECONÓMICO | 78 |
| 9.2 GESTIÓN DE FUGAS | 81 |
| 9.2.1 BALANCE HÍDRICO (PÉRDIDAS REALES) | 81 |
| 9.2.1.1 POR SU UBICACIÓN | 81 |
| 9.2.1.2 POR SU TAMAÑO Y TIEMPO QUE FUGA | 82 |
| 9.2.2 IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL ACTIVO DE FUGAS | 83 |
| 9.2.3 CORRELADOR | 84 |
| 9.2.4 GEÓFONO | 85 |
| 9.2.5 VOLUMEN FUGADO IMPLEMENTADO EL CONTROL ACTIVO DE FUGAS | 85 |
| 9.2.6 ANÁLISIS ECONÓMICO | 87 |
| 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 88 |
| 11. BIBLIOGRAFÍA | 89 |
| 11.1 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 89 |
| 11.2 REFERENCIAS DE INTERNET | 90 |
| 11.3 CATÁLOGOS | 90 |
| 12. ANEJOS | 92 |
| ANEJO 1 - DETALLES DE LAS SECTORIZACIONES | 92 |
| 1.1 RED EL TRATAMIENTO | 92 |
| 1.2 RED EL RECREO | 93 |
| 1.3 RED SAN JOSE DE TAPI | 94 |
| 1.4 RED EL CARMEN | 95 |
| 1.5 RED LA SABOYA | 96 |
| 1.6 RED MALDONADO | 97 |
| 1.7 RED PISCIN | 98 |
| 1.8 RED SAN MARTIN DE VERANILLO | 99 |
| 1.9 RED YARUQUIES | 100 |
| ANEJO 2 - CAPTACIONES | 101 |
| ANEJO 3 - DEMANDAS DEL MODELO | 102 |
| 3.1 FORMATO SHAPE EMPRESA EMAPAR. | 102 |
| 3.2 CÁLCULOS DE LAS DEMANDAS. | 103 |
| ANEJO 4 - TARIFAS DEL SERVICIO DE DISTRIBUCIÓN | 104 |
| ANEJO 5 - CÁLCULOS DEL COEFICIENTE GLOBAL DE FUGAS | 105 |
| ANEJO 6 - ANÁLISIS POR SECTORES | 108 |
| 6.1 SECTOR TAPI | 108 |
| 6.1.1 ANÁLISIS DE PRESIONES | 108 |
| 6.1.2 ANÁLISIS DE CAUDALES | 109 |
| 6.1.3 ANÁLISIS DE VELOCIDADES | 109 |
| 6.1.4 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS | 110 |
| 6.2 SECTOR EL RECREO | 111 |
| 6.2.1 ANÁLISIS DE PRESIONES | 111 |
| 6.2.2 ANÁLISIS DE CAUDALES | 112 |
| 6.2.3 ANÁLISIS DE VELOCIDADES | 112 |
| 6.2.4 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS | 113 |
| 6.3 SECTOR MALDONADO | 114 |

| | |
|--|------------|
| 6.3.1 ANÁLISIS DE PRESIONES | 114 |
| 6.3.2 ANÁLISIS DE CAUDALES | 115 |
| 6.3.3 ANÁLISIS DE VELOCIDADES | 115 |
| 6.3.4 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS | 116 |
| 6.4 SECTOR EL PISCIN | 117 |
| 6.4.1 ANÁLISIS DE PRESIONES | 117 |
| 6.4.2 ANÁLISIS DE CAUDALES | 118 |
| 6.4.3 ANÁLISIS DE VELOCIDADES | 118 |
| 6.4.4 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS | 119 |
| ANEJO 7 - COSTOS DE INSTALACIÓN VRP | 120 |
| 7.1 PRECIOS HONEYWELL | 120 |
| 7.2 PRECIOS MASA tubos y sistemas | 123 |
| 7.3 PRECIOS DANIELCOM | 125 |
| 7.3.1 VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN DN 100 | 125 |
| 7.3.2 VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN DN 200 | 126 |
| 7.3.3 VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN DN 300 | 127 |
| 7.3.4 VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN DN 450 | 128 |

FIGURAS

| | |
|---|----|
| Fig 1. Ubicación Geográfica de la ciudad de Riobamba. | 4 |
| Fig 2. Visualización topográfica en Arc Map de la Llanura de Tapi (m). | 6 |
| Fig 3. Visualización topográfica en Arc Map de la ciudad de Riobamba (m). | 6 |
| Fig 4. Censo Poblacional del año 2010 (INEC). | 7 |
| Fig 5. Mapa de la Distribución de Agua Potable. | 8 |
| Fig 6. Foto aérea con la superposición del sistema de abastecimiento de agua. | 9 |
| Fig 7. Captación de vertientes naturales (San Pablo). | 10 |
| Fig 8. Captación de los pozos subterráneos (Llio). | 11 |
| Fig 9. Esquema de la captación y distribución de agua potable. | 12 |
| Fig 10. Visualización de los tanques de reserva. | 13 |
| Fig 11. Superficies actuales de las sectorizaciones. | 14 |
| Fig 12. Mapa de las Redes de abastecimiento de la ciudad. | 14 |
| Fig 13. Detalle de diámetros en la red (mm). | 15 |
| Fig 14. Esquema del funcionamiento de la Red. | 17 |
| Fig 15. Tanques de reserva con medidores de caudal instalados. | 17 |
| Fig 16. Registro de Volúmenes del año 2014 (Hm ³). | 20 |
| Fig 17. Detalle de volúmenes facturados e inyectados (2014). | 21 |
| Fig 18. Detalle de la estimación de la Curva de Modulación (RIOBAMBA). | 22 |
| Fig 19. Etapas de la Elaboración del Modelo. | 23 |
| Fig 20. Mapa de la Red de Agua Potable. | 24 |
| Fig 21. Mapa de las Sectorizaciones para asignar la identificación. | 25 |
| Fig 22. Flujograma para la esqueletización de la red. | 26 |
| Fig 23. Creación de un nuevo Proyecto en ARCVIEW. | 27 |
| Fig 24. Importación de formatos shape a software ARCVIEW. | 28 |
| Fig 25. Visualización de las redes independientes de distribución. | 28 |
| Fig 26. Posibles errores en las uniones de las Tuberías. | 29 |

| | |
|---|----|
| Fig 27. Corrección de las desconexiones de las tuberías (ARCGIS 10.3)..... | 29 |
| Fig 28. Asignación de Cotas mediante interpolación..... | 30 |
| Fig 29. Mapa de las asignaciones de consumos en la red..... | 31 |
| Fig 30. Herramienta para la asignación del caudal fugado..... | 32 |
| Fig 31. Flujograma del cálculo de los coeficientes emisores..... | 34 |
| Fig 32. Creación en ARCVIEW del Fichero ejecutable .inp..... | 35 |
| Fig 33. Visualización del modelo en EPANET..... | 35 |
| Fig 34. Resumen de las características de la esqueletización..... | 36 |
| Fig 35. Mapa de las sectorizaciones actuales en EPANET..... | 36 |
| Fig 36. Puntos estratégicos de medición de presión (mca)..... | 37 |
| Fig 37. Proyecciones del caudal facturado..... | 39 |
| Fig 38. Izquierda: Mapa de cotas (m). Derecha: Mapa de presiones máximas (mca)..... | 40 |
| Fig 39. Detalle de las zonas con altas presiones (mca)..... | 41 |
| Fig 40. Velocidades mínimas en las conducciones (m/s)..... | 42 |
| Fig 41. Velocidades máximas en las conducciones (m/s)..... | 43 |
| Fig 42. Caudales circulantes en las conducciones (l/s)..... | 44 |
| Fig 43. Evolución del caudal en la Tubería arterial de Φ 581,6 mm..... | 44 |
| Fig 44. Pérdidas Unitarias que generan las tuberías (mca/km)..... | 45 |
| Fig 45. Detalle topográfico de la Red Tratamiento (m)..... | 47 |
| Fig 46. Mapa de presiones de la Red Tratamiento (mca)..... | 47 |
| Fig 47. Caudales circulantes de la Red Tratamiento (l/s)..... | 48 |
| Fig 48. Evolución del caudal en la Tubería arterial de Φ 290,8 mm..... | 48 |
| Fig 49. Velocidades en las conducciones (m/s). Izquierda: Mínimas Derecha: Máximas..... | 49 |
| Fig 50. Pérdidas Unitarias que generan las tuberías (mca/km)..... | 49 |
| Fig 51. Detalle topográfico de la Red El Carmen (m)..... | 50 |
| Fig 52. Mapa de presiones del sector El Carmen (mca)..... | 50 |
| Fig 53. Caudales circulantes de la Red El Carmen (l/s)..... | 51 |
| Fig 54. Evolución del caudal en la Tubería arterial de Φ 461,6 mm..... | 51 |
| Fig 55. Velocidades en las conducciones (m/s). Izquierda: Mínimas Derecha: Máximas..... | 52 |
| Fig 56. Pérdidas Unitarias que generan las tuberías (mca/km)..... | 52 |
| Fig 57. Detalle topográfico de la Red La Saboya (m)..... | 53 |
| Fig 58. Mapa de presiones del sector La Saboya (mca)..... | 54 |
| Fig 59. Caudales circulantes de la Red La Saboya (l/s)..... | 54 |
| Fig 60. Evolución del caudal en la Tubería arterial de Φ 581,6 mm..... | 55 |
| Fig 61. Velocidades en las conducciones (m/s). Izquierda: Mínimas Derecha: Máximas..... | 55 |
| Fig 62. Pérdidas Unitarias que generan las tuberías (mca/km)..... | 56 |
| Fig 63. Detalle topográfico de la Red San José de Veranillo (m)..... | 56 |
| Fig 64. Mapa de presiones del sector San José de Veranillo (mca)..... | 57 |
| Fig 65. Caudales circulantes de la Red San José de Veranillo (l/s)..... | 57 |
| Fig 66. Velocidades en las conducciones (m/s). Izquierda: Mínimas Derecha: Máximas..... | 58 |
| Fig 67. Pérdidas Unitarias que generan las tuberías (mca/km)..... | 58 |
| Fig 68. Detalle topográfico de la Red Yaruquies (m)..... | 59 |
| Fig 69. Mapa de presiones del sector Yaruquies (mca)..... | 59 |
| Fig 70. Caudales circulantes de la Red Yaruquies (l/s)..... | 60 |

| | |
|--|----|
| Fig 71. Velocidades en las conducciones (m/s). Izquierda: Mínimas Derecha: Máximas. | 60 |
| Fig 72. Pérdidas Unitarias que generan las tuberías (mca/km). | 60 |
| Fig 73. Primera Curva de modulación para 18 horas. | 61 |
| Fig 74. Segunda Curva de modulación para 18 horas. | 62 |
| Fig 75. Curva de Modulación resultante (promedio). | 62 |
| Fig 76. Mapa de presiones de la Red la Saboya (18 horas) (mca). | 62 |
| Fig 77. Caudales circulantes Red La Saboya (18 horas) (l/s). | 63 |
| Fig 78. Evolución del caudal en la Tubería arterial de Φ 581,6 mm. | 63 |
| Fig 79. Curva de modulación uniforme. | 64 |
| Fig 80. Detalle de la instalación de VRP. | 66 |
| Fig 81. Esquema del funcionamiento de la VRP (Fuente BERMAD). | 67 |
| Fig 82. Visualización de válvulas instaladas sector El Tratamiento. | 69 |
| Fig 83. Mapa de Presiones máximas. Izquierda: Sin VRP Derecha: Con VRP. | 69 |
| Fig 84. Visualización de válvulas instaladas sector Tapi. | 70 |
| Fig 85. Mapa de Presiones máximas. Izquierda: Sin VRP Derecha: Con VRP. | 70 |
| Fig 86. Visualización de válvulas instaladas sector Recreo. | 71 |
| Fig 87. Mapa de Presiones máximas. Izquierda: Sin VRP Derecha: Con VRP. | 71 |
| Fig 88. Visualización de válvulas instaladas sector El Carmen. | 72 |
| Fig 89. Mapa de Presiones máximas. Izquierda: Sin VRP Derecha: Con VRP. | 72 |
| Fig 90. Visualización de válvulas instaladas sector La Saboya. | 73 |
| Fig 91. Mapa de Presiones máximas. Izquierda: Sin VRP Derecha: Con VRP. | 73 |
| Fig 92. Visualización de válvulas instaladas sector Maldonado. | 74 |
| Fig 93. Mapa de Presiones máximas. Izquierda: Sin VRP Derecha: Con VRP. | 74 |
| Fig 94. Visualización de válvulas instaladas sector Veranillo. | 75 |
| Fig 95. Mapa de Presiones máximas. Izquierda: Sin VRP Derecha: Con VRP. | 75 |
| Fig 96. Visualización de válvulas instaladas sector Piscin. | 76 |
| Fig 97. Mapa de Presiones máximas. Izquierda: Sin VRP Derecha: Con VRP. | 76 |
| Fig 98. Visualización de válvulas instaladas sector Yaruquies. | 77 |
| Fig 99. Mapa de Presiones máximas. Izquierda: Sin VRP Derecha: Con VRP. | 77 |
| Fig 100. Comparación de volúmenes inyectados. | 78 |
| Fig 101. Sistema estándar de la instalación de una reductora de presión. | 79 |
| Fig 102. Zona de estudio del Balance Hídrico de la IWA. | 81 |
| Fig 103. Relación caudal fugado (Q) vs tiempo de fuga (t) (Farley, 2001). | 82 |
| Fig 104. Número de controles e investigaciones de la Red (Morrison, 2007). | 83 |
| Fig 105. Visualización de un correlador. (Fuente Mejoras Grupo). | 83 |
| Fig 106. Esquema de Funcionamiento del Correlador. | 84 |
| Fig 107. Velocidades de propagación dependiendo del material. | 84 |
| Fig 108. Visualización de los elementos del Geófono. | 85 |
| Fig 109. Mapa de presiones de la Red de la ciudad de Riobamba (mca). | 86 |
| Fig 110. Ahorro del volumen fugado. | 87 |
| Fig 111. Red El Tratamiento. | 92 |
| Fig 112. Red El Recreo. | 93 |
| Fig 113. Red San José de Tapi. | 94 |
| Fig 114. Red El Carmen. | 95 |

| | |
|---|-----|
| Fig 115. Red La Saboya..... | 96 |
| Fig 116. Red Maldonado..... | 97 |
| Fig 117. Red Piscin..... | 98 |
| Fig 118. Red San Martín de Veranillo..... | 99 |
| Fig 119. Red Yaruquies..... | 100 |
| Fig 120. Formato Shape, demandas para el primer escenario..... | 102 |
| Fig 121. Demanda base para el sector La Saboya..... | 103 |
| Fig 122. Método de Facturación en la Ciudad de Riobamba..... | 104 |
| Fig 123. Detalle topográfico de la Red Tapi (m)..... | 108 |
| Fig 124. Mapa de presiones del sector Tapi (mca)..... | 108 |
| Fig 125. Caudales circulantes de la Red Tapi (l/s)..... | 109 |
| Fig 126. Evolución del caudal en la Tubería arterial de Φ 290,8 mm..... | 109 |
| Fig 127. Velocidades en las conducciones (m/s). Izquierda: Mínimas Derecha: Máximas..... | 110 |
| Fig 128. Pérdidas Unitarias que generan las tuberías (mca/km)..... | 110 |
| Fig 129. Detalle topográfico de la Red el Recreo (m)..... | 111 |
| Fig 130. Mapa de presiones del sector El Recreo (mca)..... | 111 |
| Fig 131. Caudales circulantes de la Red El Recreo (l/s)..... | 112 |
| Fig 132. Evolución del caudal en la Tubería arterial de Φ 290,8 mm..... | 112 |
| Fig 133. Velocidades en las conducciones (m/s). Izquierda: Mínimas Derecha: Máximas..... | 113 |
| Fig 134. Pérdidas Unitarias que generan las tuberías (mca/km)..... | 113 |
| Fig 135. Detalle topográfico de la Red Maldonado (m)..... | 114 |
| Fig 136. Mapa de presiones del sector Maldonado (mca)..... | 114 |
| Fig 137. Caudales circulantes de la Red Maldonado (l/s)..... | 115 |
| Fig 138. Evolución del caudal en la Tubería arterial de Φ 469 mm..... | 115 |
| Fig 139. Velocidades en las conducciones (m/s). Izquierda: Mínimas Derecha: Máximas..... | 116 |
| Fig 140. Pérdidas Unitarias que generan las tuberías (mca/km)..... | 116 |
| Fig 141. Detalle topográfico de la Red El Piscin (m)..... | 117 |
| Fig 142. Mapa de presiones del sector El Piscin (mca)..... | 117 |
| Fig 143. Caudales circulantes de la Red El Piscin (l/s)..... | 118 |
| Fig 144. Velocidades en las conducciones (m/s). Izquierda: Mínimas Derecha: Máximas... .. | 118 |
| Fig 145. Pérdidas Unitarias que generan las tuberías (mca/km)..... | 119 |

TABLAS.

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Datos Meteorológicos de Riobamba (Estación Meteorológica ESPOCH, 2014)..... | 5 |
| Tabla 2. Proyecciones de la Población Ecuatoriana (INEC)..... | 7 |
| Tabla 3. Captaciones superficiales y subterráneas (EMAPAR)..... | 10 |
| Tabla 4. Características de los 7 Pozos de Llio (EMAPAR)..... | 10 |
| Tabla 5. Caudal medio registrado con medidor electrónico (EMAPAR)..... | 11 |
| Tabla 6. Captaciones de vertientes y pozos subterráneos (EMAPAR)..... | 11 |
| Tabla 7. Resumen de los tanques de almacenamiento de las diferentes zonas..... | 13 |
| Tabla 8. Longitud de las tuberías por sectores..... | 16 |
| Tabla 9. Diámetros existentes en la red de distribución..... | 16 |



| | |
|---|-----|
| Tabla 10. Datos de Volúmenes Inyectados de toda la red (EMAPAR). | 18 |
| Tabla 11. Volúmenes inyectados de cada sector (EMAPAR). | 18 |
| Tabla 12. Datos de Volúmenes facturados de la ciudad (EMAPAR). | 19 |
| Tabla 13. Datos de Volúmenes facturados de cada sector (EMAPAR). | 19 |
| Tabla 14. Determinación del Rendimiento Volumétricos de la Ciudad de Riobamba..... | 20 |
| Tabla 15. Determinación de los rendimientos volumétricos de cada sector. | 21 |
| Tabla 16. Identificación con las iniciales de cada sector..... | 25 |
| Tabla 17. Clasificación de la información (diámetro, longitud, sector). | 26 |
| Tabla 18. Comparación de las presiones (EPANET vs MEDICIÓN in situ). | 38 |
| Tabla 19. Iteraciones del coeficiente global de fugas (EMAPAR Q Inyectado 866.62 l/s)..... | 39 |
| Tabla 20. Detalle de los valores del coeficiente global de fugas para cada sector..... | 46 |
| Tabla 21. Tuberías que ejercerían mayores pérdidas. | 53 |
| Tabla 22. Velocidades máximas en las conducciones..... | 55 |
| Tabla 23. Tuberías que ejercerían mayores pérdidas. | 58 |
| Tabla 24. Instalación de Válvulas reductoras de presión..... | 68 |
| Tabla 25. Comparación del volumen Inyectado con y sin válvulas reductoras de presión. | 78 |
| Tabla 26. Precios de la Instalación de las Válvulas Reductoras de Presión. | 80 |
| Tabla 27. Iteraciones del coeficiente global de fugas (EMAPAR Q Inyectado 813,65 l/s)..... | 85 |
| Tabla 28. Ahorro del volumen fugado con la implementación del control activo de fugas.... | 86 |
| Tabla 29. Resumen de las Tuberías Red Tratamiento..... | 92 |
| Tabla 30. Resumen de las Tuberías Red El Recreo..... | 93 |
| Tabla 31. Resumen de las Tuberías Red San José de Tapi. | 94 |
| Tabla 32. Resumen de las Tuberías Red El Carmen. | 95 |
| Tabla 33. Resumen de las Tuberías Red La Saboya..... | 96 |
| Tabla 34. Resumen de las Tuberías Red Maldonado. | 97 |
| Tabla 35. Resumen de las Tuberías Red Piscin..... | 98 |
| Tabla 36. Resumen de las Tuberías Red San Martín de Veranillo..... | 99 |
| Tabla 37. Resumen de las Tuberías Red Yaruquies..... | 100 |
| Tabla 38. Formato de entrega a la Agencia de Regulación y Control (EMAPAR). | 101 |
| Tabla 39. Cálculo de los consumos de cada sector. | 103 |
| Tabla 40. Costo del m ³ de agua potable en la ciudad..... | 104 |
| Tabla 41. Cálculo del coeficiente global de fugas mediante iteraciones. Rendimiento Volumétrico 72,2 %. Q Inyectado EMAPAR 866,62 l/s..... | 105 |
| Tabla 42. Cálculo del coeficiente global de fugas mediante iteraciones. Rendimiento Volumétrico 80 %. Q Inyectado EMAPAR 813,65 l/s. | 106 |
| Tabla 43. Cálculo del coeficiente global de fugas mediante iteraciones para cada sector. Rendimiento Volumétrico individual. | 107 |
| Tabla 44. Tuberías que ejercerían mayores pérdidas. | 110 |
| Tabla 45. Tuberías que ejercerían mayores pérdidas. | 113 |
| Tabla 46. Tuberías que ejercerían mayores pérdidas. | 116 |
| Tabla 47. Tuberías que ejercerían mayores pérdidas. | 119 |

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de distribución de agua potable son parte fundamental en el transcurso cotidiano, el bienestar y el desarrollo de la población. En este tipo de sistemas existe la incertidumbre sobre la escasez, la distribución irregular y la deficiencia de la red de abastecimiento. En la actualidad los ordenadores permiten mediante software realizar simulaciones para obtener escenarios futuros en donde se analizan: redes de tuberías, cisternas, accesorios, bombas, depósitos, horarios de consumos, demandas, etc. Así tener un control adecuado y garantizar un mejor suministro de agua potable.

El presente proyecto, tiene como principal objetivo crear un modelo hidráulico funcional para la ciudad de Riobamba (Ecuador), con el fin de analizar, evaluar y verificar el comportamiento de la red de agua potable, además establecer escenarios para obtener un control adecuado, una operación eficiente y una mejor planificación en la distribución del fluido. A cada momento se tiene la inseguridad si la red será capaz de resistir y satisfacer cada una de las demandas, es por ello que la ciudad debe tener un conjunto de alternativas para brindar una solución eficaz con un ahorro económico y sobre todo sostenible.

Actualmente Riobamba no cuenta con un modelo que ayude a detectar anomalías de la red, es así que con la ayuda del trabajo que se propone, se podrá localizar las deficiencias del sistema de distribución. Para la realización del proyecto se cuenta con la ayuda fundamental de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba (EMAPAR), la cual es responsable de proporcionar los datos necesarios para la correcta elaboración del modelo hidráulico.

Para el desarrollo del modelo se utilizan programas como: *ARCGIS 10.3*, *ARCVIEW 3.2* (con la extensión *GISRed* confeccionado por el Grupo de Aguas de Valencia en colaboración con el Departamento de Ingeniería Hidráulica de la Universidad Politécnica de Valencia), y *EPANET 2.0*, el cual será el encargado de realizar las simulaciones adecuadas e identificar las deficiencias y problemas de la red. Una vez con el modelo ajustado a la realidad, será necesario compararlo con puntos estratégicos para analizar las presiones y verificar la bondad que tiene la modelación propuesta, es necesario tener presente que mientras los datos sean más fiables se tendrá un modelo más próximo al comportamiento real del sistema.

1.1 OBJETIVOS

A modo general, los objetivos perseguidos con el presente trabajo son:

- Crear un modelo matemático funcional de la red, con el fin de mejorar la gestión en el abastecimiento y el mantenimiento del sistema.
- Garantizar una herramienta útil para conocer en profundidad el funcionamiento de la red de abastecimiento y establecer las posibles modificaciones o ampliaciones que se puedan realizar en la distribución de agua potable de la ciudad de Riobamba.
- Evaluar y analizar el comportamiento del sistema de agua y establecer escenarios futuros: aumento en la demanda, cierres de tuberías, sectorizaciones, instalaciones de válvulas reductoras, etc. Además verificar qué tuberías están trabajando con mayores solicitudes.
- Realizar un diagnóstico con el fin de identificar las deficiencias en operación e infraestructura de la red y plantear estrategias de solución, así garantizar la continuidad y calidad del servicio.
- Efectuar un análisis de las demandas y patrones de consumo de la red existente, en base a los registros de consumo, aforos y micro mediciones.
- Identificar los puntos críticos de la red de abastecimiento en condiciones normales de trabajo mediante el modelo desarrollado.
- Implementar una distribución adecuada de válvulas reductoras de presión para evitar la existencia de presiones elevadas en la red, y contribuir directamente al volumen de fugas en el sistema.
- Analizar cada una de las sectorizaciones presentadas por la Empresa EMAPAR, y comprobar si tienen un control adecuado y eficaz que facilite la distribución del fluido a los habitantes de la ciudad.

2. ANTECEDENTES

2.1 SAN PEDRO DE RIOBAMBA

Riobamba es la capital de la Provincia de Chimborazo, está ubicada en el centro del país (Ecuador), en la cordillera de los Andes. Se encuentra rodeada por un paisaje hermoso, adornado de hermosas cordilleras y pequeños valles. En esta ciudad se encuentra el Chimborazo, uno de los nevados más importantes del Ecuador con una altura de 6.310 metros sobre el nivel del mar.

La ciudad fue fundada el 14 de Agosto de 1534 por Diego de Almagro, fue habitada por la nacionalidad Puruhá antes de la llegada de los españoles. El 4 de Febrero de 1797 es destruida por un terremoto, pero en 1799 es reconstruida en su actual ubicación “La llanura de Tapi”. Riobamba tiene el privilegio de ser una de las primeras ciudades fundadas por los españoles en el territorio Ecuatoriano. Una vez que Ecuador se separa de la Gran Colombia, el 14 de Agosto de 1830, se realiza la primera Asamblea Constituyente del país en el Colegio Pedro Vicente Maldonado de Riobamba.

La principal actividad económica de la ciudad proviene de la producción agrícola, además, existen industrias tales como: cerámica, lácteos, cementeras, molineras, fabricación de hornos, turismo, etc.

2.2 EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE RIOBAMBA

La Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba EMAPAR, fue creada mediante la ordenanza No. 010-2004, publicada en el Registro Oficial No. 442 el 14 de Octubre del 2004. Inicia sus actividades con autonomía operativa, administrativa, patrimonial, y financiera el 24 de Septiembre del 2004, con el objetivo de brindar servicios de agua potable y alcantarillado.

Se encuentra formada por 5 direcciones: Comercial, Financiera, Técnica, Administrativa, y de Ingeniería que son el eje fundamental para un proceso de gestión eficaz, transparente y eficiente en las prestaciones de los servicios de alcantarillado y agua potable hacia los ciudadanos.

3. ZONA DE ESTUDIO

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La ciudad de Riobamba se localiza en el centro geográfico del país (ver Fig 1), por eso es considerada como el corazón de la Patria, está situada en la hoya de Chambo a una distancia de 196 Km de Quito (Capital del Ecuador). Conocida como la Sultana de los Andes está rodeada por majestuosos volcanes entre ellos: el Tungurahua, el Altar, el Cariguayrazo, y el Chimborazo.

Se encuentra a una altura de 2.750 msnm y está dividida en 5 parroquias urbanas: Veloz, Maldonado, Velasco, Lizarzaburu y Yaruquies. El área aproximada es de 50 km², con una población de alrededor de 249.891 habitantes (año 2015).



Fig 1. Ubicación Geográfica de la ciudad de Riobamba.

3.2 CLIMATOLOGÍA

La ciudad de Riobamba por estar ubicada a 2.750 msnm pertenece al piso climático templado interandino, presentando una época lluviosa templada y una seca con vientos fuertes (INAMHI). La temperatura media oscila entre los 14 °C, pero en las noches y madrugadas pueden llegar a temperaturas de 5 °C.

Otros datos característicos de la ciudad son:

- Precipitación anual: 300 a 500 mm.
- Velocidad del viento: 14 km/h.
- Temperatura media: 14 °C.
- Humedad Relativa: 65 %.

Tabla 1. Datos Meteorológicos de Riobamba (Estación Meteorológica ESPOCH, 2014).

| Mes | Temperatura (°C) | | | Humedad Relativa (%) | | | Precipitación (mm) |
|-----------------|------------------|--------|--------|----------------------|--------|--------|--------------------|
| | Media | Máxima | Mínima | Media | Máxima | Mínima | |
| Agosto 2014 | 11,9 | 19,7 | 7,6 | 60,7 | 91,6 | 26,3 | 19,7 |
| Septiembre 2014 | 12,8 | 20,4 | 7,3 | 55,4 | 87,6 | 22,6 | 65,2 |
| Octubre 2014 | 13,5 | 21,5 | 8,8 | 60,4 | 87,9 | 24,2 | 61,7 |
| Noviembre 2014 | 14,4 | 22,9 | 9,1 | 58,3 | 88,6 | 22,2 | 28,4 |
| Diciembre 2015 | 13,6 | 22 | 8,9 | 73,6 | 95,4 | 40,7 | 38,8 |
| Enero 2015 | 13,3 | 20,4 | 9,5 | 72,6 | 92,7 | 43,2 | 34,2 |
| Febrero 2015 | 14,4 | 22,6 | 9,6 | 68,9 | 92,1 | 35,7 | 29,3 |
| Marzo 2015 | 13,8 | 20,5 | 10,4 | 75,8 | 93,7 | 46,2 | 113,2 |
| Abril 2015 | 13,3 | 20,1 | 9,7 | 76,9 | 95,3 | 46,3 | 44,2 |
| Mayo 2015 | 13,2 | 20,3 | 9,7 | 75,9 | 94,6 | 45,0 | 43,1 |
| Junio 2015 | 12,6 | 20,0 | 8,6 | 74,1 | 94,4 | 42,3 | 24,9 |
| Julio 2015 | 13,6 | 20,5 | 9,6 | 66,4 | 90,8 | 30,0 | 89,4 |

3.3 TOPOGRAFÍA

El Ecuador está dividido en 4 regiones naturales: Costa, Sierra, Amazonía (Regiones Continentales) y Galápagos (Región Insular), las regiones continentales están delimitadas por las cadenas montañosas de los Andes. Riobamba está situada en la depresión interandina, la cual posee una extensión aproximada de 300 Km por 25 Km de ancho.

Esta zona se caracteriza por tener depresiones tectónicas geomorfológicas, rellenas principalmente por depósitos de origen volcánico. Las alturas aproximadas en el interior de la ciudad oscilan entre 2.500 a 3.000 metros.

Las siguientes figuras muestran la simulación de la ciudad obtenida con ArcMap.

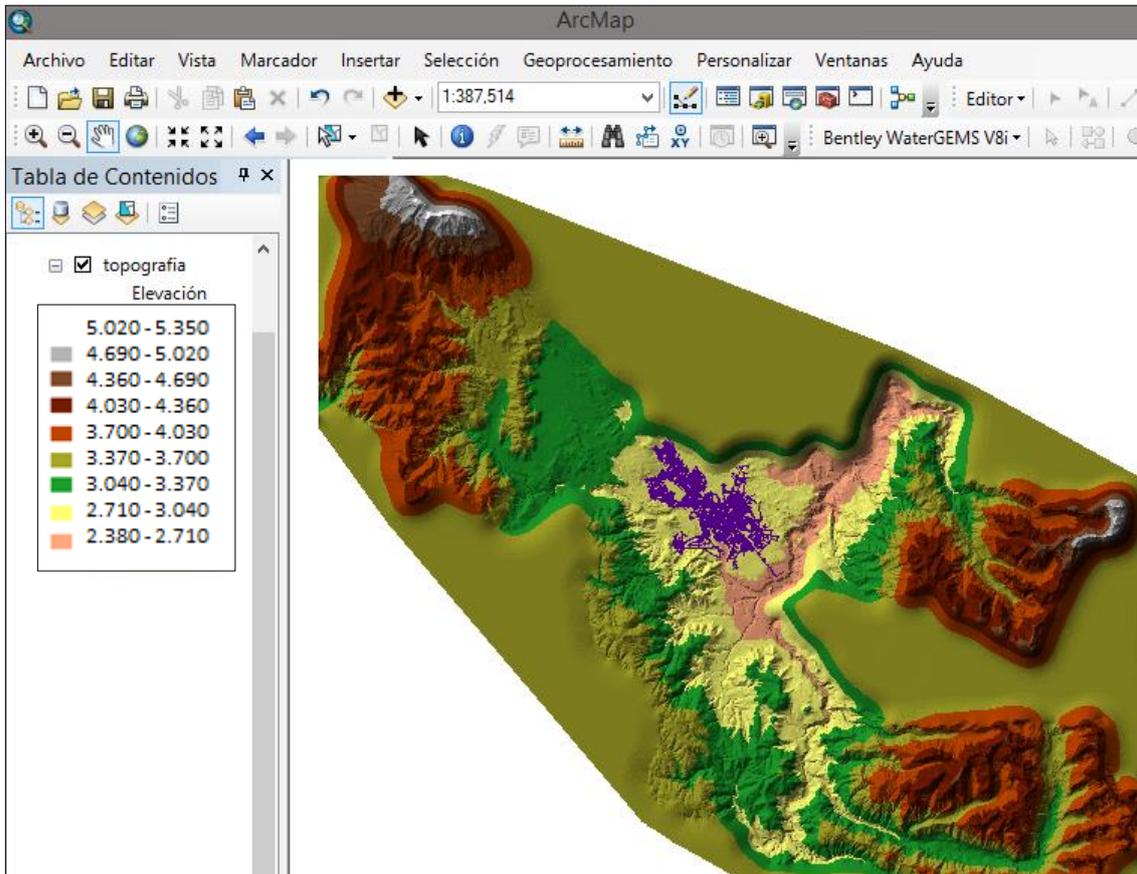


Fig 2. Visualización topográfica en Arc Map de la Llanura de Tapi (m).

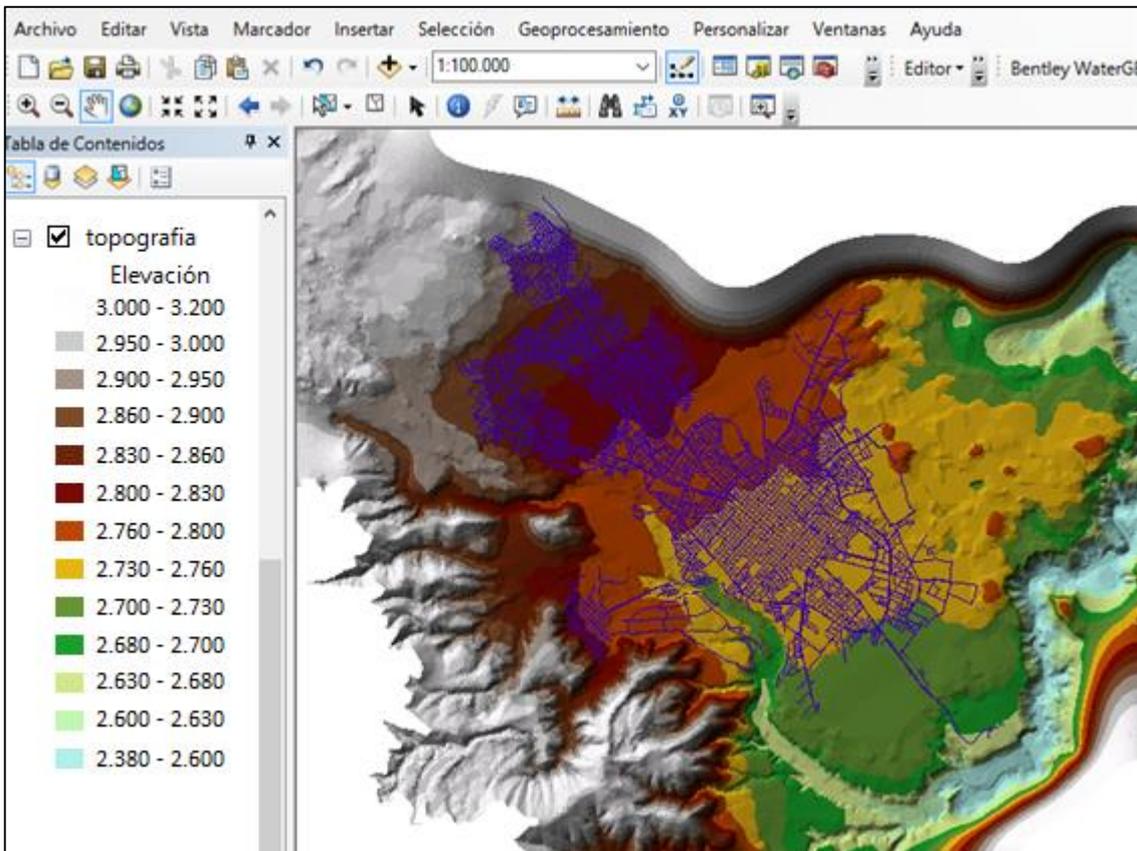


Fig 3. Visualización topográfica en Arc Map de la ciudad de Riobamba (m).

3.4 DEMOGRAFÍA

El último censo poblacional realizado por la INEC (Institución Nacional de Estadísticas y Censo) en el año 2010, establece que en la ciudad de Riobamba existen 225.741 habitantes de los cuales el 53 % son mujeres y el 47 % son hombres. El área urbana cuenta con 156.723 habitantes que representan el 69,43 % y de 69.018 habitantes en el área rural con el 30,57 % restante. La siguiente figura muestra el detalle de la población para el año 2010.

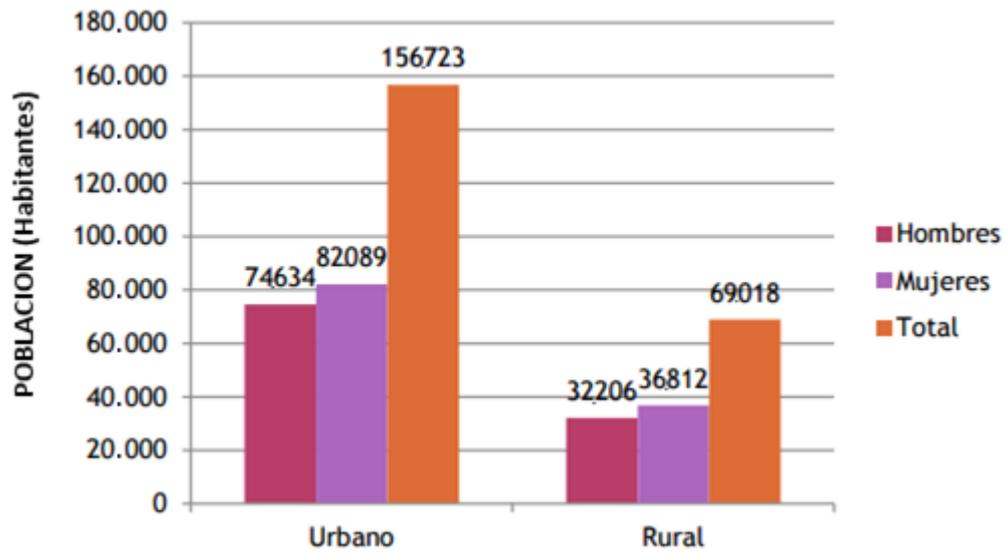


Fig 4. Censo Poblacional del año 2010 (INEC).

Mediante una proyección realizada por el INEC, se estima que en el año 2020 existirá en la ciudad de Riobamba 264.048 habitantes, por lo tanto, el modelo servirá para presentar escenarios futuros que logren confirmar si la red cumplirá de manera eficaz ese crecimiento poblacional, o a su vez que alternativas se pueden presentar para la distribución eficaz del fluido.

Tabla 2. Proyecciones de la Población Ecuatoriana (INEC).

| PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN ECUATORIANA | | | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 2010-2020 | | | | | | | |
| Ciudad | 2010 | 2014 | 2015 | 2016 | 2018 | 2019 | 2020 |
| CUENCA | 524.563 | 569.416 | 580.706 | 591.996 | 614.539 | 625.775 | 636.996 |
| RIOBAMBA | 225.741 | 246.861 | 249.891 | 252.865 | 258.597 | 261.360 | 264.048 |
| GUAYAQUIL | 2.440.553 | 2.560.505 | 2.589.229 | 2.617.349 | 2.671.801 | 2.698.077 | 2.723.665 |
| QUITO | 2.319.671 | 2.505.344 | 2.551.721 | 2.597.989 | 2.690.150 | 2.735.987 | 2.781.641 |

4. DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

4.1 INTRODUCCIÓN

La Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba (EMAPAR), es la encargada de administrar de agua potable a la ciudad. El abastecimiento se realiza gracias a las captaciones de vertientes y pozos subterráneos. Se debe suministrar un consumo promedio mensual de 1,18 Hm³.

Tal como indica la siguiente figura, para el abastecimiento la ciudad se ha distribuido en nueve sectores: Tratamiento, Tapi, Recreo, Carmen, Saboya, Maldonado, Piscin, Veranillo, y Yaruquies, estas zonas están localizadas estratégicamente por su altura en cabecera. El suministro se realiza por gravedad, contando en cada sector con su depósito individual de almacenamiento.

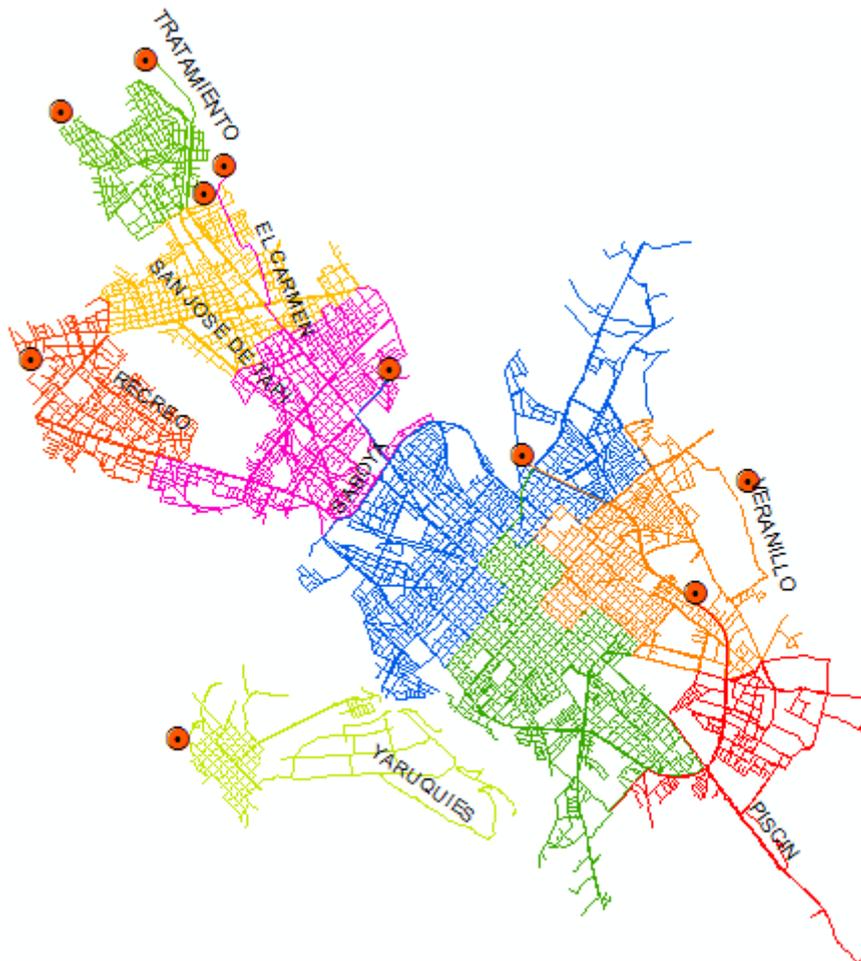


Fig 5. Mapa de la Distribución de Agua Potable.

El suministro actual en la red es continuo (24 h) en 5 de los nueve sectores. Los restantes tienen entre 18 a 20 horas de servicio, esto conlleva a que en muchos de los domicilios existan aljibes para poder compensar la escasez del fluido. Con este trabajo se pretende elaborar un modelo que permita conocer todas las carencias que puedan existir en el suministro de agua y verificar si el sistema puede trabajar con una distribución continua en todas las zonas de la ciudad.

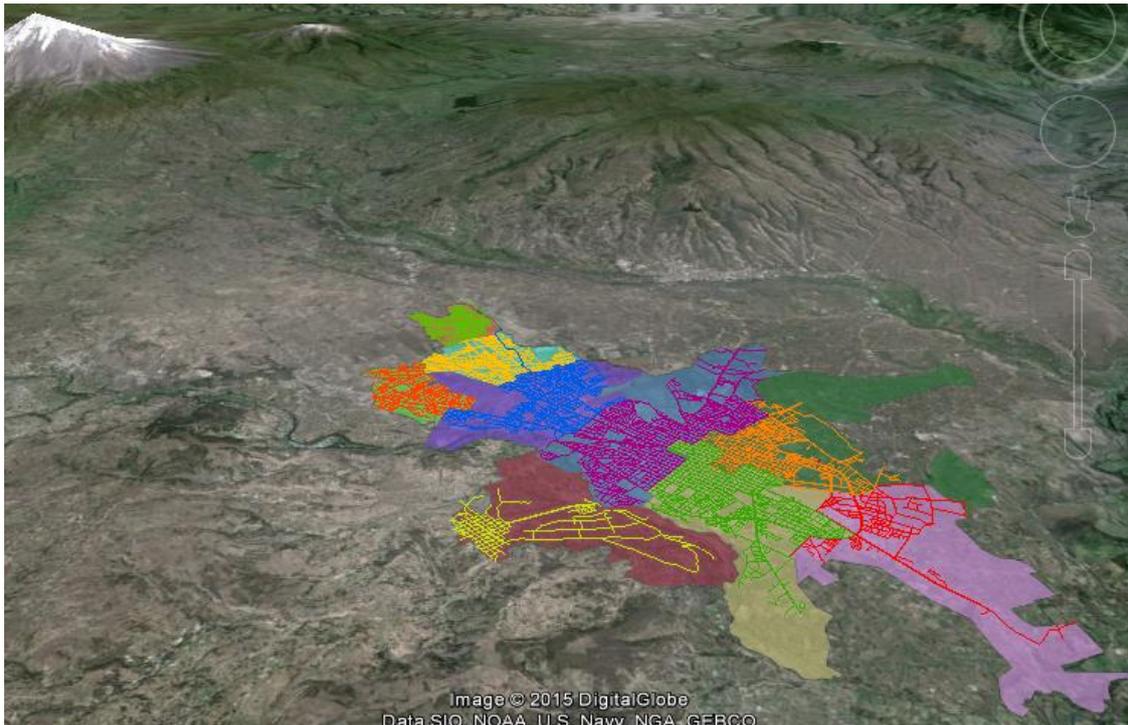


Fig 6. Foto aérea con la superposición del sistema de abastecimiento de agua.

4.2 ABASTECIMIENTO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA

La empresa debe abastecer cada una de las demandas ocasionadas por la ciudad, actualmente con 249.891 habitantes (año 2015), para este objetivo se cuenta con agua superficial (vertientes naturales) y aguas subterráneas. A continuación se detallan las principales captaciones con las que cuenta la red de abastecimiento.

4.2.1 CAPTACIONES

La captación se realiza desde dos fuentes importantes; las superficiales de San Pablo que datan de los años de 1921 y las perforaciones de pozos en Llio desde 1981 (actualmente funcionan 7). Existen además algunos pozos con caudales pequeños que aportan con fluido para la distribución de la ciudad. La siguiente tabla muestra las principales fuentes de aporte.

Tabla 3. Captaciones superficiales y subterráneas (EMAPAR).

| Fuente | Tipo | Caudal (l/s) | Observaciones |
|--------------------|--------------------|--------------|--|
| San Pablo | Superficial | 252 | Vertiente Natural |
| Llio | Pozos | 295 | Compuesta por 7 Pozos |
| Yaruquies | Subterránea | 19 | Abastece al sector Yaruquies |
| Huerta | Pozos Subterráneos | 85 | Compuesta por pozos subterráneos ubicados estratégicamente |
| Servidores | | | |
| San Gabriel | | | |
| San Antonio | | | |
| Total (l/s) | | 651 | |

A continuación, y por su mayor importancia, se detallan las captaciones de San Pablo y Llio.

4.2.1.1 CAPTACIÓN SAN PABLO

La captación de San Pablo data de 1921, se ubica sobre los 3.118 msnm, y está formada por varias vertientes que se encuentran a 12 Km de la ciudad. Se obtiene una variación del caudal cuando el Nevado Chimborazo presenta deshielos al contar con temperaturas climáticas elevadas. En la actualidad se tiene una captación aproximada de 252 l/s.



Fig 7. Captación de vertientes naturales (San Pablo).

4.2.1.2 CAPTACIÓN LLIO

La captación Llio se encuentra a 3.100 msnm, se compone de siete pozos subterráneos provistos de bomba de eje vertical. En un principio en 1981 su funcionamiento normal era de 5 pozos y en 1989 se sumaron 2 más para obtener un caudal promedio de 295 l/s.

Tabla 4. Características de los 7 Pozos de Llio (EMAPAR).

| Pozo Nº | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Prof. del Pozo (m) | 54 | 55 | 15 | 48 | 55 | 61 | 39 |
| Prof. de la bomba (m) | 31 | 28 | 12 | 31 | 25 | 40 | 28 |
| Diámetro de la tubería del pozo (mm) | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |



Fig 8. Captación de los pozos subterráneos (Llio).

Tabla 5. Caudal medio registrado con medidor electrónico (EMAPAR).

| Número de Pozo | Caudal disponible (l/s) |
|--------------------|-------------------------|
| P1 | 28,08 |
| P2 | 47,87 |
| P3 | 37,23 |
| P4 | 65,45 |
| P5 | 46,06 |
| P6 | 26,05 |
| P7 | 44,26 |
| TOTAL (l/s) | 295 |

Además de las captaciones de Llio y San Pablo existen algunos pozos subterráneos que aportan un volumen considerable, los cuales se observan en la tabla 6:

Tabla 6. Captaciones de vertientes y pozos subterráneos (EMAPAR).

| Volumen de agua captada de las fuentes de agua (m ³ /mes) | | | | |
|--|-----------------|-----------|----------------------------------|---------------------------------------|
| Nombre | Coordenadas UTM | | Tipo (superficial o subterráneo) | Volumen Captado (m ³ /mes) |
| | X | Y | | |
| LLIO | 754.393 | 9.826.914 | SUBTERRÁNEO | 764.640 |
| SAN PABLO | 753.960 | 9.827.473 | SUPERFICIAL | 653.184 |
| YARUQUIES | 758.994 | 9.813.514 | SUBTERRÁNEO | 49.248 |
| SAN GABRIEL | 761.378 | 9.817.726 | SUBTERRÁNEO | 20.736 |
| LAS ABRAS | 761.874 | 9.817.955 | SUBTERRÁNEO | 36.288 |
| HUERTA | 758.498 | 9.815.993 | SUBTERRÁNEO | 59.616 |
| SERVIDORES | 759.022 | 9.816.459 | SUBTERRÁNEO | 103.680 |
| TOTAL | | | | 1.687.392 |

En total se tiene un volumen promedio captado de 1,68 Hm³/mes.

4.3 CONDUCCIONES Y TRANSPORTE

Para el transporte del volumen de agua se tienen habilitadas 3 líneas: la primera es la línea de conducción **San Pablo-Aereadores**, el cual conduce el fluido captado de las vertientes de San Pablo, y dos líneas de conducción **Llio-Aereadores** y **Maldonado-Aereadores** que son encargadas de transportar el agua de los pozos subterráneos de Llio. Estas tuberías tienen un solo objetivo, el de trasladar el agua registrada por las fuentes de captación hacia la planta de tratamiento, donde tienen un proceso de aireación y desinfección con cloro gas para posteriormente ser distribuida por tubería PVC a cada uno de los tanques de almacenamiento.



Fig 9. Esquema de la captación y distribución de agua potable.

4.3.1 CONDUCCIÓN SAN PABLO-AEREADORES

Fue construida en el año de 1921, inicia su trayecto en las captaciones de las fuentes de San Pablo en la cota de 3.118 m, el agua es transportada a una distancia de 7.500 m hacia la planta de aireadores por una tubería de 300 mm de diámetro de acero al carbono con revestimiento bituminoso.

4.3.2 CONDUCCIÓN LLIO-AEREADORES

Esta conducción está formada por dos tuberías en paralelo, denominadas Llio y Maldonado - Aireadores con una longitud de 8.600 m. Su punto inicial está ubicado a 3.100 msnm y conduce el volumen de agua ofertado por los pozos de Llio mediante una tubería de 300 mm de diámetro.

4.4 TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Para lograr el abastecimiento de la población, la ciudad cuenta con 17 tanques de reserva distribuidos en las nueve zonas. Se encuentran ubicados en cotas apropiadas para brindar una presión suficiente y garantizar un adecuado suministro.

Están fabricados de hormigón armado, cuentan con una válvula de compuerta para proporcionar el caudal a las redes de distribución, una válvula de desagüe para mantenimiento y limpieza, sensores de nivel para evitar que desborden al llegar a una altura máxima de fluido, y un contador que registra el caudal inyectado en cada sector.

Tabla 7. Resumen de los tanques de almacenamiento de las diferentes zonas.

| DENOMINACIÓN DE LA RESERVA | UBICACIÓN | # DE TANQUES | REF | CAPACIDAD (m ³) | ESTADO ACTUAL |
|----------------------------|-----------------------------|--------------|-----|-----------------------------|---------------|
| El Tratamiento | Aereadores | 1 | A | 1.000 | En Servicio |
| Santa Anita | Santa Anita | 1 | A | 100 | En Servicio |
| El Recreo | Primero de Mayo | 3 | A | 500 | En Servicio |
| | | | B | 500 | En Servicio |
| | | | C | 500 | En Servicio |
| San José de Tapi | Prados del Norte | 1 | A | 2.000 | En Servicio |
| El Carmen | Ciudad Balboa | 2 | A | 1.500 | Sin Servicio |
| | | | B | 2.000 | En Servicio |
| Saboya | Saboya Civil | 5 | A | 1.000 | En Servicio |
| | | | B | 1.000 | En Servicio |
| | | | C | 1.000 | En Servicio |
| | | | D | 2.000 | En Servicio |
| | | | E | 2.000 | En Servicio |
| Maldonado, Veranillo | Junto al Colegio Maldonado | 2 | A | 2.500 | En Servicio |
| | | | B | 2.500 | En Servicio |
| Piscin | Barrio Piscin | 1 | A | 2.000 | En Servicio |
| Yaruquies | Barrio mirador de Yaruquies | 1 | A | 1.000 | En Servicio |



Fig 10. Visualización de los tanques de reserva.

5. SECTORIZACIÓN ACTUAL

La red de distribución de la ciudad de Riobamba, para tener una mejor gestión y distribución, se ha sectorizado en 9 zonas tal como se ha indicado anteriormente. Las siguientes figuras detallan la ubicación y extensiones correspondientes para cada uno de los sectores de la red de agua.

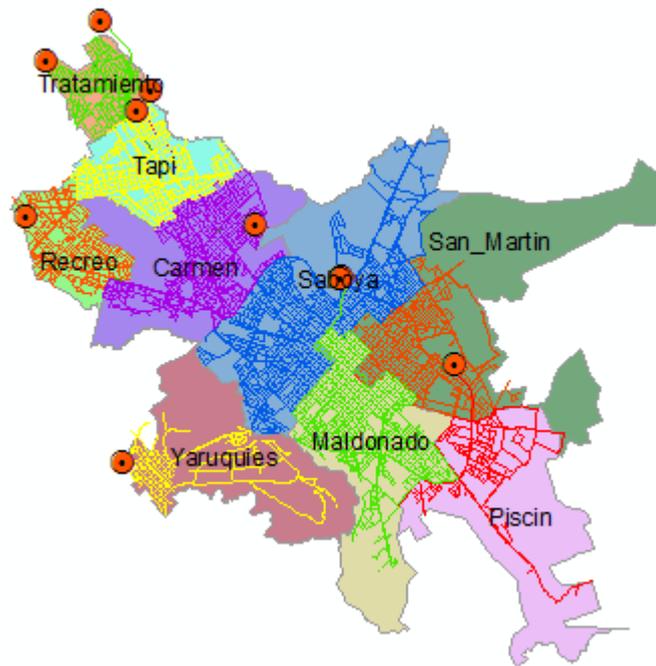


Fig 11. Superficies actuales de las sectorizaciones.

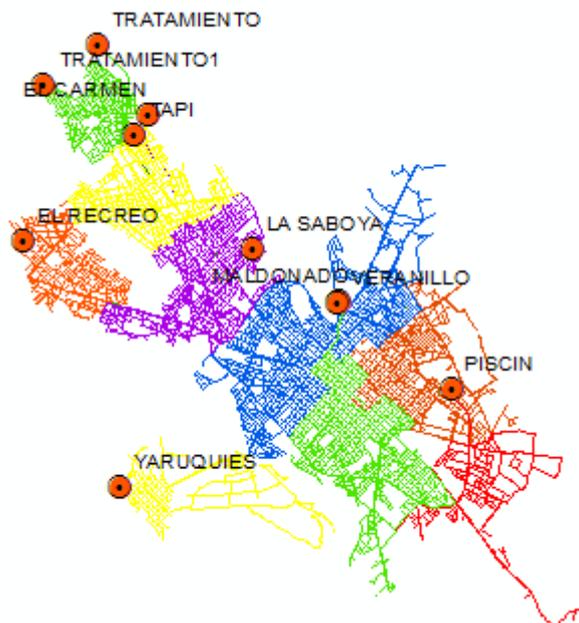


Fig 12. Mapa de las Redes de abastecimiento de la ciudad.

5.1 CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Para la distribución de agua potable en Riobamba existen alrededor del 98 % de redes malladas, garantizando así el abastecimiento equilibrado de cada uno de los consumidores en cada sector, además de tener una mejor garantía en el suministro de la ciudad. La siguiente figura muestra el detalle de los diámetros de tuberías instalados por la empresa en las diferentes zonas de la red.

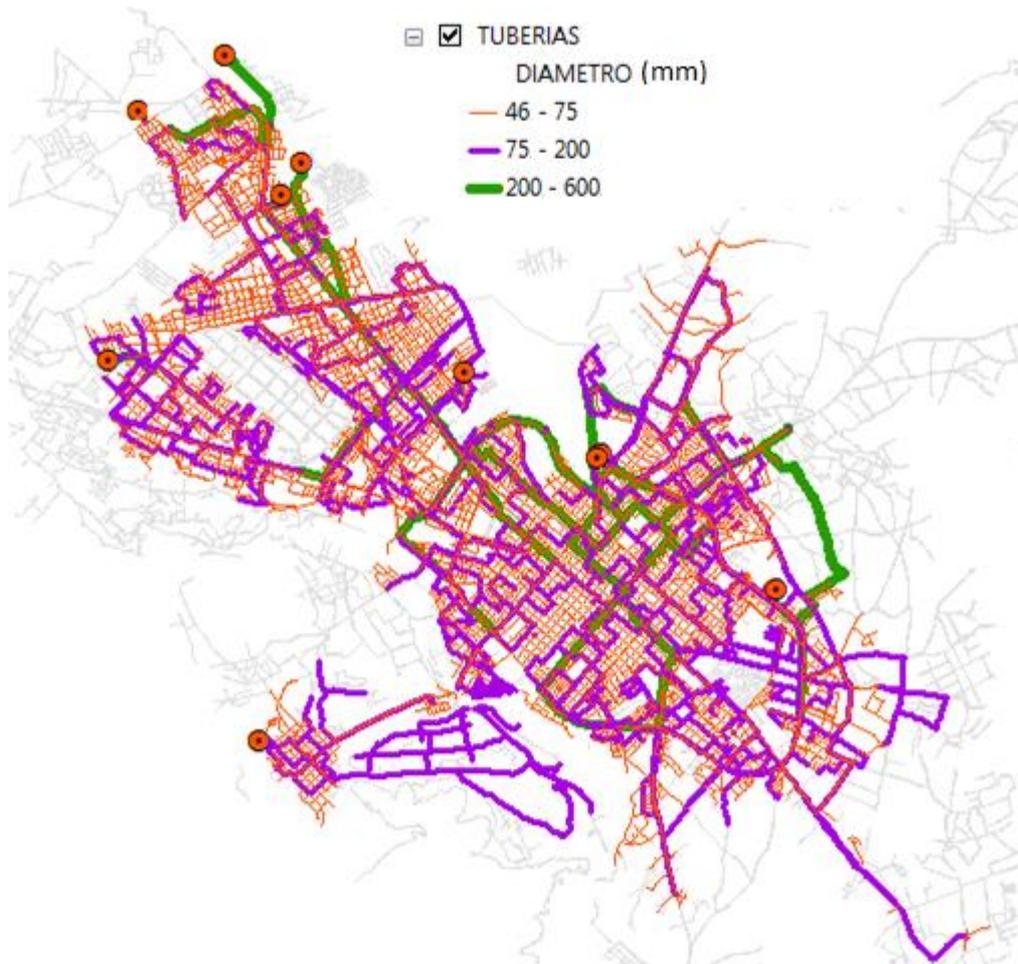


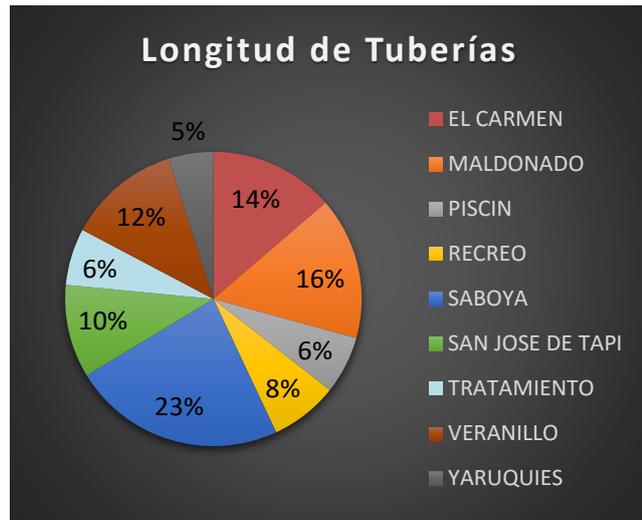
Fig 13. Detalle de diámetros en la red (mm).

5.1.1 LONGITUDES DE TUBERÍA

La red está constituida por una longitud total de 745 Km. Tal como indica la siguiente tabla, la distribución de kilómetros de tuberías en los diferentes sectores no es uniforme, siendo el sector la Saboya el que cuenta con una mayor longitud de tuberías (173 km), ya que tiene un mayor número de abonados.

Tabla 8. Longitud de las tuberías por sectores

| RED | Longitud (km) |
|------------------|---------------|
| EL CARMEN | 101,7 |
| MALDONADO | 116,5 |
| PISCIN | 47,3 |
| RECREO | 55,2 |
| SABOYA | 173,4 |
| SAN JOSE DE TAPI | 76,2 |
| TRATAMIENTO | 46,5 |
| VERANILLO | 92,0 |
| YARUQUIES | 36,3 |
| TOTAL | 745,1 |

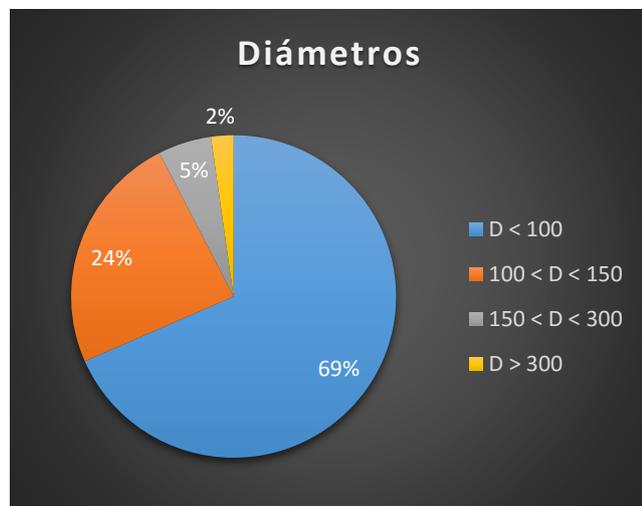


5.1.2 DIÁMETROS

En cuanto a diámetros, en la ciudad existen conducciones arteriales que poseen mayor diámetro y son las encargadas de transportar el agua hacia las tuberías de distribución para el correcto abastecimiento de los consumidores.

Tabla 9. Diámetros existentes en la red de distribución.

| Diámetro (mm) | Longitud (Km) |
|----------------------------|---------------|
| D < 100 | 509,8 |
| 100 < D < 150 | 179,1 |
| 150 < D < 300 | 39,5 |
| D > 300 | 16,7 |
| Total | 745,1 |



5.1.3 MATERIALES

El material que predomina en mayor porcentaje es el PVC, pues la empresa EMAPAR se ha enfocado en cambiar las tuberías antiguas de la ciudad y así garantizar la resistencia de las redes, luchar contra la corrosión y ayudar a tener una mejor calidad del agua. En el [Anejo 1 - Detalles de las Sectorizaciones](#), se especifica de forma particularizada cada uno de los sectores.

6. BALANCE HÍDRICO

En cada uno de los sectores de la red, se dispone de medidores de caudal en los tanques tal como muestran las figuras 14 y 15. De esta forma es posible conocer el caudal inyectado desde diferentes puntos. En el presente apartado se realiza un balance hídrico para conocer el porcentaje de agua que es verdaderamente aprovechada por los habitantes. Para ello se analizan los volúmenes inyectados y consumidos por la ciudad de Riobamba y así se estima el rendimiento volumétrico de la red. En este caso la empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado facilitó datos del año 2014, para poder ejecutar un análisis global y a su vez uno detallado de cada uno de los sectores.

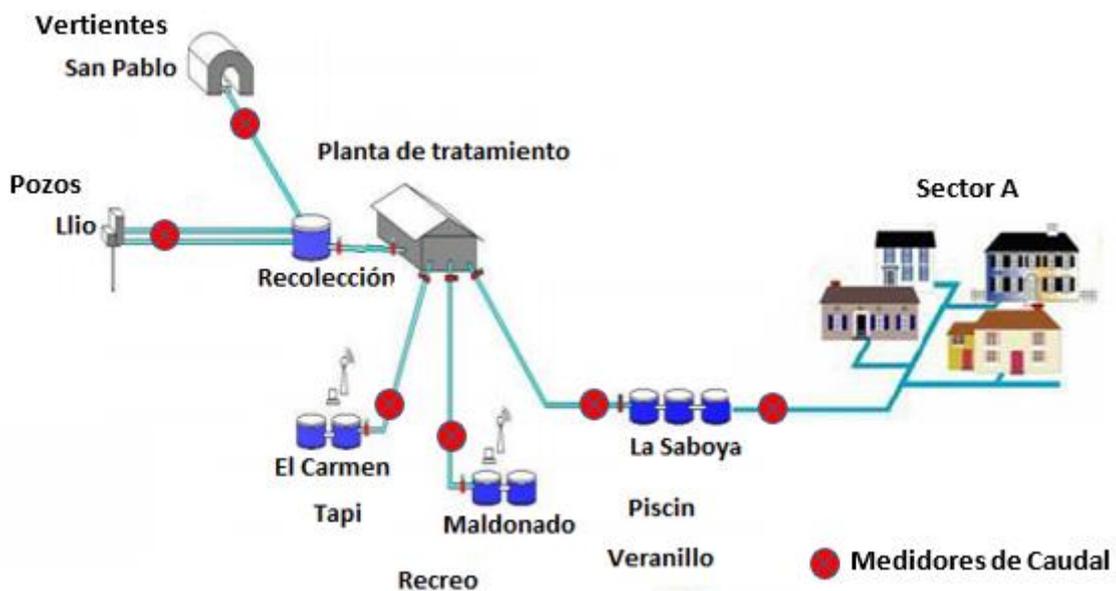


Fig 14. Esquema del funcionamiento de la Red.

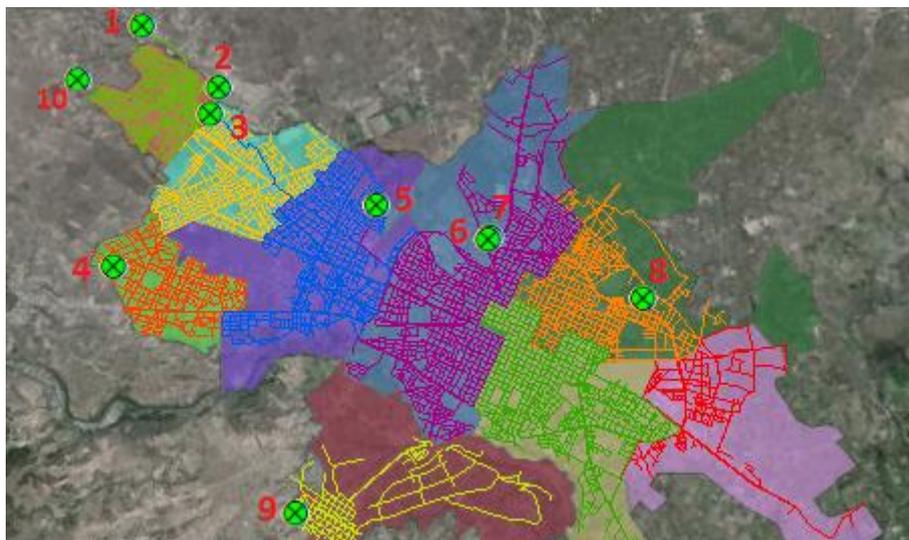


Fig 15. Tanques de reserva con medidores de caudal instalados.

6.1 VOLUMEN DE AGUA INYECTADA

El agua inyectada o producida es aquella que es medida por parte de la empresa en cada una de las salidas de los tanques de almacenamiento de la ciudad. El sistema tiene colocado contadores en cada uno de los tanques de reserva, es así que se tiene un control adecuado del volumen inyectado en cada sector, tal como muestran las siguientes tablas.

Tabla 10. Datos de Volúmenes Inyectados de toda la red (EMAPAR).

| PERIODO | Volumen Inyectado (Hm ³ /mes) |
|-----------------|--|
| Enero-14 | 1,60 |
| Febrero-14 | 1,61 |
| Marzo-14 | 1,63 |
| Abril-14 | 1,61 |
| Mayo-14 | 1,64 |
| Junio-14 | 1,66 |
| Julio-14 | 1,65 |
| Agosto-14 | 1,65 |
| Septiembre-14 | 1,66 |
| Octubre-14 | 1,65 |
| Noviembre-14 | 1,65 |
| Diciembre-14 | 1,64 |
| PROMEDIO | 1,64 |

A continuación se observa a detalle los volúmenes promedios que son inyectados mensualmente a la red en cada uno de los sectores.

Tabla 11. Volúmenes inyectados de cada sector (EMAPAR).

| # | SECTOR | SUPERFICIE (km ²) | POBLACIÓN (Habitantes) | Volumen Inyectado (m ³ /mes) |
|---|--------------|-------------------------------|------------------------|---|
| 1 | Tratamiento | 1,68 | 5.600 | 44.686 |
| 2 | Tapi | 3,06 | 10.600 | 87.713 |
| 3 | Recreo | 2,2 | 7.700 | 62.856 |
| 4 | Carmen | 6,12 | 25.000 | 217.080 |
| 5 | Saboya | 9,07 | 63.400 | 528.327 |
| 6 | Maldonado | 6,21 | 38.100 | 312.284 |
| 7 | Veranillo | 9,44 | 28.300 | 229.469 |
| 8 | Piscin | 6,46 | 8.590 | 70.398 |
| 9 | Yaruquies | 5,75 | 10.500 | 90.512 |
| | TOTAL | 50,03 | 197.790 | 1.643.353 |

6.2 VOLUMEN DE AGUA FACTURADA O CONSUMIDA

Este volumen se obtiene mediante detalles de facturación facilitados por la compañía de agua (ver Anejo 4 - *Tarifas del servicio de distribución*). El registro de agua está limitado al porcentaje de error en la medida de los contadores, siendo importante remarcar que en muchas ubicaciones de la ciudad se tienen acometidas ilegales e instalaciones que carecen de contador.

Tabla 12. Datos de Volúmenes facturados de la ciudad (EMAPAR).

| PERIODO | Volumen facturado (Hm ³ /mes) |
|-----------------|--|
| Enero-14 | 1,05 |
| Febrero-14 | 1,07 |
| Marzo-14 | 1,24 |
| Abril-14 | 1,14 |
| Mayo-14 | 1,23 |
| Junio-14 | 1,25 |
| Julio-14 | 1,15 |
| Agosto-14 | 1,28 |
| Septiembre-14 | 1,27 |
| Octubre-14 | 1,17 |
| Noviembre-14 | 1,16 |
| Diciembre-14 | 1,17 |
| PROMEDIO | 1,18 |

En el caso de no existir datos de volúmenes facturados, pueden ser estimados a través del consumo medio poblacional, también conocido como dotación (con unidades l/hab.día), multiplicado por el número de habitantes existentes en cada zona.

Tabla 13. Datos de Volúmenes facturados de cada sector (EMAPAR).

| # | SECTOR | SUPERFICIE (km ²) | POBLACIÓN (Habitantes) | Volumen Facturado (m ³ /mes) |
|---|--------------|-------------------------------|------------------------|---|
| 1 | Tratamiento | 1,68 | 5.600 | 33.592 |
| 2 | Tapi | 3,06 | 10.600 | 63.608 |
| 3 | Recreo | 2,20 | 7.700 | 46.189 |
| 4 | Carmen | 6,12 | 25.000 | 149.999 |
| 5 | Saboya | 9,07 | 63.400 | 380.402 |
| 6 | Maldonado | 6,21 | 38.100 | 228.588 |
| 7 | Veranillo | 9,44 | 28.300 | 169.802 |
| 8 | Piscin | 6,46 | 8.590 | 51.529 |
| 9 | Yaruquies | 5,75 | 10.500 | 63.012 |
| | TOTAL | 50,03 | 197.790 | 1.186.721 |

6.3 RENDIMIENTOS ESTIMADOS DE LA RED

Para tener una referencia de cómo se encuentra trabajando la red, a continuación se muestra la estimación del rendimiento volumétrico medio con el que trabaja ésta, y el rendimiento particular de cada uno de los sectores.

6.3.1 RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO MEDIO

Es un indicador característico de la eficiencia de una red, y es el cociente entre el volumen facturado y el inyectado del sistema. Esta diferencia entre los volúmenes se deben a ciertos factores: error en la medida de los contadores, fugas por defectos en las conducciones, tomas ilegales, falta de medidores en algunos sitios de la población, evaporación en depósitos, etc. (Vela, 1994). Para la ciudad de Riobamba se determina la eficiencia total de la red, así como para cada una de las sectorizaciones a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Rendimiento Volumétrico Red} = \frac{\text{Volumen Facturado}}{\text{Volumen Inyectado}} \quad (1)$$

Si el rendimiento medio obtenido con los datos proporcionados por la compañía de aguas es próximo al 70 %, se considera un rendimiento adecuado para un abastecimiento de esta envergadura.

Tabla 14. Determinación del Rendimiento Volumétricos de la Ciudad de Riobamba.

| PERIODO | Inyectado Hm ³ /año | Facturado Hm ³ /año | Fugas red Hm ³ /mes | Rendimiento % |
|---------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------|
| 2014 | 19,72 | 14,24 | 5,48 | 72,2 |



Fig 16. Registro de Volúmenes del año 2014 (Hm³).

6.3.2 RENDIMIENTOS VOLUMÉTRICOS POR SECTORES

Como se indica anteriormente se cuentan con volúmenes inyectados y facturados de cada zona, es así que se estima los rendimientos volumétricos individuales de cada sector. Esta diferencia que existen entre los volúmenes es el caudal incontrolado, que un porcentaje puede ser consumido y el resto son fugas existentes en las instalaciones de la red. Para este caso se analizan desde el punto de vista como si se trataran totalmente de fugas en la red.

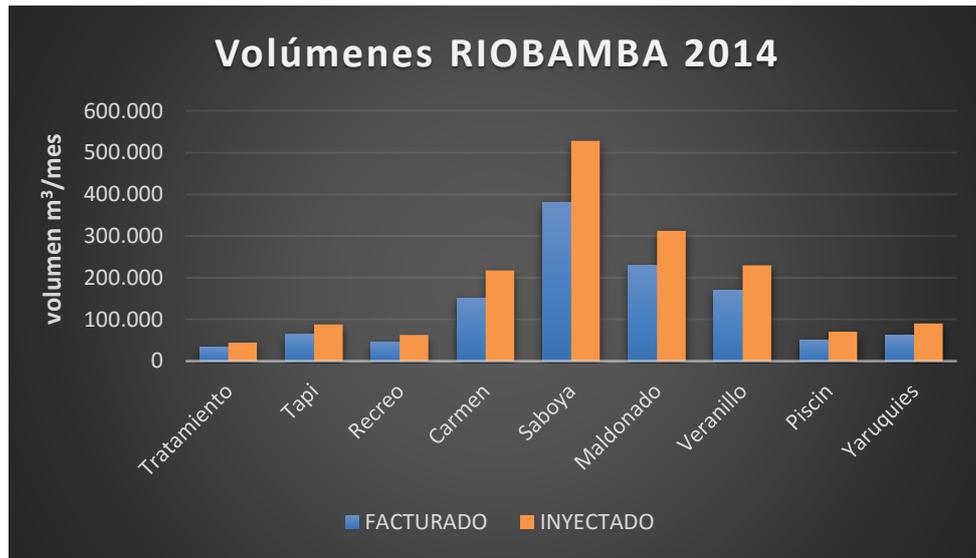


Fig 17. Detalle de volúmenes facturados e inyectados (2014).

Tabla 15. Determinación de los rendimientos volumétricos de cada sector.

| # | SECTOR | Volumen Facturado (m³/mes) | Volumen Inyectado (m³/mes) | RENDIMIENTO (%) |
|---|--------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|
| 1 | Tratamiento | 33.592 | 44.686 | 75,2 |
| 2 | Tapi | 63.608 | 87.713 | 72,5 |
| 3 | Recreo | 46.189 | 62.856 | 73,5 |
| 4 | Carmen | 149.999 | 217.080 | 69,1 |
| 5 | Saboya | 380.402 | 528.327 | 72,0 |
| 6 | Maldonado | 228.588 | 312.284 | 73,2 |
| 7 | Veranillo | 169.802 | 229.469 | 74,0 |
| 8 | Piscin | 51.529 | 70.398 | 73,2 |
| 9 | Yaruquies | 63.012 | 90.512 | 69,6 |
| | TOTAL | 1.186.721 | 1.643.353 | 72,2 |

Una vez con el rendimiento de cada sector se puede realizar un análisis particularizado de cada zona, incluyendo su propio volumen fugado mediante un coeficiente global de fugas (Almandoz, 2003).

6.4 MODULACIÓN DE LA DEMANDA

Para establecer la curva de modulación la empresa EMAPAR efectuó un estudio a través del cual analizó las fluctuaciones de los consumos a lo largo del día en horas puntuales. Este análisis tuvo como propósito localizar aquellos períodos del día donde se producen los mayores y menores consumos de la ciudad, y así obtener los factores de demanda que sirven para las siguientes observaciones.

Es importante indicar que en un principio fueron proporcionados 5 factores de demanda, en horas en las cuales la empresa considera un aumento y disminución considerable del consumo. Los puntos de análisis fueron: (4:00 – 0,4) (6:00 – 1,11) (13:00 – 1,6) (17:00 – 0,9) (21:00 – 1,12), posteriormente los demás valores de la curva se estiman empleando criterios funcionales de la red.

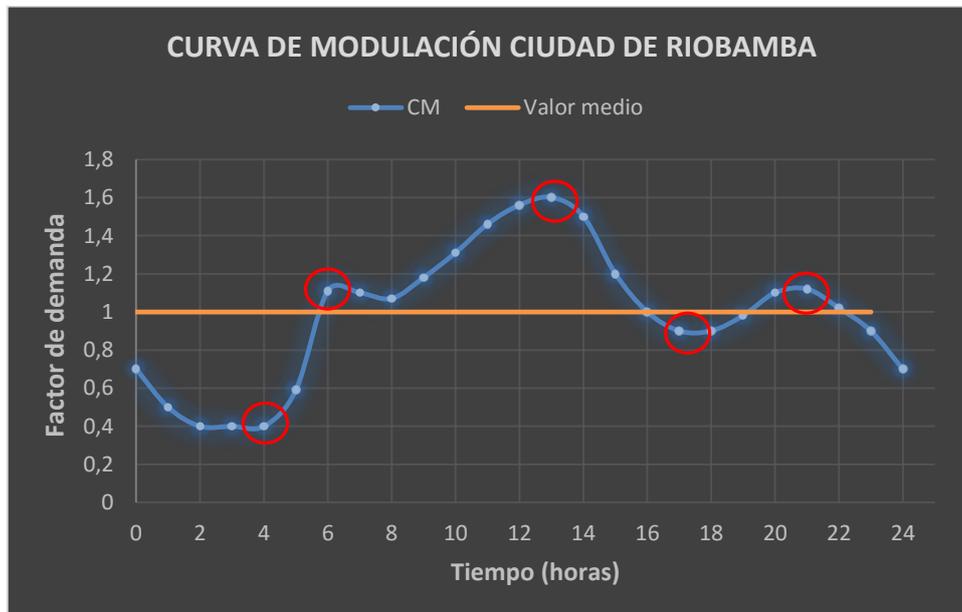


Fig 18. Detalle de la estimación de la Curva de Modulación (RIOBAMBA).

Como se puede observar, la hora de mayor consumo se da a las 13:00, que corresponde al instante donde se produce el mayor desarrollo de actividades domésticas en la ciudad; el de menor consumo se da a las horas de la madrugada.

Recordar que en ciertas zonas de la ciudad hay un funcionamiento discontinuo debido a la falta de captación de agua, fugas importantes en el sistema, etc. Pero en este documento se realizan las simulaciones en 24 horas de distribución, ya que el objetivo principal y fundamental de la empresa es tener un servicio continuo en todos los sectores de Riobamba.

7. MODELO MATEMÁTICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE PARA LA CIUDAD DE RIOBAMBA-ECUADOR

La realización del modelo matemático que se propone en este proyecto, contribuirá a la ciudad para detectar las deficiencias en la distribución del agua potable, pues día a día va incrementando la demanda con la incertidumbre si la red logrará satisfacer de manera eficaz este inconveniente. Además, servirá para tener una visión de escenarios futuros, es decir, cómo se comportará cada uno los elementos en diferentes situaciones de consumo, y así establecer un conjunto de soluciones para optimizar el funcionamiento del sistema. Para la generación del proyecto se emplea el software *ARCVIEW* con la extensión *GISRed*, que sirve para poder extraer cada uno de los datos necesarios para la realización del modelo de Riobamba.

7.1 ETAPAS PARA LA ELABORACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

A continuación se detallan cada uno de los pasos realizados para la confección del modelo matemático de simulación:

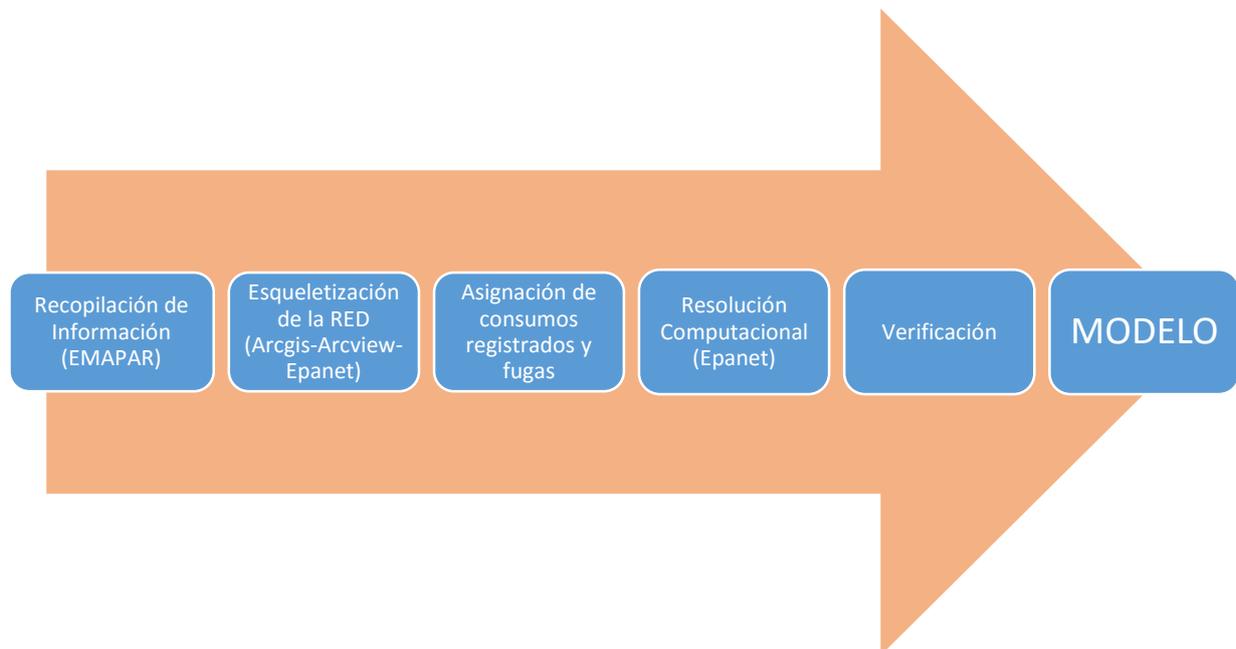


Fig 19. Etapas de la Elaboración del Modelo.

Tomar en cuenta que se emplean 3 programas computacionales:

- **ARCGIS 10.3**
- **ARCVIEW 3.2_GISRed 2.1**
- **EPANET 2.0**

7.1.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Para la construcción de este documento se cuenta con la ayuda importante de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba (EMAPAR), pues en el año 2014 apoyó un estudio: SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) DE PREDIOS, ACOMETIDAS, TUBERÍAS Y ACCESORIOS (Yépez, 2014). Esta información es un apoyo fundamental para la construcción del modelo.

Para extraer cada uno de los datos de este sistema de información (SIG) se utiliza *ARCVIEW 3.2* con la extensión *GISRed*. Cada uno de los documentos proporcionados por la empresa se encuentran en formatos *shape (software ARCGIS 2013)*, es decir, se pueden seleccionar eficazmente los datos importantes para la realización de la esqueletización (Solbes, 2006).

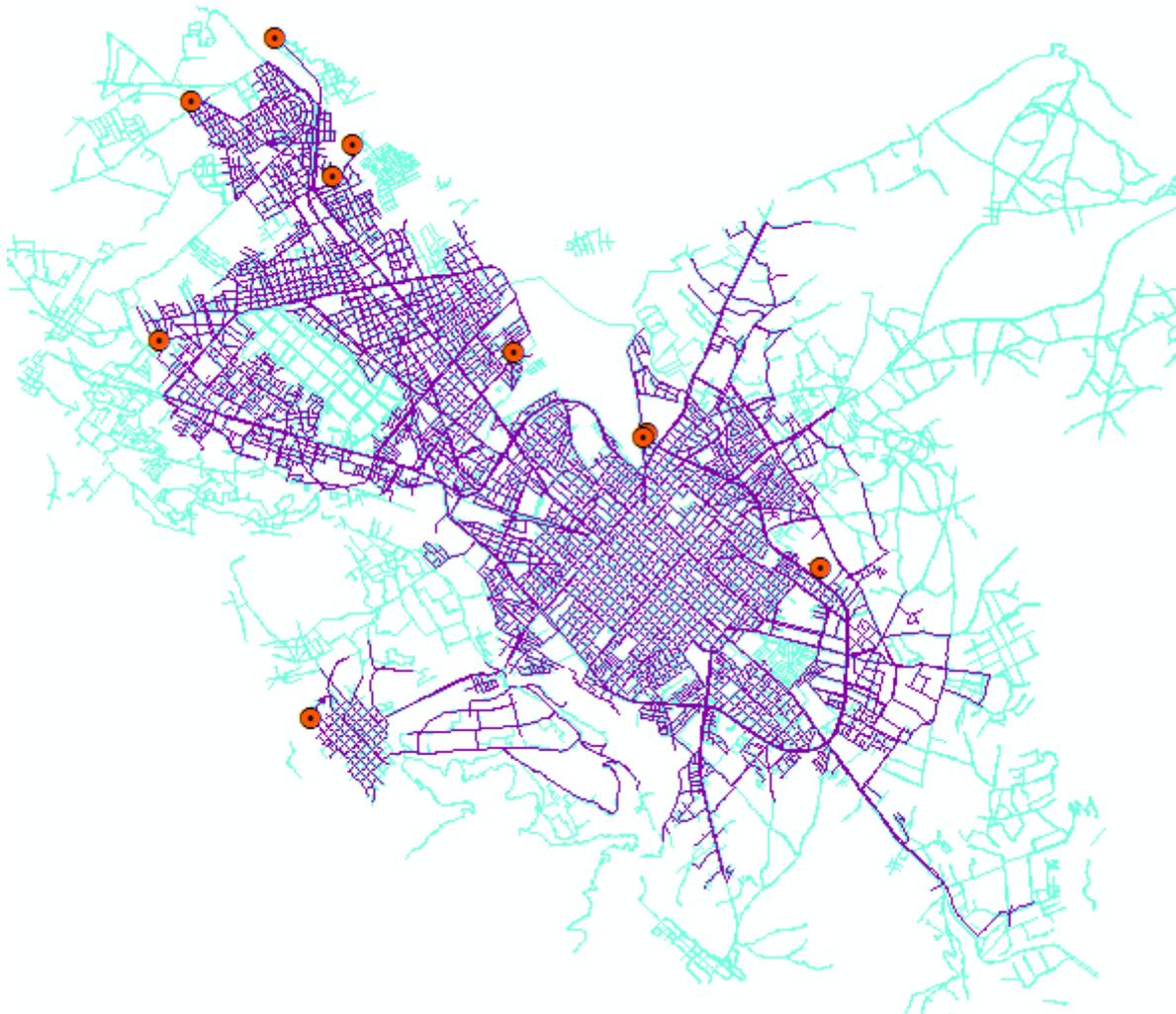


Fig 20. Mapa de la Red de Agua Potable.

Como se observa (ver Fig. 21), la distribución del agua en la ciudad de Riobamba se encuentra dividida en 9 zonas, es por ello que a cada sector se ha designado una identificación propia. Se pretende tener un mejor control de las tuberías en el momento de transferir los datos mediante *ARCVIEW*.

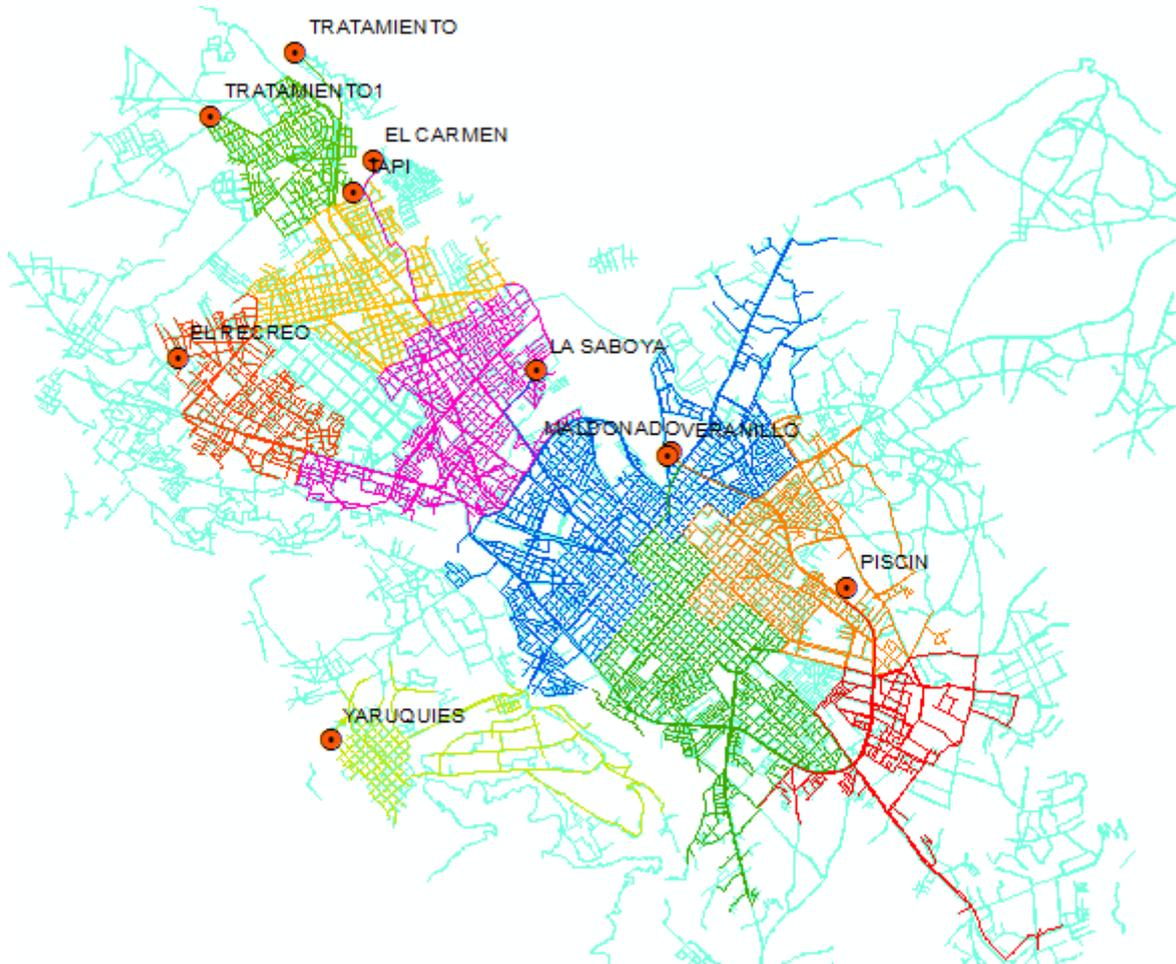


Fig 21. Mapa de las Sectorizaciones para asignar la identificación.

Tabla 16. Identificación con las iniciales de cada sector.

| RED | IDENT | DIAMETRO (m) | LONGITUD (m) | MATERIAL |
|-------------|-------|--------------|--------------|----------|
| TRATAMIENTO | Tr1 | 230,8 | 4 | PVC |
| TAPI | Ta4 | 290,8 | 222 | PVC |
| RECREO | R410 | 58,2 | 136 | PVC |
| CARMEN | Ca201 | 101,6 | 90 | PVC |
| SABOYA | S486 | 90 | 52 | PVC |
| MALDONADO | M458 | 58,2 | 80 | PVC |
| VERANILLO | V1206 | 58,2 | 12 | PVC |
| YARUQUIES | Y10 | 184,6 | 150 | PVC |
| PISCIN | P465 | 58,2 | 64 | PVC |

7.1.2 ESQUELETIZACIÓN DE LA RED (ARCGIS-ARCVIEW-EPANET)

Como se menciona inicialmente, todos los documentos fueron proporcionados en capas shape, es así que se puede extraer toda la información necesaria para la confección del modelo hidráulico. A continuación se detalla un flujograma del proceso realizado para la obtención de la esqueletización de la red:



Fig 22. Flujograma para la esqueletización de la red.

7.1.3 CREACIÓN DE LAS CAPAS SHAPE

De cada uno de los archivos se seleccionan los datos que se estiman importantes, tales como: diámetros, longitudes, identificación de cada sector, y se crean las capas shape correspondientes.

Tabla 17. Clasificación de la información (diámetro, longitud, sector).

| RED | IDENT | DIAMETRO (m) | LONGITUD (m) | MATERIAL |
|------------------|-------|--------------|--------------|----------|
| TRATAMIENTO | Tr1 | 230,8 | 4 | PVC |
| SAN JOSE DE TAPI | Ta4 | 290,8 | 222 | PVC |
| RECREO | R410 | 58,2 | 136 | PVC |
| EL CARMEN | Ca201 | 101,6 | 90 | PVC |
| SABOYA | S486 | 90 | 52 | PVC |
| MALDONADO | M458 | 58,2 | 80 | PVC |
| VERANILLO | V1206 | 58,2 | 12 | PVC |
| YARUQUIES | Y10 | 184,6 | 150 | PVC |
| PISCIN | P465 | 58,2 | 64 | PVC |

7.1.4 CREACIÓN DEL PROYECTO EN ARCVIEW

Para la esqueletización de la red se utiliza el software *ARCVIEW 3.2*, que es el encargado de transformar la red de formato shape en un archivo ejecutable por *EPANET (.inp)*. Para aquello, se crea un nuevo proyecto en *ARCVIEW* activando la extensión *GISRed* siguiendo la siguiente ruta *File/Extensions/GISRed (Bartolin, 2003)*.

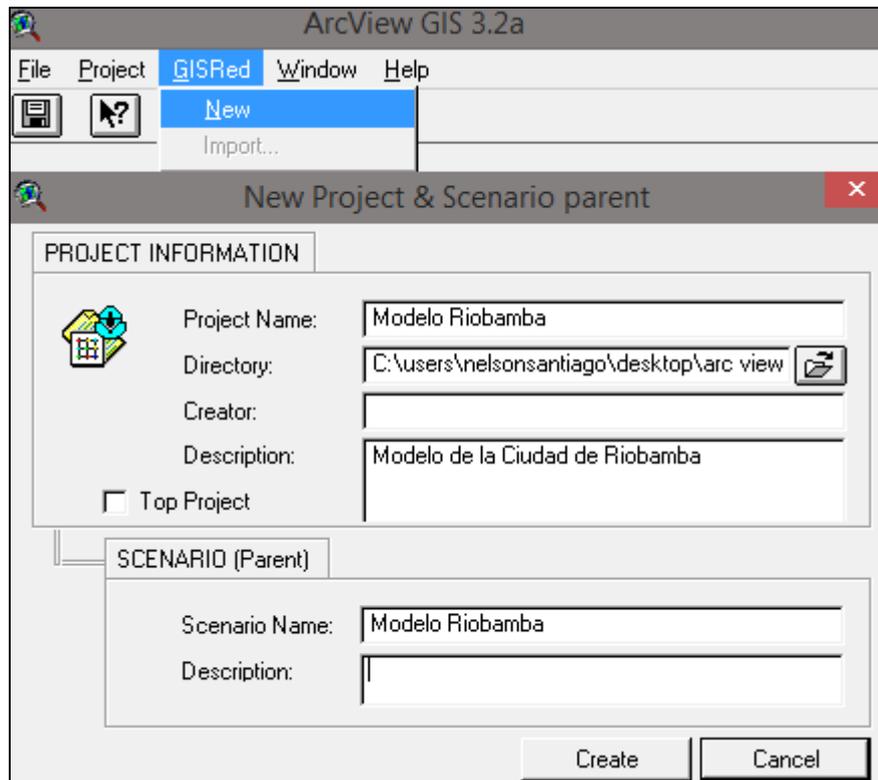


Fig 23. Creación de un nuevo Proyecto en ARCVIEW.

7.1.5 IMPORTACIÓN DE LAS CAPAS SHAPE

En la importación de las capas, hay que tener en cuenta la información necesaria para cargar a cada una de las tuberías de la red, por lo cual es importante la clasificación versátil de los datos que se utilizan en la creación de la esqueletización. Recordar que para la realización del modelo de Riobamba se deben tener datos fiables de diámetros, longitudes, coordenadas x,y, cotas, etc.

Una particularidad de la importación de los archivos shape al software *ARCVIEW_GISRed*, es crear nudos de consumo automáticamente en cada una de las conexiones o intersecciones de las tuberías, y así, poder asignar cotas, demandas, fugas, a los puntos creados.

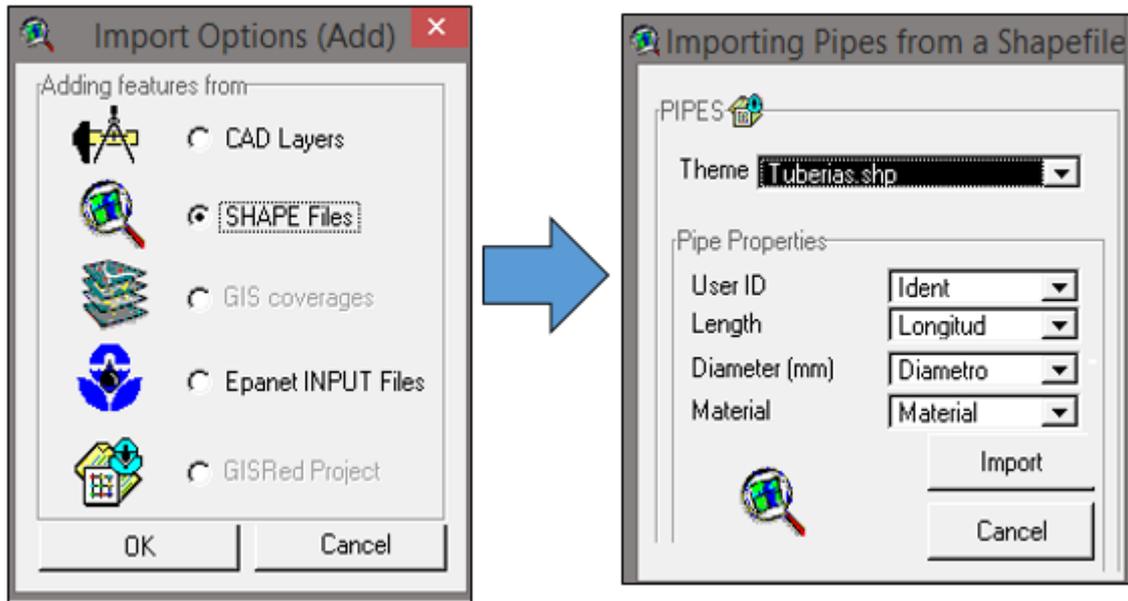


Fig 24. Importación de formatos shape a software ARCVIEW.

Una herramienta importante de *ARCVIEW_GISRed* es *Mode tools/Connectivity*, que permite comprobar si las redes de tuberías se encuentran correctamente conectadas, es decir, crea un mapa de colores para visualizar la secuencia del fluido y observar qué zonas tienen una desconexión entre ellas. Este análisis permite distinguir el número de sectores conectados eficazmente en la red.

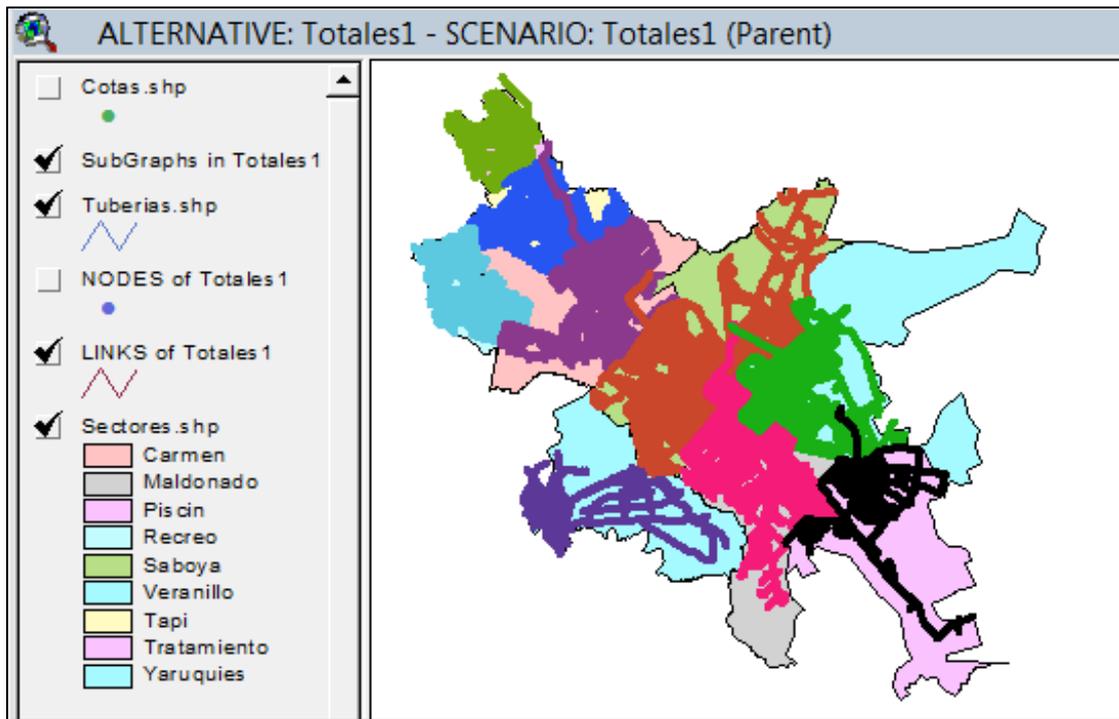


Fig 25. Visualización de las redes independientes de distribución.

Existe además una herramienta *Edit Model/Data verification/Spatial Connectivity*, que reconoce las desconexiones entre las intersecciones de las tuberías. *ARCView* permite solucionar los inconvenientes encontrados, pero resulta cómodo editar en *ARCGIS 10.3*, pues quedará registrado en la información matriz del proyecto para una futura utilización.

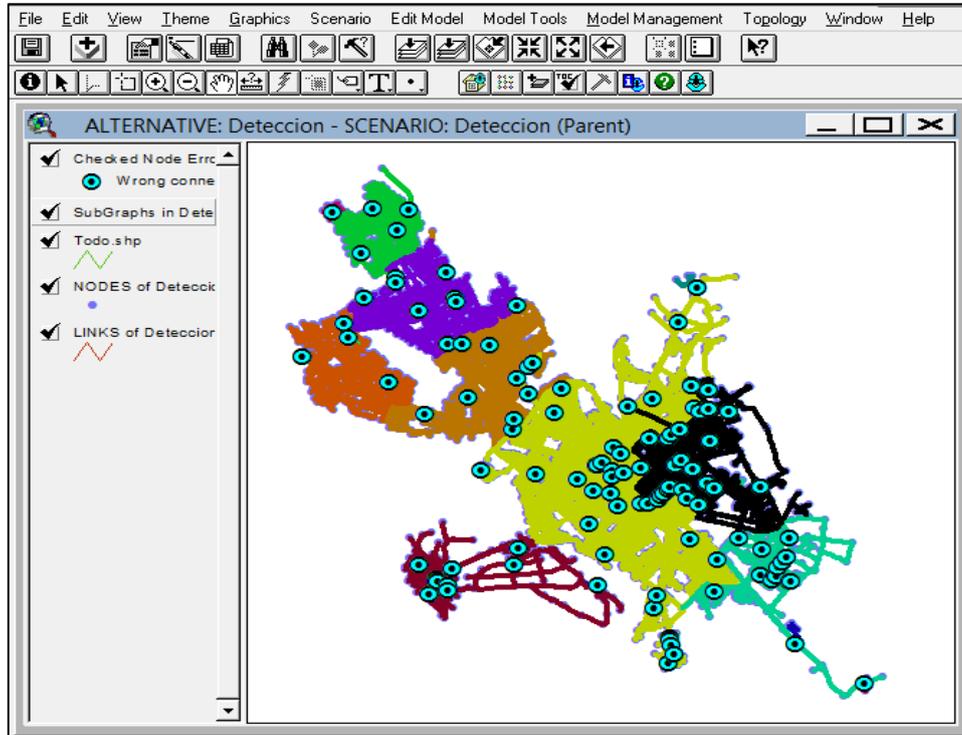


Fig 26. Posibles errores en las uniones de las Tuberías.

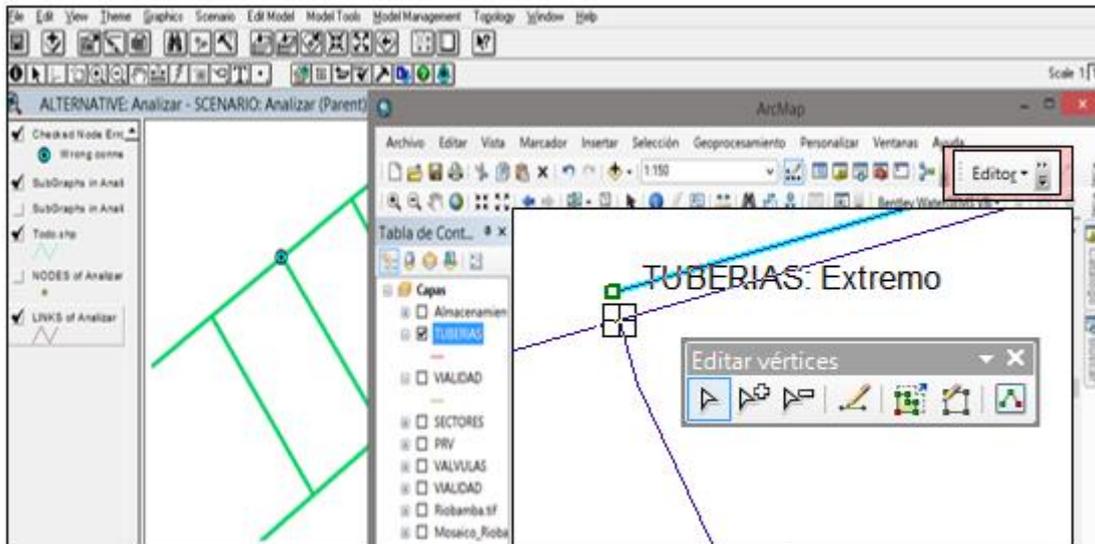


Fig 27. Corrección de las desconexiones de las tuberías (ARCGIS 10.3).

La corrección de las conducciones se efectúa en *ARCGIS 10.3* eligiendo la capa de estudio y editando los vértices de conexión con la herramienta *Editor*.

7.1.6 ASIGNACIÓN DE COTAS A LOS NUDOS DE CONSUMO

Dentro de la realización del modelo, una parte esencial son las cotas de los nudos de consumo, pues de esto depende la presión existente en cada uno de ellos, además es un condicionante de la altura que deben proporcionar los depósitos de distribución, pues la entrega del fluido hacia los consumidores es por gravedad.

Para la asignación de las cotas, se necesita la creación de una capa que proporcione los datos de elevación a todos los nudos creados. Aquello se realiza en *ARCGIS 10.3* con una imagen ráster que contiene las alturas de toda la ciudad de Riobamba, para ello se utiliza la herramienta (*De ráster a punto*). Una vez creada la capa shape que permite asignar a cada nudo de consumo su elevación, se utiliza *Mode Tools/Elevation Interpolation* de *ARCView_GISRed* y se ejecuta automáticamente la asignación de cotas.

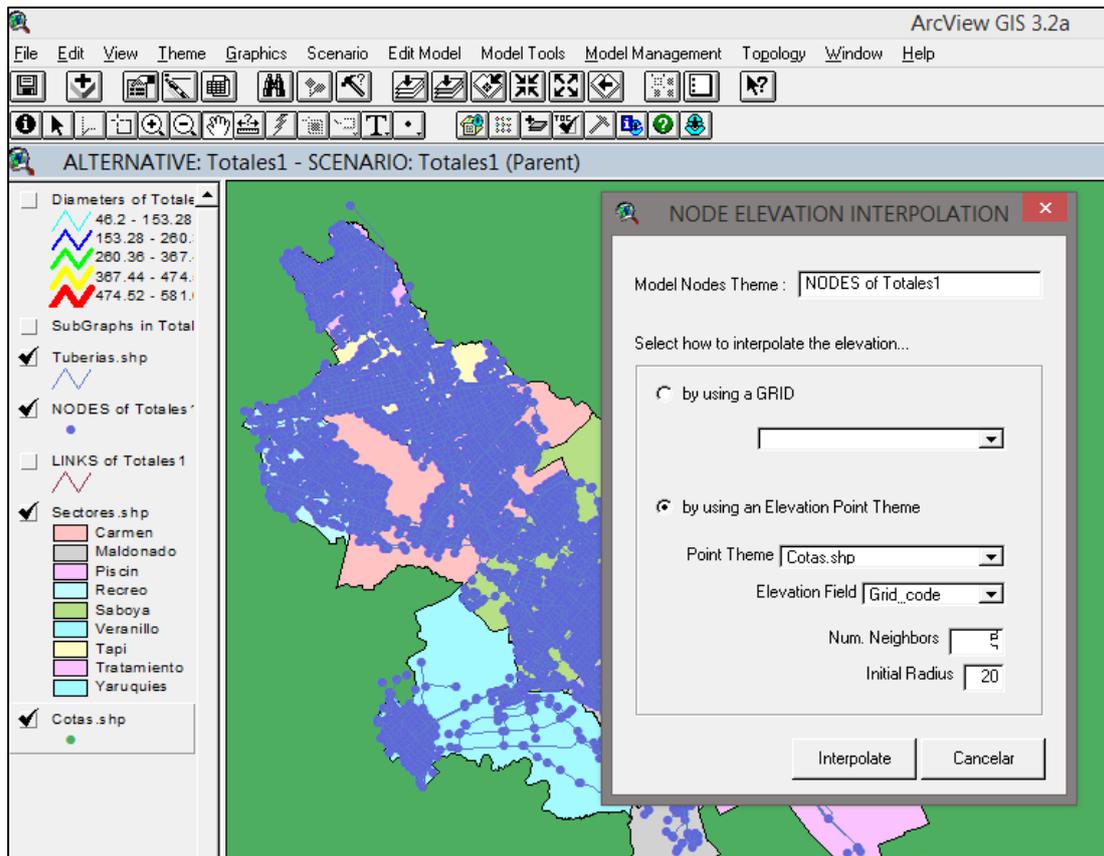


Fig 28. Asignación de Cotas mediante interpolación.

Una vez que se obtienen los puntos de consumo con sus cotas correspondientes, faltaría agregar el consumo de la ciudad, para ello se realiza un balance hídrico con el fin de estimar la eficiencia volumétrica y saber el consumo registrado e inyectado en la red.

7.1.7 ASIGNACIÓN DE DEMANDAS Y FUGAS EN EL SISTEMA

En *ARCVIEW* existen varias alternativas para asignar los consumos en el sistema: se pueden ingresar mediante registros por calles, por puntos en formatos shape, consumos en un área determinada etc.

Se debe tener presente que las demandas en los nudos de consumo son parte fundamental y clave en las simulaciones para realizar la comparación del agua inyectada en la realidad, con la proporcionada en *Epanet*, mientras más fiables sean se tiene una mayor perspectiva y veracidad en el análisis del sistema.

La asignación de las demandas se estudia desde dos puntos de vista. El primero, que propone EMAPAR, el de analizar la red mediante un formato shape creado por el departamento técnico y el segundo que es el de distribuir el volumen facturado a todos los nudos de cada sector de Riobamba.

7.1.7.1 DEMAND ALLOCATION

Herramienta utilizada para ingresar cada una de las demandas:

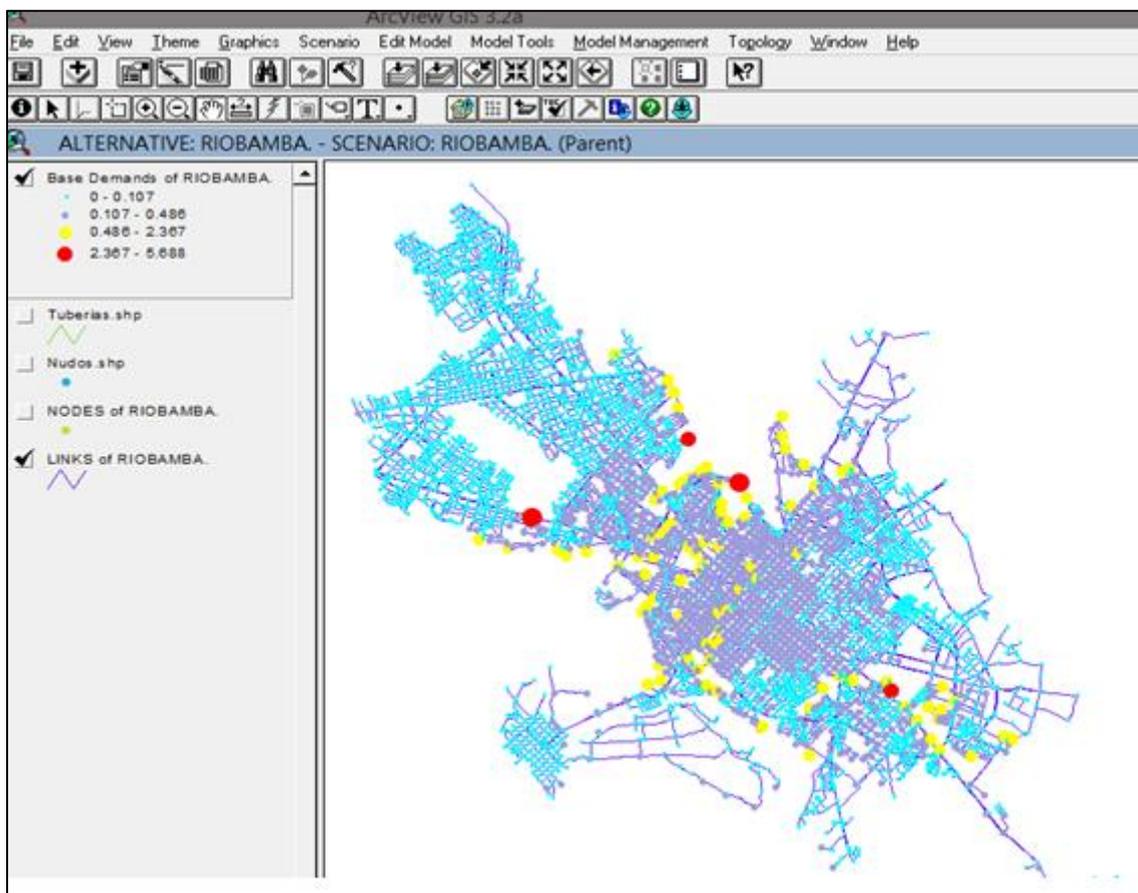


Fig 29. Mapa de las asignaciones de consumos en la red.

En la asignación de las demanda a los nudos en el primer escenario, se utiliza los consumos en formato shape entregados por la Empresa EMAPAR. Recordar que además se deben ingresar las fugas en el sistema, para esto *ARCVIEW_GISRed* tiene una herramienta *Unaccounted for Water*, que depende de la eficiencia volumétrica de la red, el cual distribuye el volumen fugado a los nudos de manera proporcional a la demanda base.

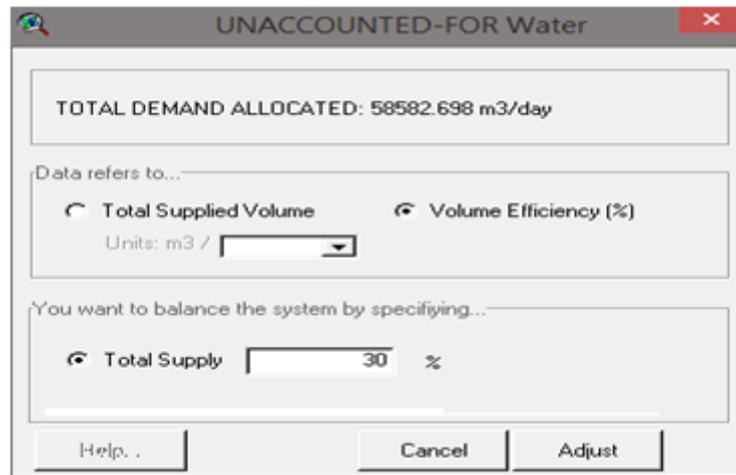


Fig 30. Herramienta para la asignación del caudal fugado.

En este proyecto se desea obtener un modelo con una mayor semejanza a la realidad, es por eso que las fugas se analizan como dependientes de la presión. A continuación se detalla como *Epanet* resuelve la carga de fugas.

Exponente de los Emisores: *Exponente al cual se elevará la presión para calcular el caudal saliente por los emisores. El exponente recomendado en los manuales para toberas y rociadores es de 0,5 (Rosman, 1993).*

“Los emisores son dispositivos asociados a los nudos de caudal que permiten simular el flujo de salida a través de una tobera u orificio descargando a la atmósfera. El caudal de salida por un emisor varía en función de la presión disponible en el nudo, conforme a la ecuación:

$$q = Ce * p^n \tag{2}$$

En la (Ecuación 2):

q = caudal (l/s) p = presión (mca)

Ce = coeficiente de descarga, y n = exponente de la presión.

7.1.7.2 FUGAS DEPENDIENTES DE LA PRESIÓN

Recordar que el objetivo primordial de este documento es presentar un modelo funcional a la Empresa Municipal de Agua Potable de Riobamba, pero además, involucrar un estudio detallado del volumen fugado, es decir, considerar las fugas como demandas dependientes de la presión. *Se admite que el término de fugas (Caudal Incontrolado fugado), es proporcional a la raíz cuadrada de los niveles de presión de la red de distribución (Lambert, 2001).*

$$Q_{if} = K_f \sqrt{P} = K_f P^\alpha \quad (3)$$

En la (ecuación 3), K_f es el coeficiente emisor en el nudo que depende del tamaño y del orificio de la fuga, P es la presión en el nudo, α es el exponente de fugas y Q_{if} es el caudal de fuga en el nudo.

A su vez, el enfoque más simple para tratar este inconveniente de las fugas, es proponer un coeficiente global para el modelo y ajustarlo a cada nudo mediante un valor de longitud ponderada de las tuberías (Almandoz, 2003).

$$Q_F = K_f \sum_{i=1}^{N_j} \bar{L}_i (P_i)^\alpha \quad (4)$$

$$\bar{L}_i = \frac{L_i}{L_T} \quad (5)$$

En la (ecuación 4), Q_F es el caudal de fugas, K_f es el coeficiente global de fugas, N_j es el número total de nudos en el modelo, \bar{L}_i es el factor de ponderación de longitud, P_i es la presión en el nudo i , α es el exponente de fugas (para este proyecto se considera el valor de 0,5). En la (ecuación 5), L_i es el 50 % de la longitud de las tuberías conectadas al nudo i , L_T es la longitud total de las tuberías del modelo.

Los coeficientes emisores se calculan multiplicando el factor global de fugas por la ponderación de la longitud de las tuberías conectadas al nudo, y posteriormente se compara el volumen inyectado en EPANET con los datos de referencia de inyección por parte de la empresa EMAPAR. Adelante se detalla el método iterativo para la obtención del coeficiente global de fugas que satisface a la red de estudio.

La siguiente figura muestra el diagrama seguido para incorporar el volumen de fugas mediante la determinación del coeficiente de los emisores que serán ingresados a EPANET.

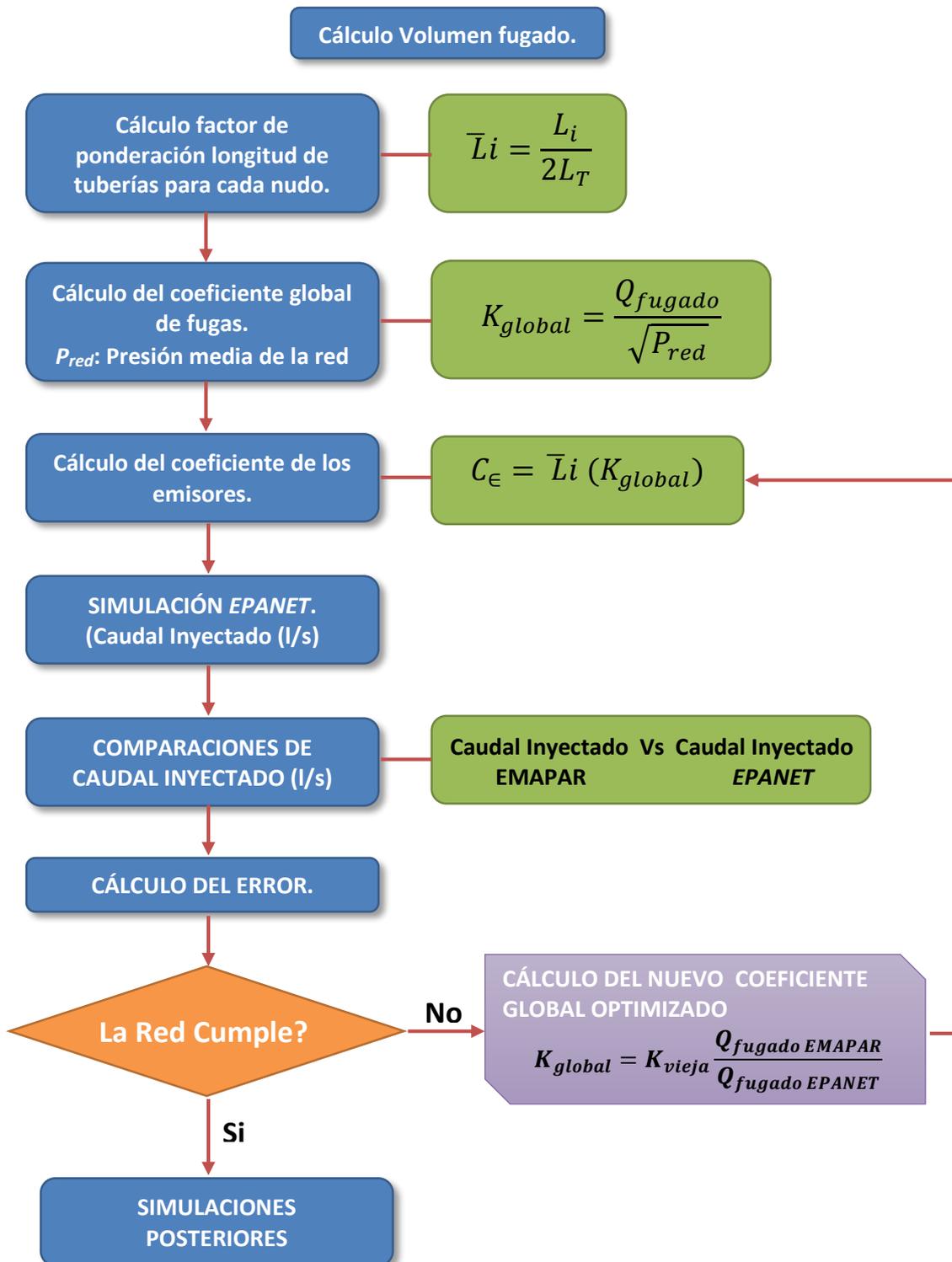


Fig 31. Flujograma del cálculo de los coeficientes emisores.

7.1.8 EXPORTACIÓN DEL MODELO A EPANET

Una vez lista la esqueletización de la ciudad, se puede exportar a *EPANET* y así realizar todas las simulaciones; análisis respectivos de caudales, velocidades, presiones, pérdidas de carga en tuberías etc. Cualquier dato que se pretenda modificar se realiza directamente en *EPANET* o mediante las extensiones *Excel* o *Bloc de notas*, que por defecto genera el software. Recordar que cada sector se ha clasificado con letras distintas tanto en tuberías, como en nudos de consumo, para lograr una mejor visualización y control. Una vez con la red esqueletizada se continúa con la elaboración del modelo instalando: depósitos, válvulas, patrones de demanda, etc.

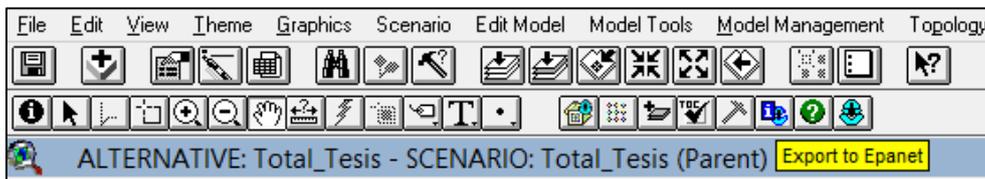


Fig 32. Creación en ARCVIEW del Fichero ejecutable .inp

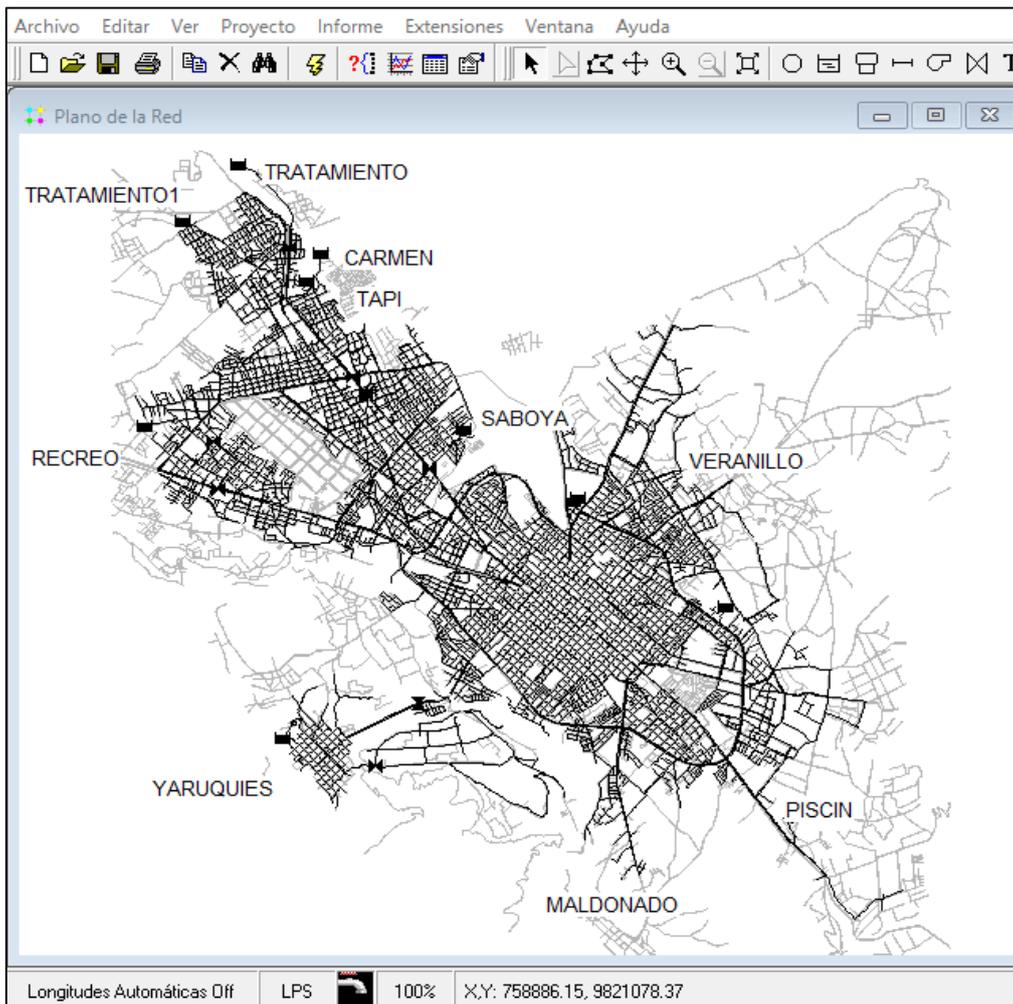


Fig 33. Visualización del modelo en EPANET.

Resumen del Proyecto

Título
PROJECT NAME: RIOBAMBA

Usar como cabecera en la impresión

Notas
PROJECT DESCRIPTION:
PROJECT CREATOR:
CREATION DATE: 15-10-2015 15:31:40
NAME OF SCENARIO: RIOBAMBA
SCENARIO DESCRIPTION:

Estadísticas

| | |
|----------------------|-------|
| Número de Conexiones | 7740 |
| Número de Embalses | 10 |
| Número de Depósitos | 0 |
| Número de Tuberías | 10223 |
| Número de Bombas | 0 |
| Número de Válvulas | 8 |
| Unidades de Caudal | LPS |

Aceptar

Fig 34. Resumen de las características de la esqueletización.

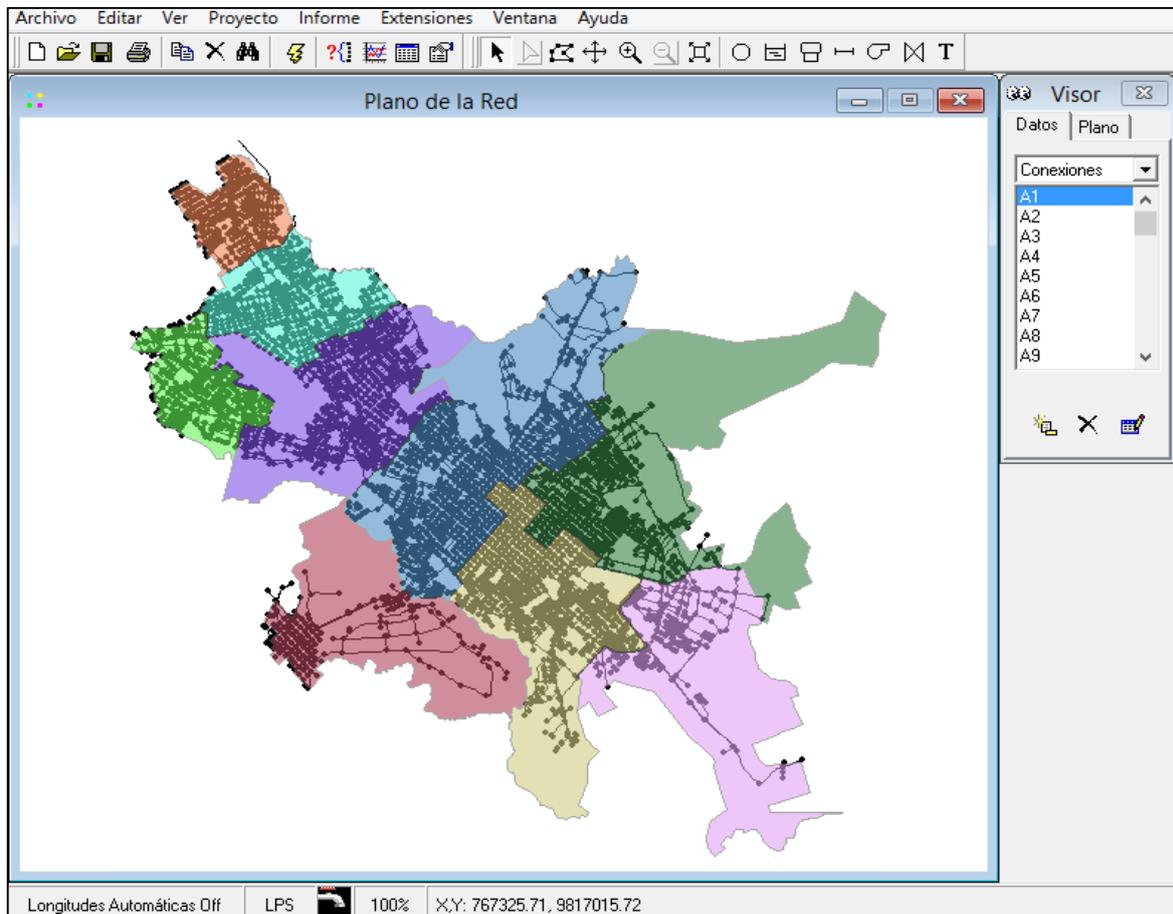


Fig 35. Mapa de las sectorizaciones actuales en EPANET.

8. ANÁLISIS, SIMULACIONES Y RESULTADOS

El análisis de la red de Riobamba se realiza desde dos escenarios que permiten comprender el funcionamiento adecuado del sistema. A cada uno se le asigna un patrón de demanda, y su respectiva eficiencia volumétrica que se estima a partir de los datos proporcionados por la Empresa.

Para continuar con los análisis pertinentes se verifica la bondad del modelo en *EPANET*, comparando presiones resultantes de las simulaciones con mediciones proporcionadas por la entidad responsable del abastecimiento. Si el modelo muestra errores importantes se puede ajustar básicamente, diámetros de las tuberías, consumos de los nudos, etc. (*Cabrera, 1996*).

Para la comparación, se ha distribuido de manera estratégica sitios de muestreo para registrar la presión en la red de distribución. Se han elegido puntos en las partes centrales de los sectores por ser más accesibles.

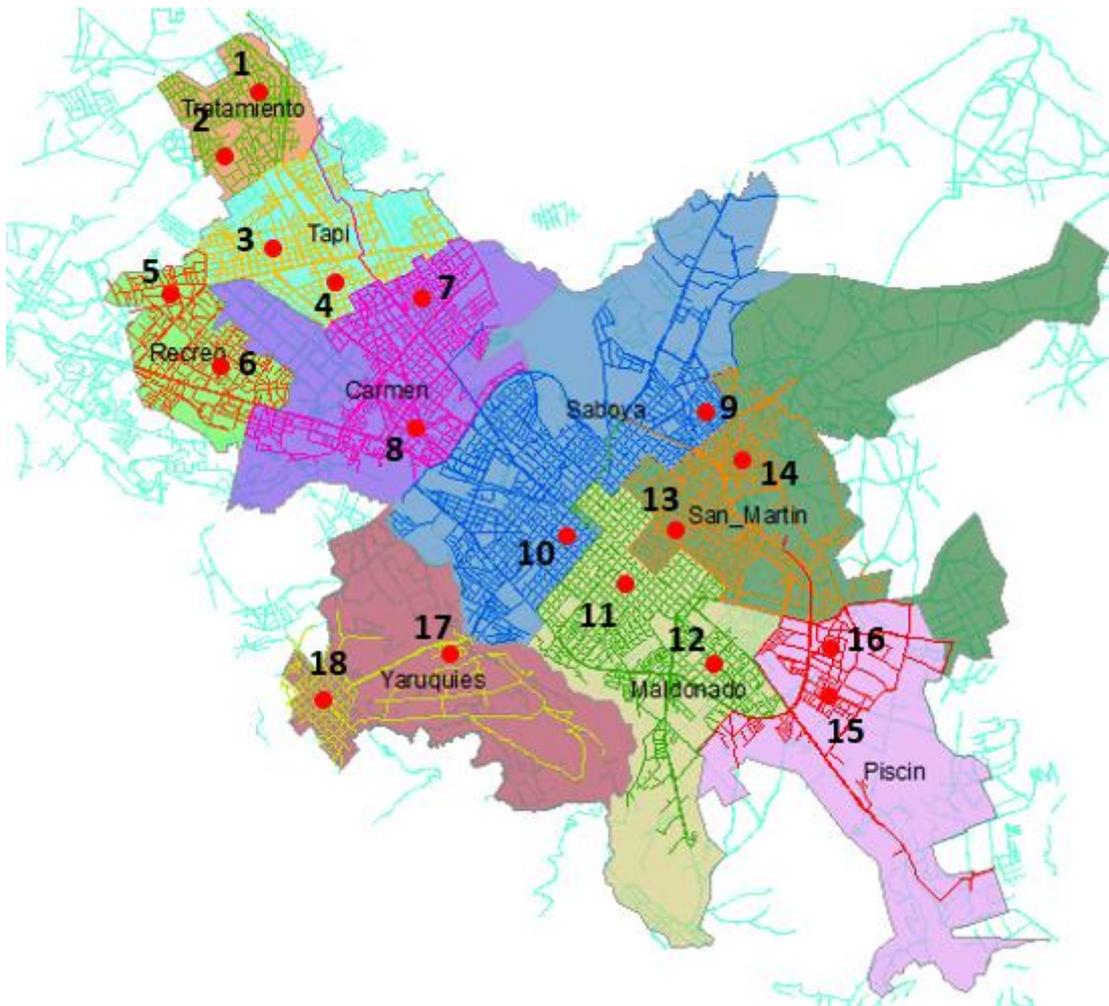


Fig 36. Puntos estratégicos de medición de presión (mca).

En la siguiente tabla se muestran las presiones simuladas en *EPANET* y se realizan las comparaciones con las registradas en campo por personal técnico de la empresa. El dato proporcionado es el promedio de un periodo de medición de 6 horas (8:00 – 14:00).

Tabla 18. Comparación de las presiones (EPANET vs MEDICIÓN in situ).

| SECTOR | PUNTOS | NUDO | SIMULACIÓN EPANET (mca) | MEDICIÓN in situ (mca) | ERROR % |
|-------------|--------|-------|----------------------------|---------------------------|------------|
| Tratamiento | 1 | A357 | 41,2 | 40,8 | 0,86 |
| | 2 | A138 | 83,9 | 85,6 | 1,99 |
| Tapi | 3 | B192 | 38,1 | 36,9 | 3,20 |
| | 4 | B547 | 50,6 | 50,8 | 0,47 |
| Recreo | 5 | C251 | 32,7 | 32,9 | 0,79 |
| | 6 | C549 | 37,5 | 36,9 | 1,63 |
| Carmen | 7 | D814 | 26,9 | 27,3 | 1,43 |
| | 8 | D799 | 20,3 | 19 | 6,63 |
| Saboya | 9 | E1260 | 31,8 | 29,1 | 9,28 |
| | 10 | E993 | 56,9 | 53,1 | 7,23 |
| Maldonado | 11 | F411 | 37,9 | 38,4 | 1,38 |
| | 12 | F1287 | 53,2 | 51,3 | 3,66 |
| Veranillo | 13 | G132 | 40,6 | 40,3 | 0,67 |
| | 14 | G569 | 37,3 | 35,1 | 6,21 |
| Piscin | 15 | H241 | 31,2 | 30,4 | 2,50 |
| | 16 | H268 | 26,3 | 25,6 | 2,81 |
| Yaruquies | 17 | I266 | 21,3 | 20,9 | 1,48 |
| | 18 | I58 | 62,6 | 61,6 | 1,66 |

Analizando los resultados la diferencia en algunos puntos es muy pequeña, esto favorece a tener un modelo que se asemeja mucho a la realidad. Una vez verificado que el modelo tiene una aceptación confiable y aceptable se analizan los escenarios que son parte del estudio.

8.1 CONSUMOS PROPORCIONADOS POR LA EMPRESA DE ABASTECIMIENTO

Para el estudio de los consumos proporcionados por la Empresa EMAPAR, se identifica que el objetivo es analizar un escenario futuro, pues en este momento la captación neta de las vertientes y pozos alcanzan un promedio mensual de 1,68 Hm³ (caudal 648,1 l/s) y en el total de las demandas del formato shape propuesto, existe un consumo facturado de 1,75 Hm³ (caudal 678,04 l/s), un 0,07 Hm³ por encima del volumen actual. Enseguida se detalla el año al cual estaría proyectado la visión del volumen facturado.

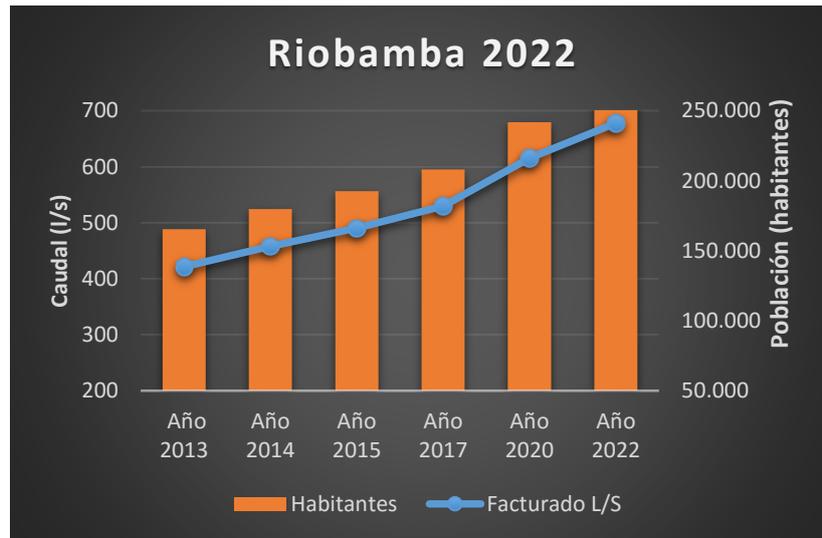


Fig 37. Proyecciones del caudal facturado.

Para lograr este objetivo se ejecutará un Proyecto de Trasvase de agua superficial Alao-Maguazo y la construcción de la reserva San Martín de Veranillo, el contrato para la ejecución fue firmado el 4 de Junio de 2015 y contempla un plazo de ejecución de 2 años.

Con este escenario detallado, se realiza el análisis de la red con los consumos mensuales de 1,75 Hm³ (caudal 678,04 l/s), asumiendo el rendimiento del 72,2 % que se estima de los datos registrados en el año 2014, con un 27,8 % en fugas los cuales se ingresan al sistema a través de un coeficiente global (Almandoz, 2003).

Tabla 19. Iteraciones del coeficiente global de fugas (EMAPAR Q Inyectado 866.62 l/s).

| TANQUES ALMACENAMIENTO | COEFICIENTE GLOBAL DE FUGAS | | |
|---------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|
| | <i>k=30,47</i> | <i>k=31,47</i> | <i>k=31,49</i> |
| | Caudal (l/s) | Caudal (l/s) | Caudal (l/s) |
| TRATAMIENTO | 21,91 | 22,29 | 22,30 |
| TRATAMIENTO 1 | 0,77 | 0,78 | 0,78 |
| TAPI | 42,08 | 42,65 | 42,66 |
| RECREO | 28,63 | 29,04 | 29,05 |
| CARMEN | 161,36 | 162,10 | 162,11 |
| SABOYA | 314,74 | 316,10 | 316,13 |
| MALDONADO | 164,53 | 165,49 | 165,51 |
| VERANILLO | 59,57 | 60,31 | 60,33 |
| PISCIN | 39,98 | 40,32 | 40,33 |
| YARUQUIES | 27,05 | 27,41 | 27,42 |
| TOTAL Caudal (l/s) | 860,63 | 866,50 | 866,62 |
| % ERROR | 0,691% | 0,014% | 0,001% |

Como se detalla en la tabla anterior, para las simulaciones posteriores se utiliza un coeficiente global de fugas de 31,49 pues se ajusta notablemente al caudal inyectado de 866,62 l/s. En el **Anejo 5 - Cálculos del coeficiente global de fugas** se puede observar a detalle el proceso realizado.

Una vez ingresadas las fugas, diámetros, cotas, válvulas reductoras de presión, longitudes de tuberías, etc. Se realizan las simulaciones adecuadas para el análisis de la red de distribución de agua potable. Recordar que para las simulaciones siguientes, se toma la decisión de estudiar la red con un funcionamiento continuo de 24 horas en todos los sectores, pues es el objetivo que pretende tener la empresa. Además un detalle de mencionar, es que los tanques de reserva son analizados como si se trataran de un embalse por falta de información necesaria y oportuna por parte de la empresa.

8.1.1 ESTUDIO DE PRESIONES

Para el abastecimiento de Riobamba se cuentan con 17 depósitos distribuidos en 9 sectores, en los cuales hay presiones considerables como se pueden observar en el siguiente mapa. Se puede distinguir también, que en algunos puntos se tienen presiones de 80 mca lo que puede ocasionar problemas de fisuras en la red, además de favorecer el volumen de fugas en el sistema.

Cabe recalcar, que en la ciudad existen 8 válvulas reductoras de presión, lo que conlleva a sugerir la necesidad de hacer un estudio detallado para implementar adecuadamente la instalación de VRP con el fin de evitar las sobrepresiones.

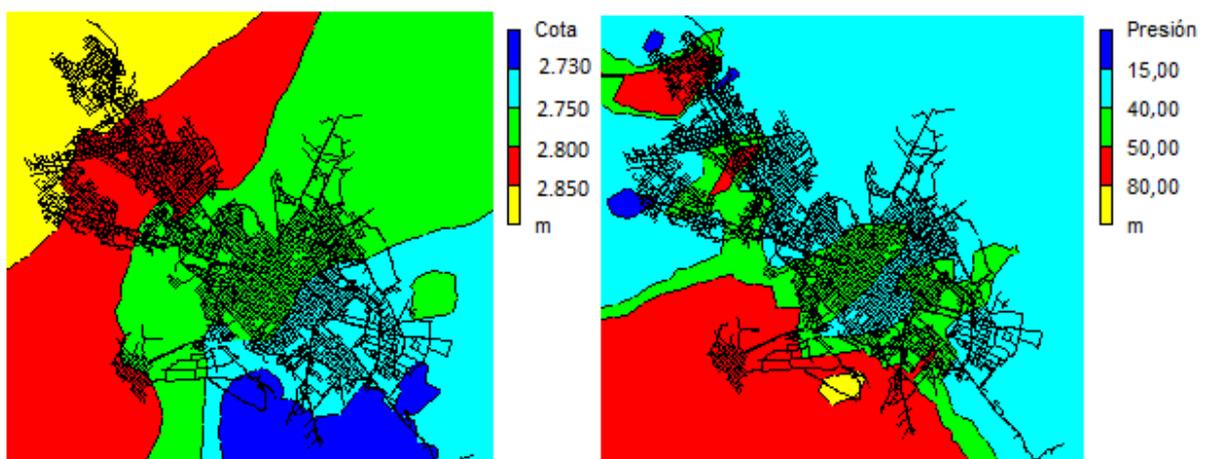


Fig 38. Izquierda: Mapa de cotas (m). Derecha: Mapa de presiones máximas (mca).

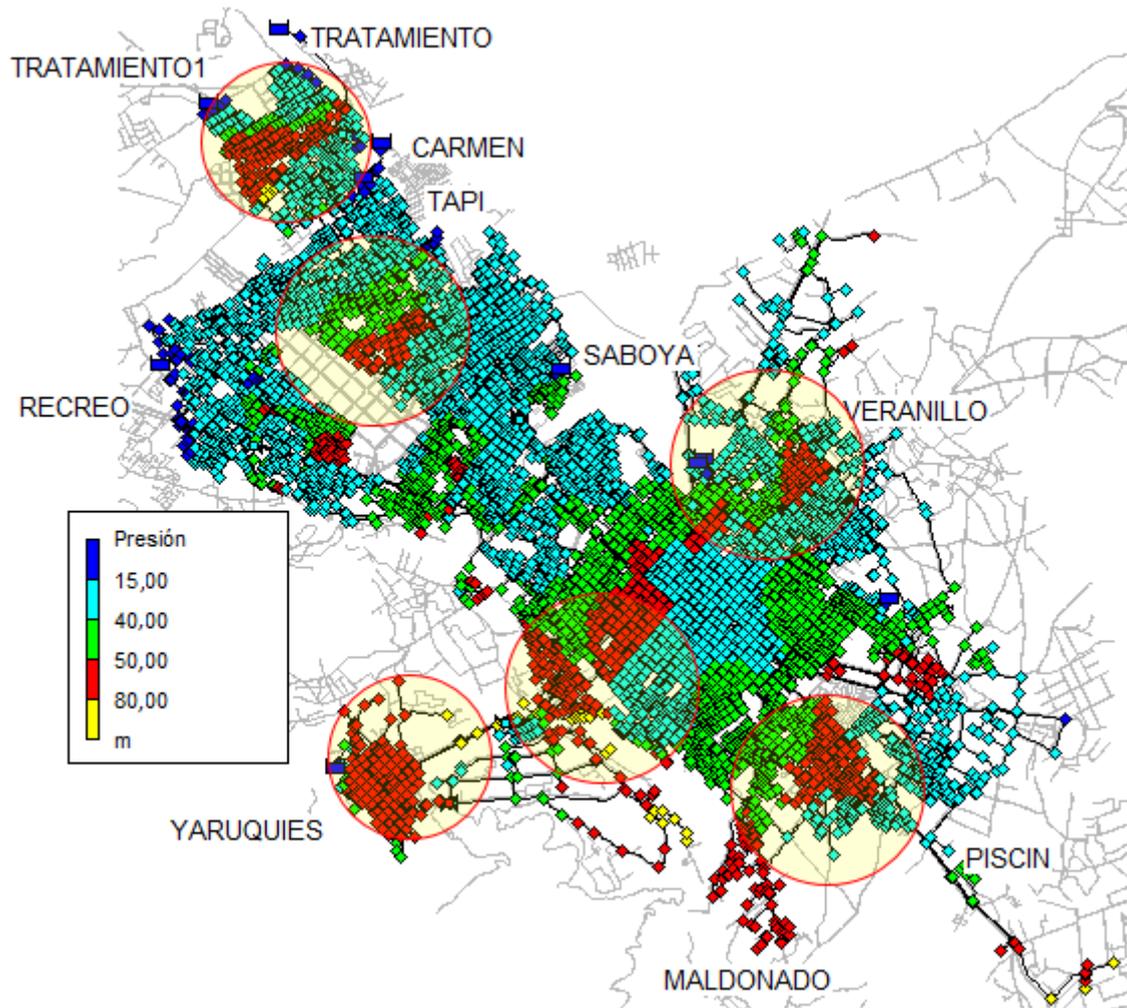


Fig 39. Detalle de las zonas con altas presiones (mca).

Se distingue asimismo, que en muchos puntos se tienen presiones bajas, no se está cumpliendo la presión mínima de 15 mca que la empresa debe garantizar a los abonados. Más adelante se establecen propuestas para implementar una mejor gestión de la presión en los 9 sectores y así garantizar un servicio de calidad a la ciudadanía evitando roturas en las tuberías de distribución. Tener en cuenta que si se logra con el tiempo disminuir la presión en la red, se tendrá un ahorro económico, una ayuda ambiental y un apoyo sostenible para la Provincia.

8.1.2 ESTUDIO DE VELOCIDADES

Las velocidades se analizan desde dos puntos de vista: a) las mínimas en la red, que empeoran la calidad del agua y b) las máximas, que ocasionan desgaste por fricción en las paredes de las tuberías, además generan importantes pérdidas de carga.

8.1.2.1 VELOCIDADES MÍNIMAS

Es útil recordar que las velocidades mínimas se dan en momentos de bajos consumos de la red, ocasionando estanqueidad del fluido y disminución de la concentración de agentes desinfectantes.

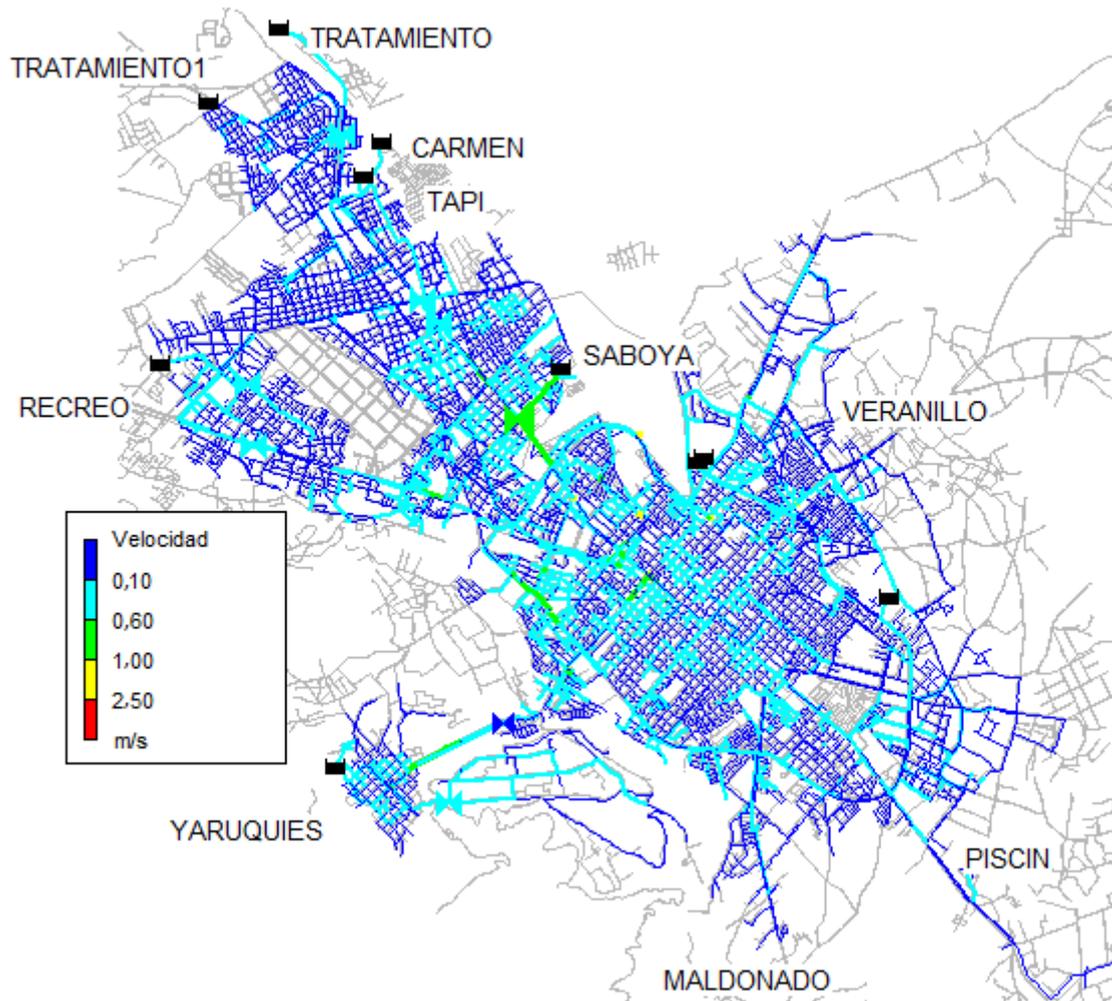


Fig 40. Velocidades mínimas en las conducciones (m/s).

En muchas conducciones existen velocidades bajas que afectan a la calidad del agua de la ciudad, esto es usual en redes de abastecimiento similares sobre todo si existen fluctuaciones de la demanda con redes del tipo mallado. Las velocidades bajas en la red se pueden atribuir a la existencia de tuberías con diámetros grandes, implicando un encarecimiento innecesario de la red.

8.1.2.2 VELOCIDADES MÁXIMAS

Las velocidades máximas aparecen en horas pico de consumo. Estas velocidades originan unas mayores pérdidas de carga por la fricción con las tuberías y el resto de elementos.

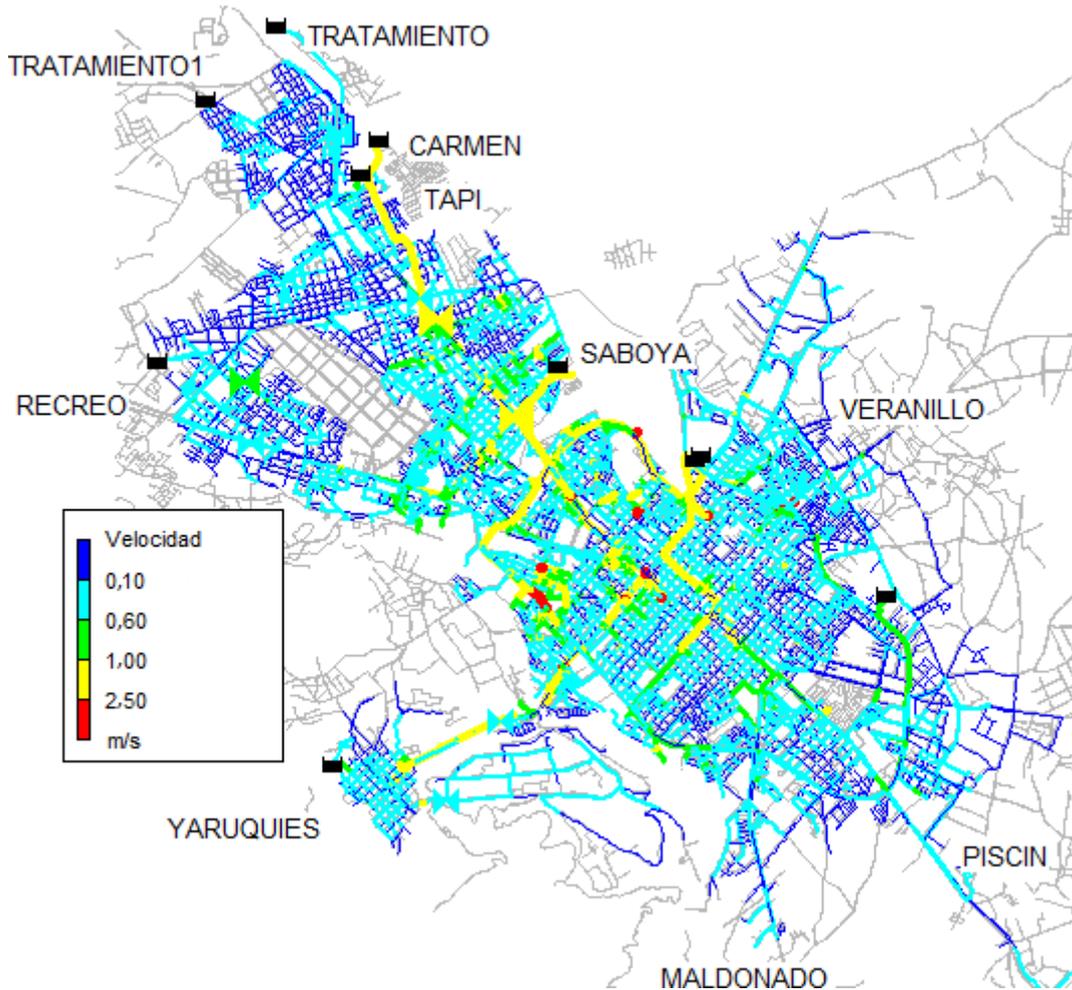


Fig 41. Velocidades máximas en las conducciones (m/s).

Se puede identificar que la mayoría de tuberías no presentan inconvenientes, puesto que existe un sobredimensionamiento en los diámetros del sistema para el consumo actual de la población.

Existen tuberías de distribución con velocidades superiores a 2,5 m/s, se debe realizar un estudio para verificar cuáles son las velocidades máximas en esas conducciones y apreciar si pueden ocasionar problemas importantes de pérdidas de carga.

8.1.3 ESTUDIO DE CAUDALES

De forma complementaria al análisis anterior, este estudio proporciona un detalle del comportamiento de las conducciones para comprobar qué tuberías están con un mayor porcentaje de caudal. Su conocimiento es útil para distinguir aquellas instalaciones que tienen una mayor fluctuación en la demanda.

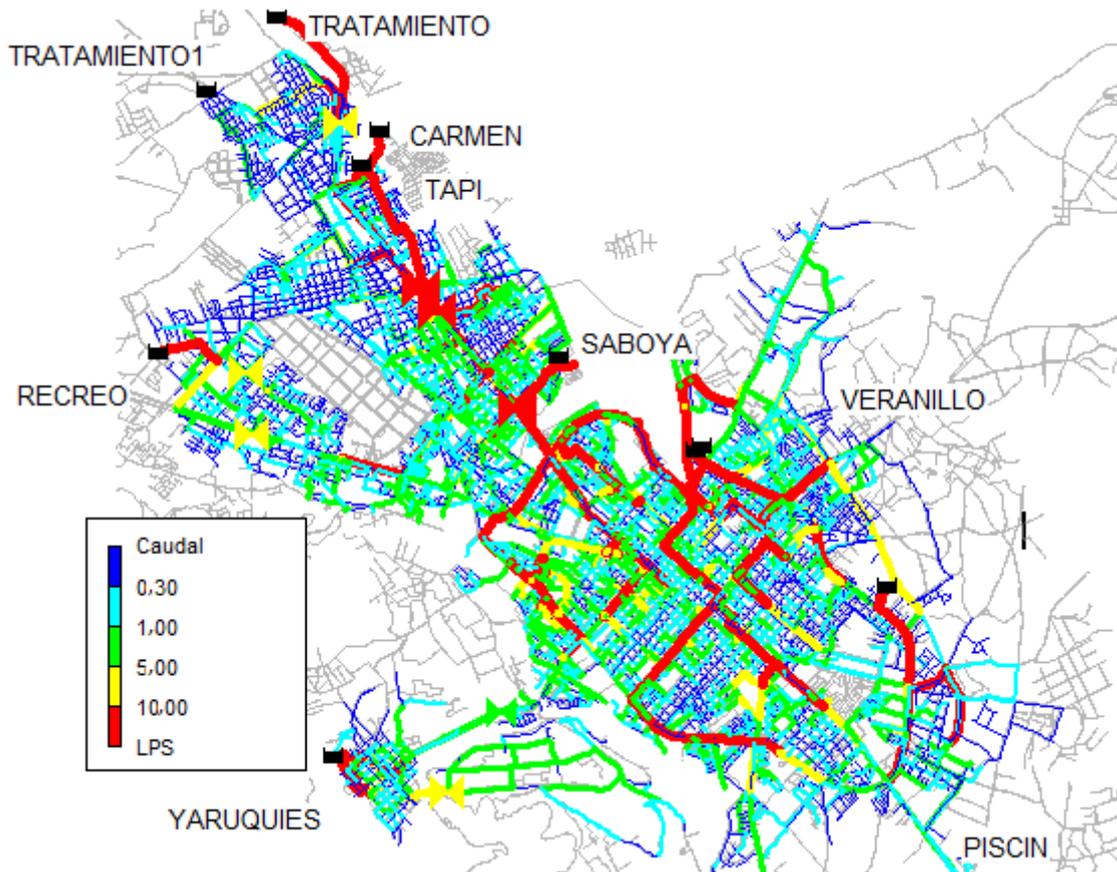


Fig 42. Caudales circulantes en las conducciones (l/s).

En la figura superior se observa que las conducciones con un mayor caudal son las tuberías arteriales de la red, es decir están más propensas a tener sobrecargas.

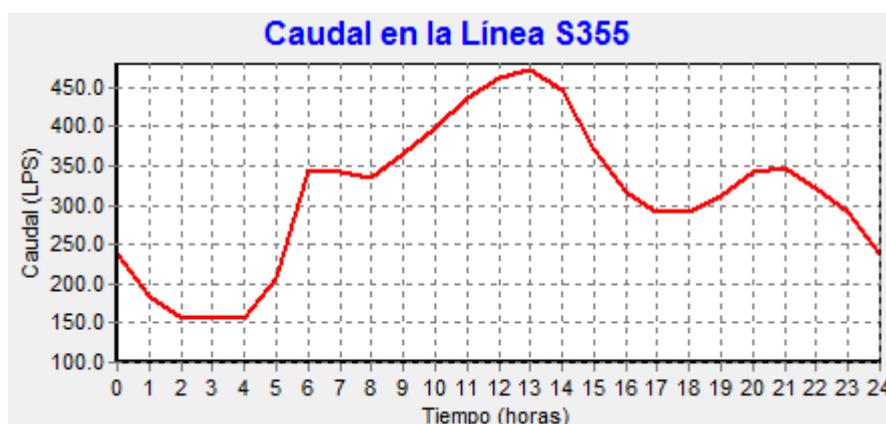


Fig 43. Evolución del caudal en la Tubería arterial de Φ 581,6 mm.

8.1.4 ESTUDIO DE PÉRDIDAS UNITARIAS

Este análisis permite localizar aquellas tuberías que actúan como cuellos de botella disipando energía. Para ello, el factor de referencia son las conducciones que ejercen pérdidas igual o superior a 4 mca/km.

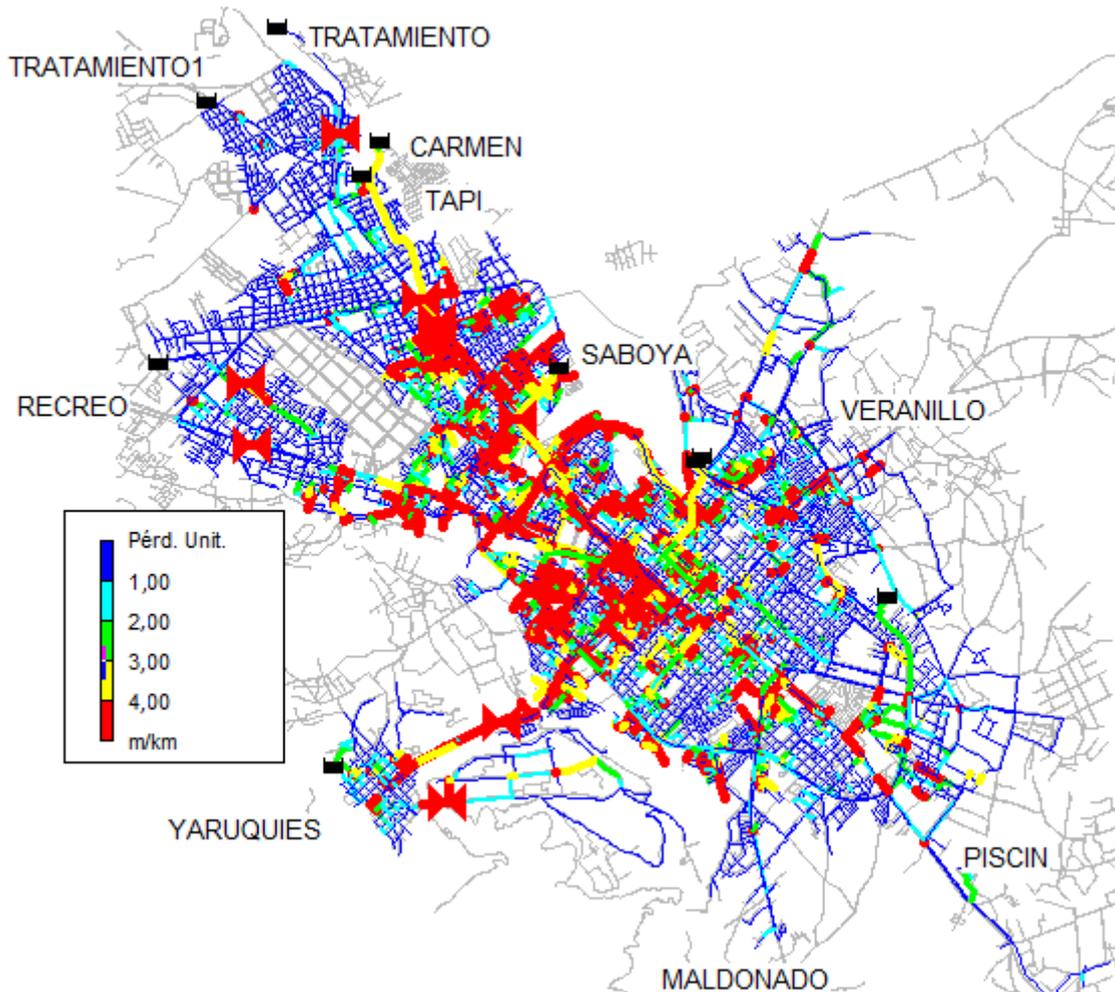


Fig 44. Pérdidas Unitarias que generan las tuberías (mca/km).

Se distingue en el mapa que existen tuberías que ocasionan pérdidas en algunos sectores, pero no provocan ninguna preocupación en el sistema de estudio. Además hay conducciones que tienen factores superiores a 4 m/km que deben ser estudiadas pues pueden generar problemas importantes en la red.

8.1.5 CONCLUSIONES PRIMER ESCENARIO

- La red de la Ciudad de Riobamba es capaz de abastecer sin ningún problema un volumen superior al actualmente inyectado.

- Se tiene que realizar un plan de instalación de válvulas reductoras de presión que garanticen tener menos puntos con sobrepresiones.
- Establecer un análisis de control de calidad para verificar que las velocidades bajas del sistema estén afectando el agua de distribución.
- Si a partir del caudal facturado de (678,04 l/s), hay un incremento en el factor de demanda del 9 % (consumo de la ciudad), comienza a existir la presencia de ciertos puntos con presiones negativas, desde ese instante surge la necesidad de realizar un estudio adecuado y dar una solución eficiente a estos inconvenientes.

8.2 ANÁLISIS POR SECTORES

Para el análisis de los 9 sectores, se estima el coeficiente global de fugas para cada uno a través de iteraciones, hasta conseguir la igualdad del volumen inyectado en *EPANET* y el proporcionado por la Empresa EMAPAR. Los cálculos a detalle se encuentran en **Anejo 5 - Cálculos del coeficiente global de fugas**.

Tabla 20. Detalle de los valores del coeficiente global de fugas para cada sector.

| # | SECTOR | Caudal Inyectado EMAPAR (l/s) | Caudal Inyectado EPANET (l/s) | COEFICIENTE GLOBAL de fugas |
|---------|-------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 1 | Tratamiento | 17,24 | 17,24 | k=0,67 |
| 2 | Tapi | 33,84 | 33,84 | k=1,60 |
| 3 | Recreo | 24,25 | 24,25 | k=1,18 |
| 4 | Carmen | 83,75 | 83,75 | k=4,48 |
| 5 | Saboya | 203,83 | 203,83 | k=8,90 |
| 6 | Maldonado | 120,48 | 120,48 | k=5,03 |
| 7 | Veranillo | 88,53 | 88,53 | k=3,86 |
| 8 | Piscin | 27,16 | 27,17 | k=1,31 |
| 9 | Yaruquies | 34,92 | 34,92 | k=1,41 |
| TOTAL | | 634,01 | 634,00 | |
| ERROR % | | 0,001 | | |

Una vez que se obtienen los coeficientes globales de fugas, se ingresan a *EPANET* los emisores mediante la longitud ponderada de las tuberías. La asignación de los consumos se realiza mediante el volumen facturado, el cual es distribuido para el total de los nudos de cada sector (**Anejo 3.2 - Cálculos de las demandas**). En cada una de las sectorizaciones se realizan los análisis de: presiones, caudales, velocidades, pérdidas de carga en tuberías, etc.

8.2.1 SECTOR EL TRATAMIENTO

Se encuentra ubicado en el norte de Riobamba, se suministra mediante 2 tanques de reserva (1 de 1.000 m³, y 1 de 100 m³) a una población promedio de 5.600 habitantes, en este sector existe 1 válvula reductora de presión y tiene una eficiencia volumétrica de 75,2 %.

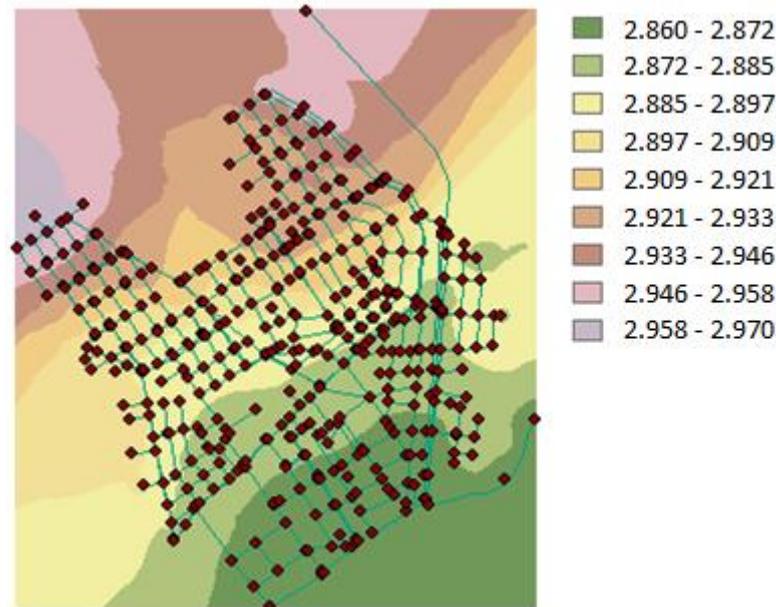


Fig 45. Detalle topográfico de la Red Tratamiento (m).

8.2.1.1 ANÁLISIS DE PRESIONES

Se realizan análisis de presiones máximas y mínimas para verificar los puntos expuestos a fluctuaciones importantes y cuáles pueden ser las anomalías de la red.

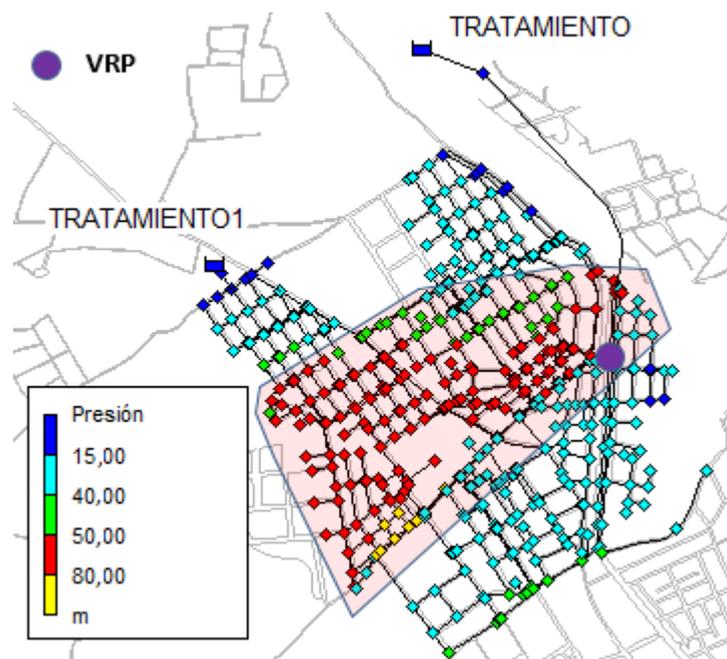


Fig 46. Mapa de presiones de la Red Tratamiento (mca).

Existen puntos de consumo que tienen elevadas presiones y pueden causar inconvenientes de fisuras. Se debe controlar la presión mínima de 15 mca que debe garantizar la Empresa EMAPAR, además de verificar que en el sistema no existan presiones negativas (régimen permanente).

Dado que el abastecimiento se realiza por medio de gravedad, se deduce el por qué hay varios puntos con elevada presión. Para controlar este inconveniente resulta útil considerar la instalación de válvulas reductoras.

8.2.1.2 ANÁLISIS DE CAUDALES

El mayor caudal se genera en el conducto arterial de la red. En la actualidad para este consumo de la ciudad no hay inconvenientes en las conducciones del sistema, se observa que son pocas las tuberías que están transportando caudales superiores a 10 l/s.

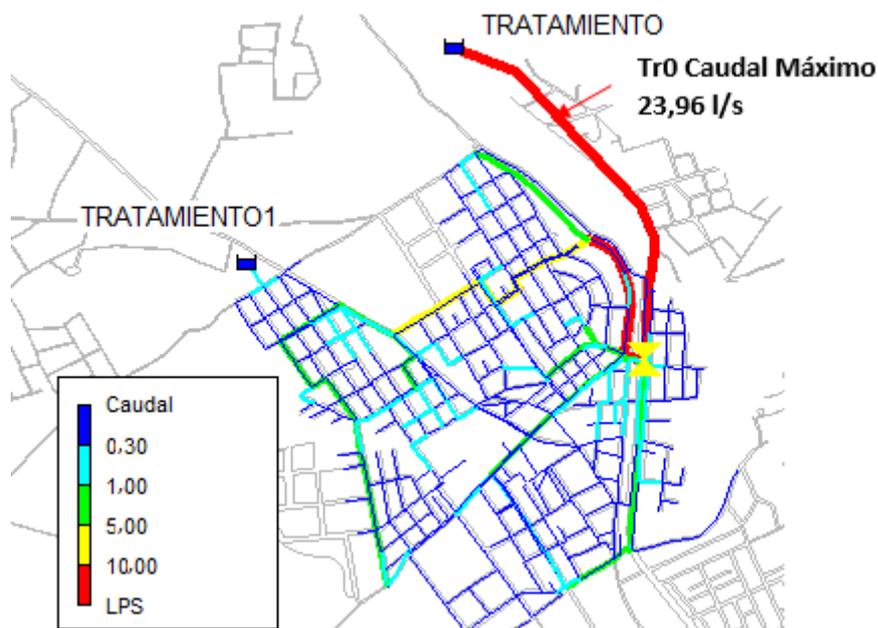


Fig 47. Caudales circulantes de la Red Tratamiento (l/s).

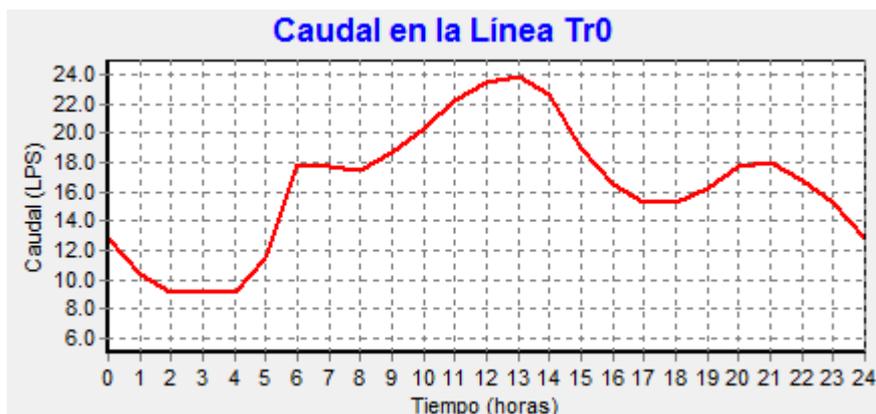


Fig 48. Evolución del caudal en la Tubería arterial de Φ 290,8 mm.

8.2.1.3 ANÁLISIS DE VELOCIDADES

Se verifican las velocidades máximas (mayor consumo), mínimas (menor consumo), y se analizan qué conducciones pueden ocasionar problemas de calidad del agua, causar mayores pérdidas de carga o generar un desgaste por erosión. Existe la posibilidad de observar velocidades bajas en el sistema por motivos de: diámetros de las conducciones elevadas, o caudales pequeños que se distribuyen a la población.

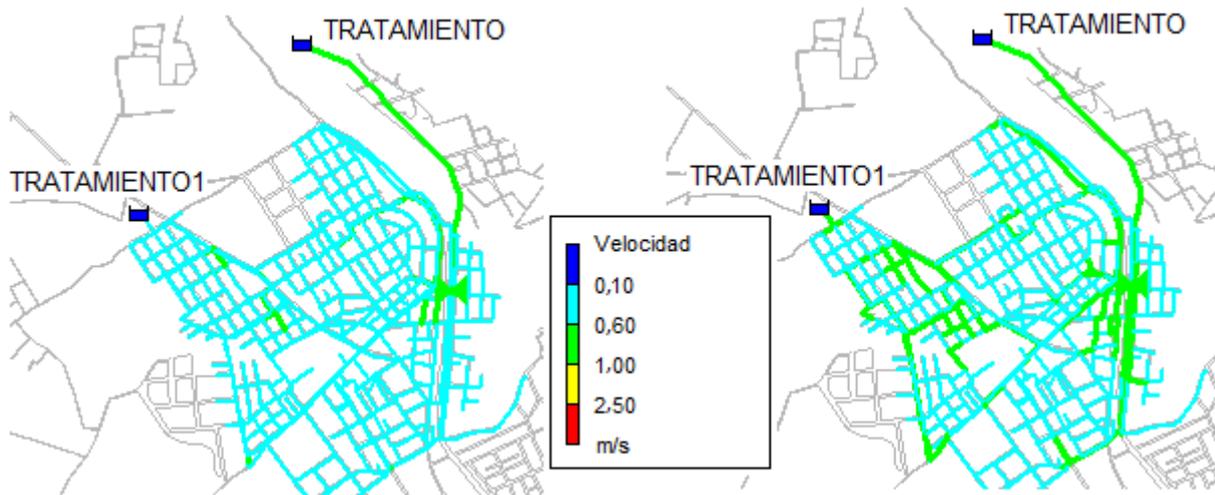


Fig 49. Velocidades en las conducciones (m/s). Izquierda: Mínimas Derecha: Máximas.

8.2.1.4 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS

Las tuberías poseen diámetros sobredimensionados, es decir, no ejercen problemas considerables. Además existen conducciones que por su longitud hacen que las pérdidas sean muy pequeñas para el sistema.

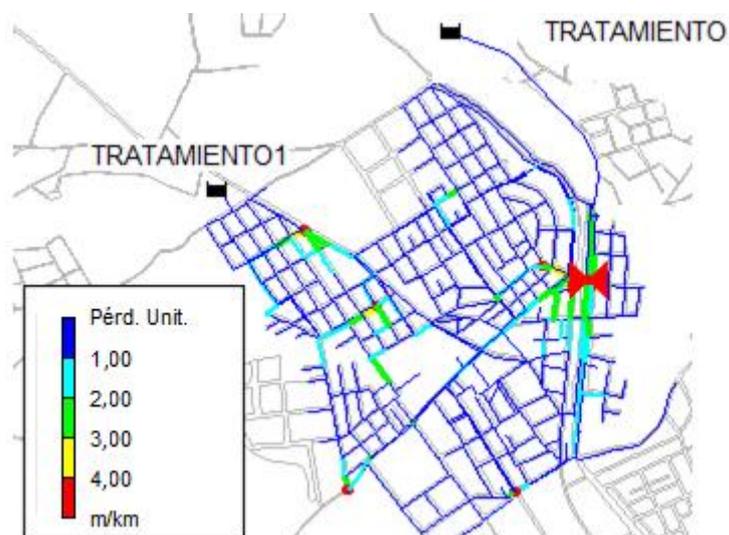


Fig 50. Pérdidas Unitarias que generan las tuberías (mca/km).

8.2.2 SECTOR EL CARMEN

Se encuentra ubicado en la parte central de Riobamba, tiene 2 tanques de reserva uno de 1.500 m³ y otro de 2.000 m³, abastece a una población de 25.000 habitantes. En este sector existen 2 válvulas reductoras de presión y tiene una eficiencia volumétrica de 69,1 %.

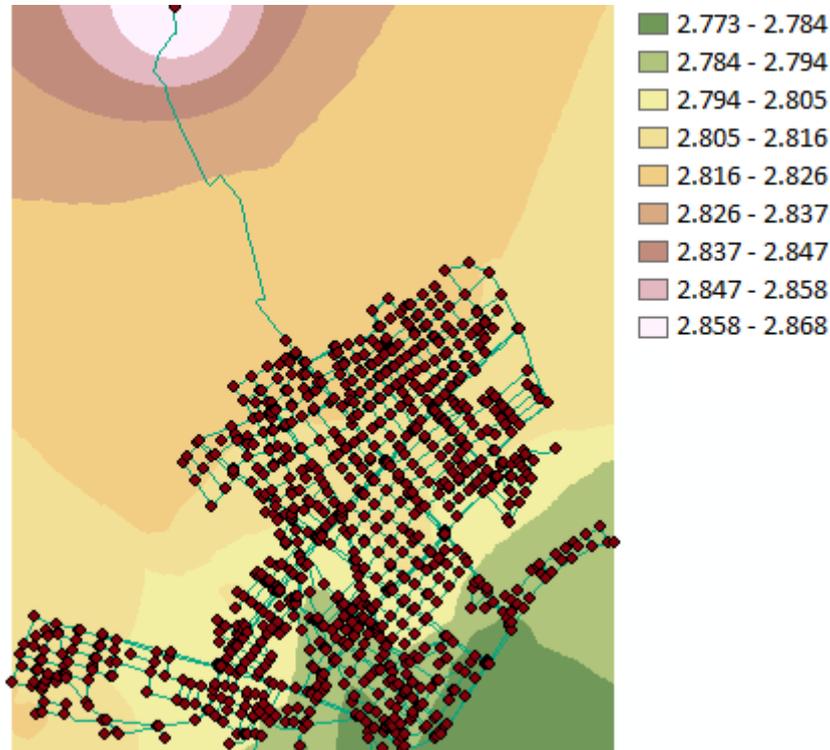


Fig 51. Detalle topográfico de la Red El Carmen (m).

8.2.2.1 ANÁLISIS DE PRESIONES

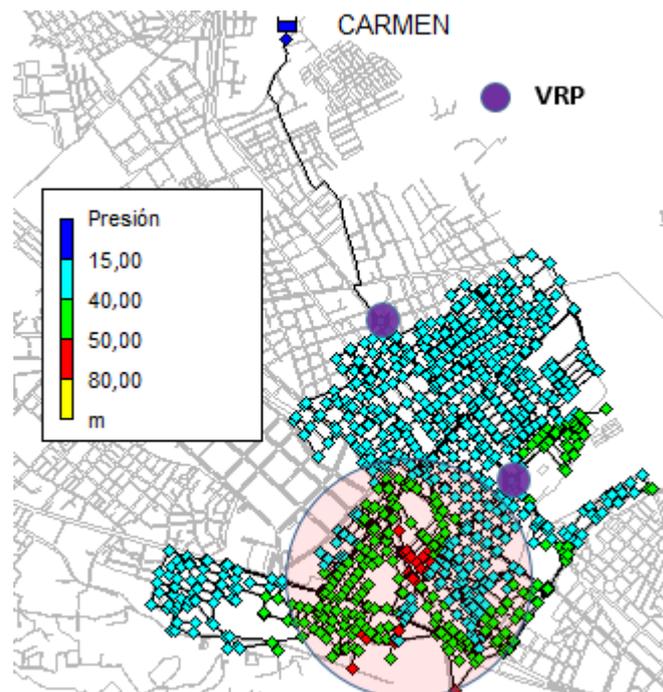


Fig 52. Mapa de presiones del sector El Carmen (mca).

Se observa, que incluso con las dos válvulas reductoras instaladas hay puntos con elevada presión, esto es debido a que el tanque de distribución se encuentra ubicado en una cota alta con referencia a la zona de consumo. Más adelante se analizan soluciones adecuadas para eliminar estas presiones en el sistema.

8.2.2.2 ANÁLISIS DE CAUDALES

Existen ciertas tuberías con un caudal superior a 10 l/s y son aquellas que proporcionan el fluido a las redes de distribución para el consumo de los habitantes.

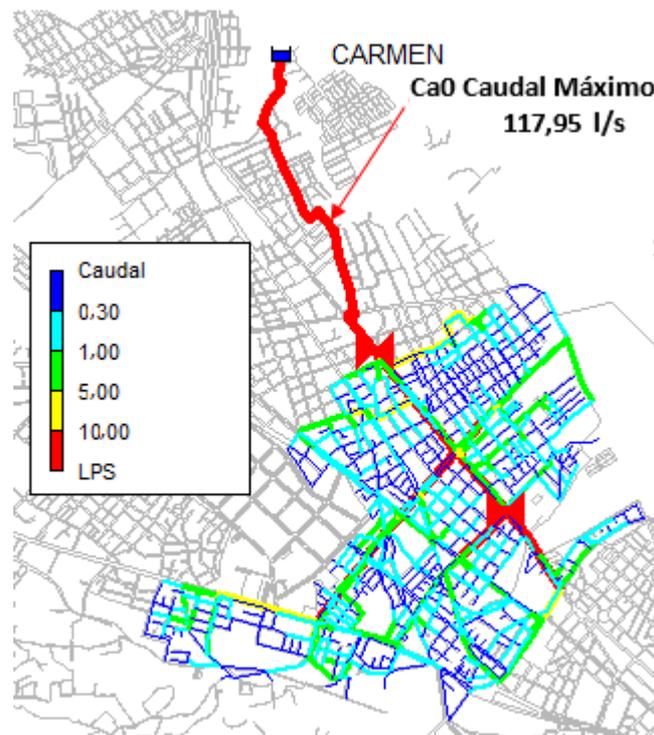


Fig 53. Caudales circulantes de la Red El Carmen (l/s).

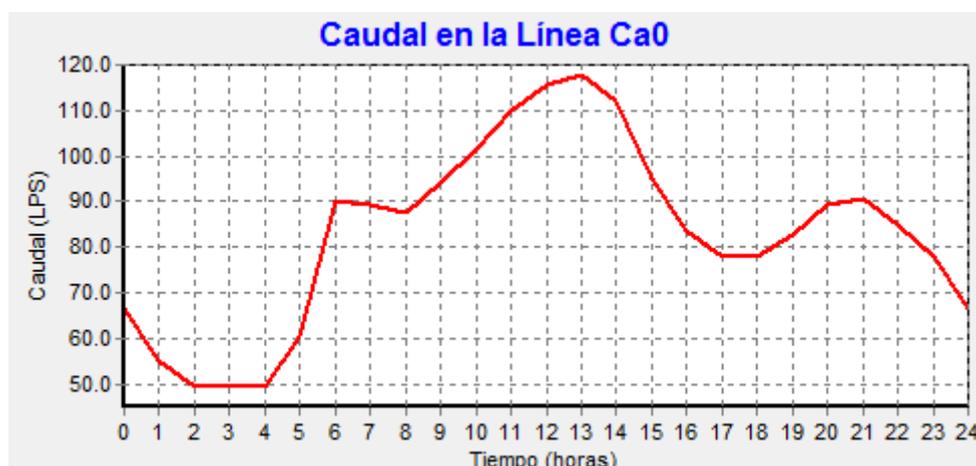


Fig 54. Evolución del caudal en la Tubería arterial de Φ 461,6 mm.

8.2.2.3 ANÁLISIS DE VELOCIDADES

Como en los demás sectores, en éste, hay problemas en las velocidades. Se debe realizar un monitoreo en distintos puntos de la red para controlar la calidad del agua que se entrega a los consumidores.

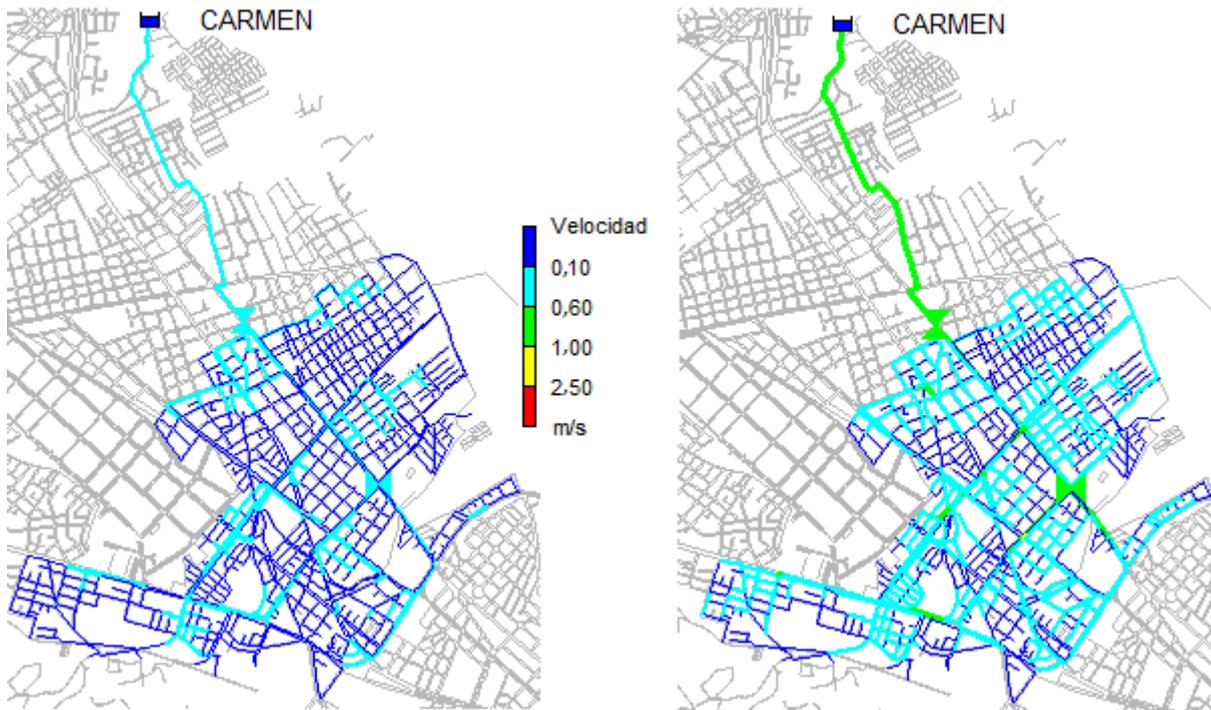


Fig 55. Velocidades en las conducciones (m/s). Izquierda: Mínimas Derecha: Máximas.

8.2.2.4 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS

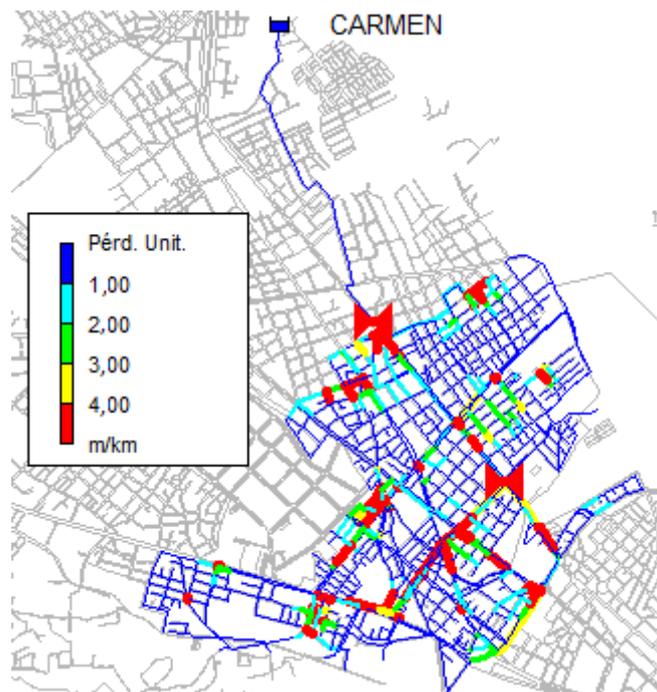


Fig 56. Pérdidas Unitarias que generan las tuberías (mca/km).

Esta zona al tener más caudal que trasegar, cuenta con mayor número de tuberías que ejercen pérdidas superiores a 4 mca/km. Se analizan si producen problemas importantes al sistema por sus longitudes.

Tabla 21. Tuberías que ejercerían mayores pérdidas.

| TUBERÍA | DIÁMETRO (mm) | LONGITUD (m) | P. UNITARIA (mca/km) | PÉRDIDAS (mca) |
|---------|---------------|--------------|----------------------|----------------|
| Ca165 | 101,6 | 409,83 | 4,16 | 1,70 |

8.2.3 SECTOR LA SABOYA

Se encuentra ubicado en la parte central de la ciudad, se suministra a través de cinco tanques de almacenamiento (3 de 1.000 m³ y 2 de 2.000 m³), abastece a una población de 63.400 habitantes. En esta zona no hay válvulas reductoras de presión y su eficiencia volumétrica es de 72 %.

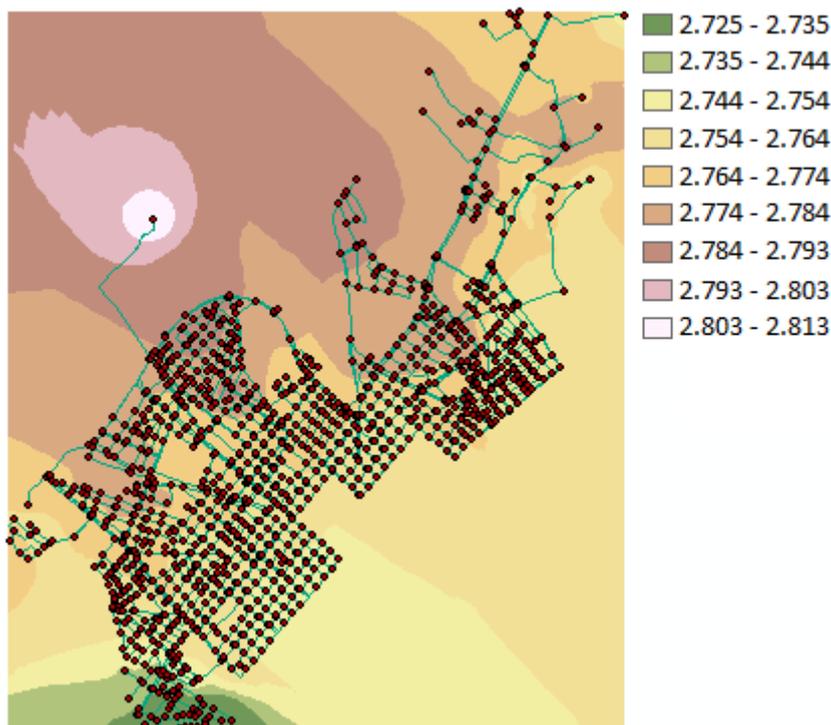


Fig 57. Detalle topográfico de la Red La Saboya (m).

8.2.3.1 ANÁLISIS DE PRESIONES

Al no tener instaladas válvulas reductoras de presión, se observan muchos puntos con presiones superiores a 50 mca debido a la altura del depósito de distribución. Para solucionar este inconveniente se debe realizar un estudio específico de instalación de VRP en el sector.

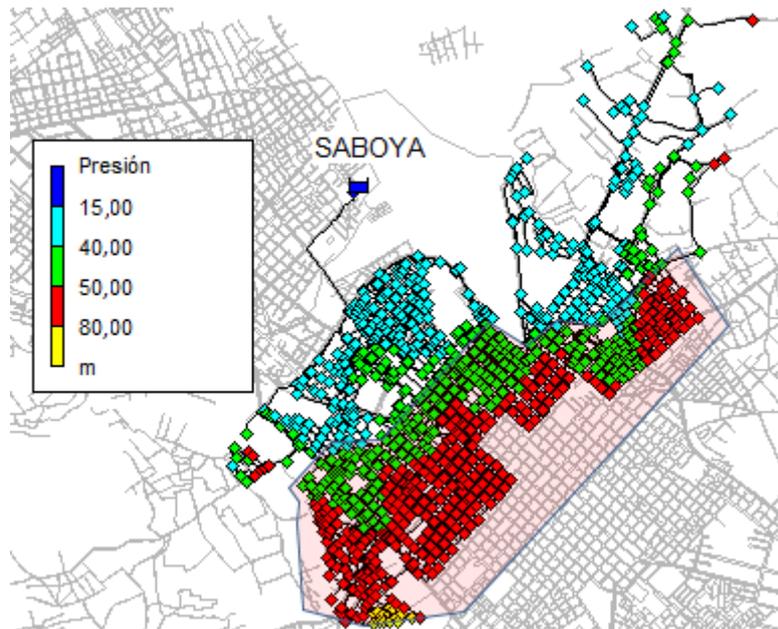


Fig 58. Mapa de presiones del sector La Saboya (mca).

8.2.3.2 ANÁLISIS DE CAUDALES

En esta zona de estudio existen varias tuberías con caudales superiores a 10 l/s, es decir hay un consumo superior por parte de los habitantes del sector.

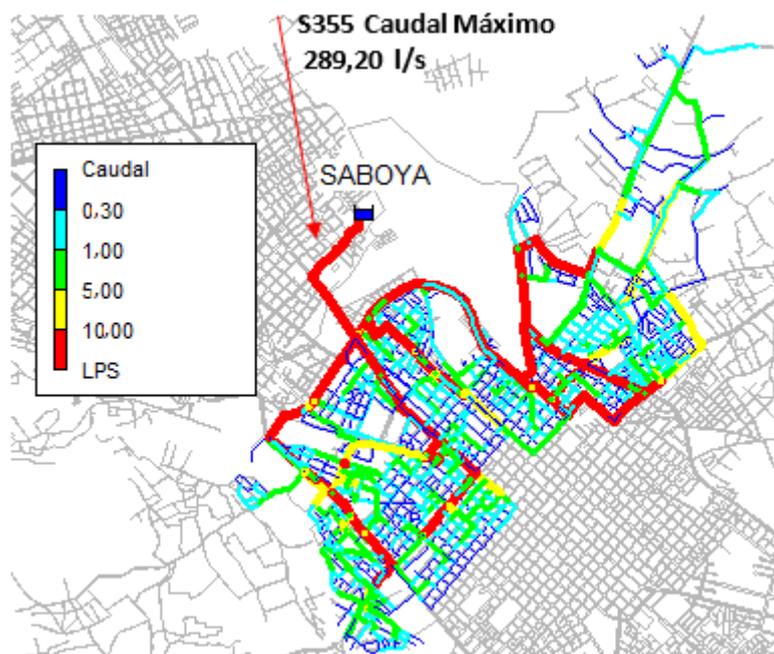


Fig 59. Caudales circulantes de la Red La Saboya (l/s).

Es uno de los sectores con mayor caudal de conducción en horas punta de consumo (289,20 l/s).

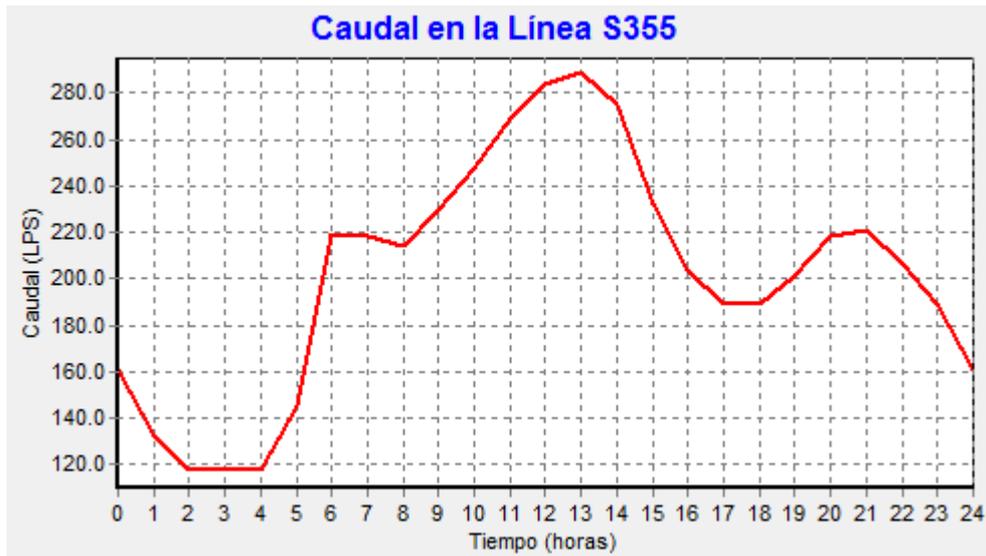


Fig 60. Evolución del caudal en la Tubería arterial de Φ 581,6 mm.

8.2.3.3 ANÁLISIS DE VELOCIDADES

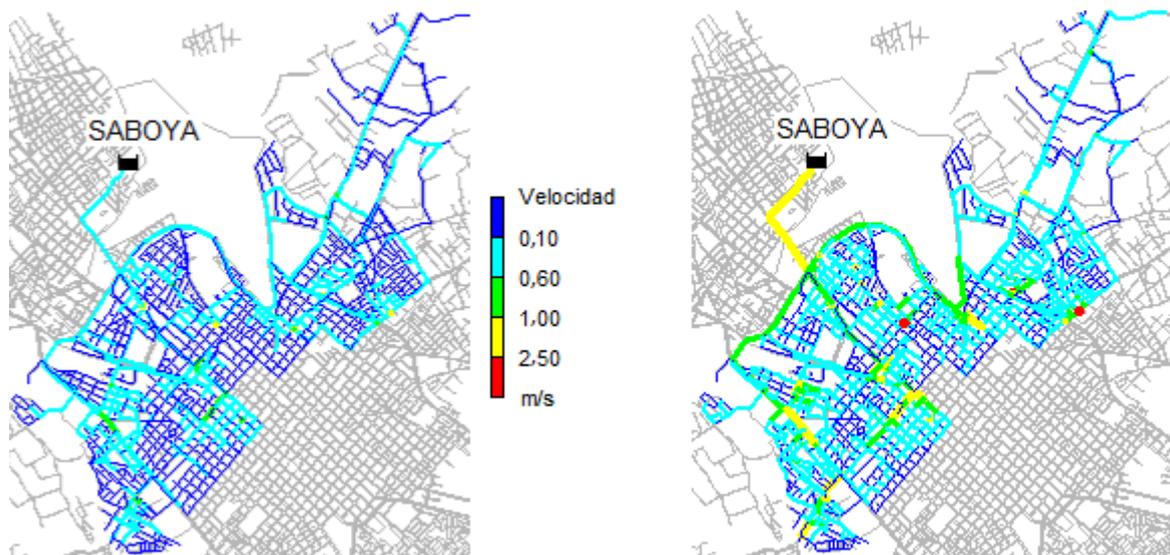


Fig 61. Velocidades en las conducciones (m/s). Izquierda: Mínimas Derecha: Máximas.

Se analiza el primer sector que se detectan velocidades superiores a 2,5 m/s, sin embargo, como se detalla en la tabla 22, las velocidades no alcanzan valores que puedan ocasionar problemas en la red.

Tabla 22. Velocidades máximas en las conducciones.

| TUBERÍA | DIÁMETRO (mm) | LONGITUD (m) | VELOCIDAD (m/s) |
|---------|---------------|--------------|-----------------|
| S844 | 58,2 | 32,81 | 2,59 |
| S2077 | 58,2 | 1,19 | 3,23 |

8.2.3.4 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS

Se observan tuberías con un factor elevado de pérdidas unitarias, pero por la longitud del conducto no representan inconvenientes al sistema.

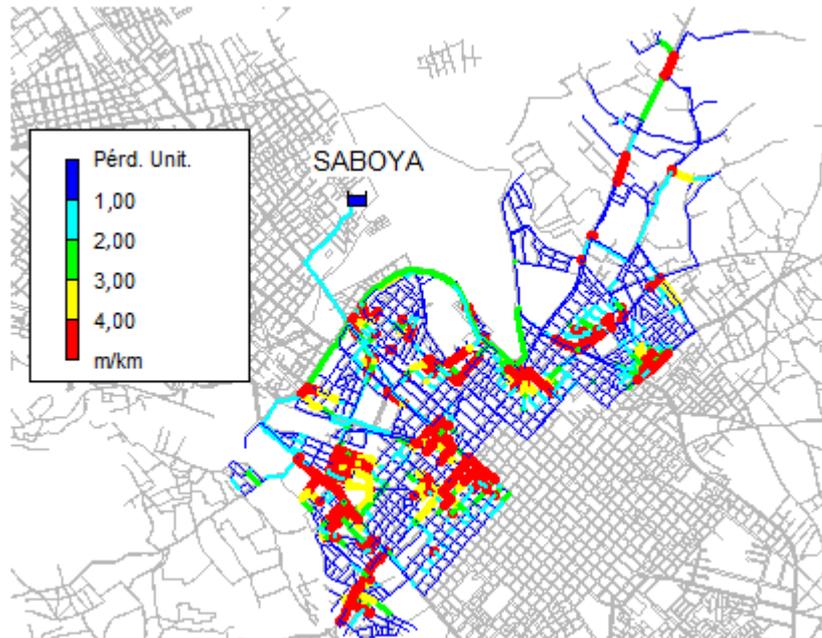


Fig 62. Pérdidas Unitarias que generan las tuberías (mca/km).

8.2.4 SECTOR SAN JOSÉ DE VERANILLO

Se encuentra ubicado en el centro de la ciudad, tiene un tanque de reserva de 2.500 m³, abastece a una población de 28.300 habitantes. El sector no tiene válvula reductora y tiene una eficiencia volumétrica del 74 %.

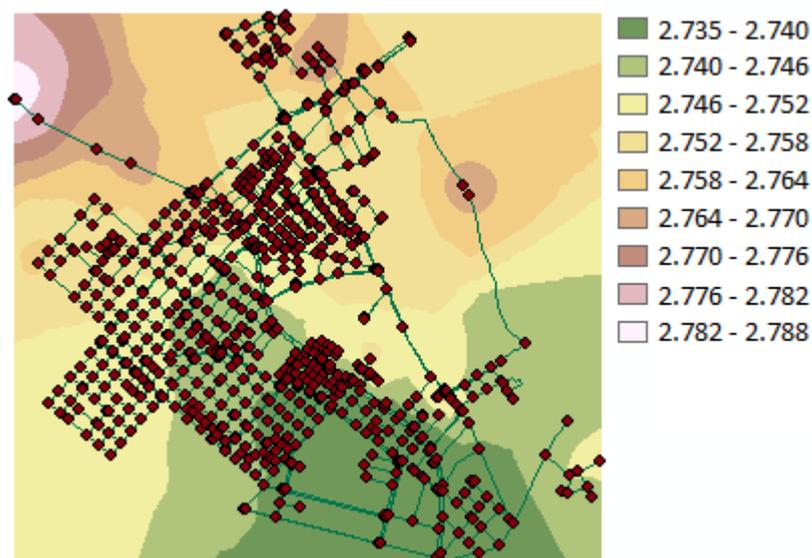


Fig 63. Detalle topográfico de la Red San José de Veranillo (m).

8.2.4.1 ANÁLISIS DE PRESIONES

Este sector tiene pocos puntos con sobrepresiones, se debe a que el tanque de reserva se encuentra ubicado en una cota suficiente para poder garantizar un suministro adecuado, sin embargo se puede instalar alguna válvula reductora con el fin de controlar aquellos nudos de consumo que presentan presiones superiores a 50 mca.

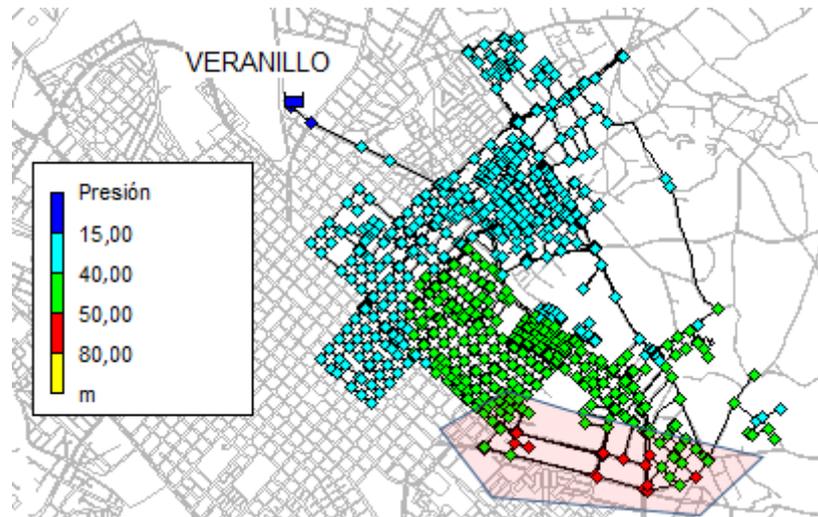


Fig 64. Mapa de presiones del sector San José de Veranillo (mca).

8.2.4.2 ANÁLISIS DE CAUDALES

Se aprecia que las tuberías arteriales del sector son las responsables de transportar el caudal demandado por la zona de estudio. El caudal máximo en la tubería principal es de 126,28 l/s.

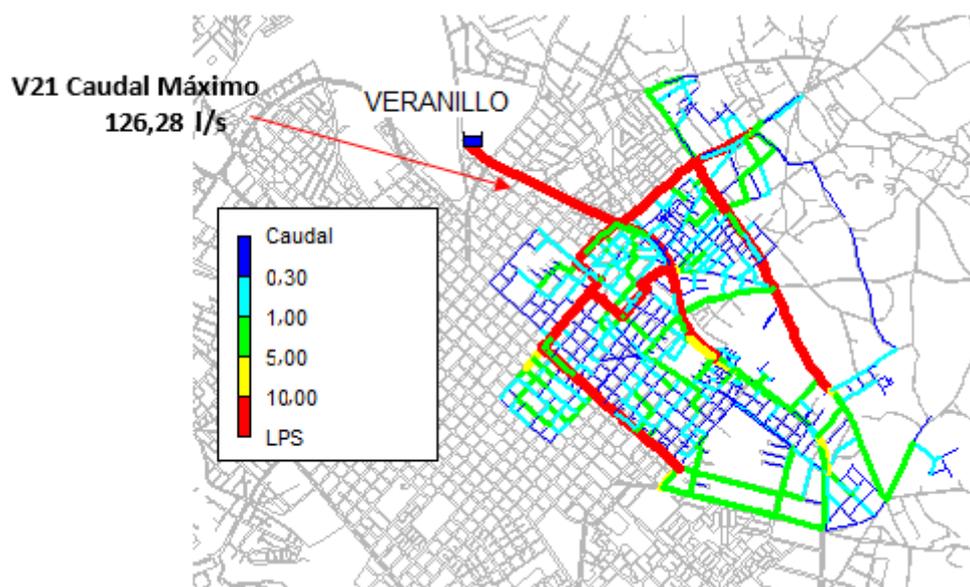


Fig 65. Caudales circulantes de la Red San José de Veranillo (l/s).

8.2.4.3 ANÁLISIS DE VELOCIDADES

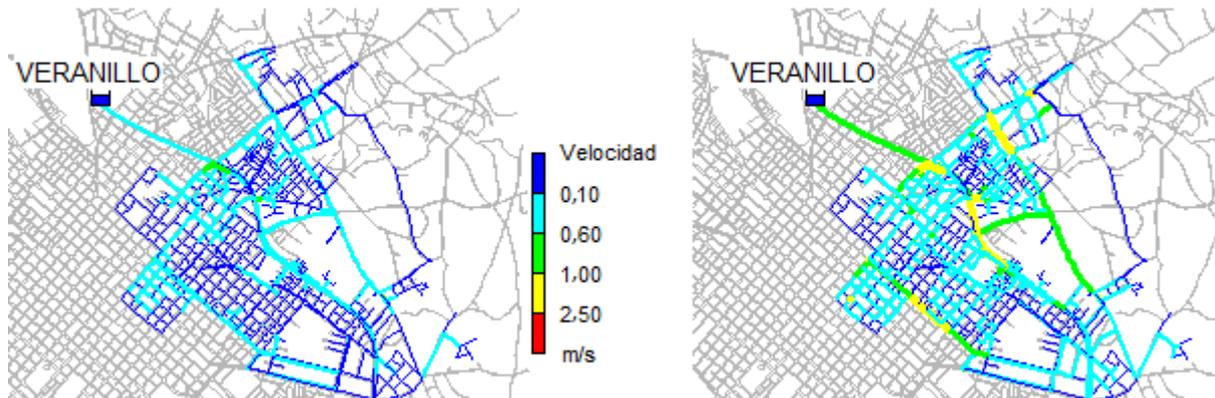


Fig 66. Velocidades en las conducciones (m/s). Izquierda: Mínimas Derecha: Máximas.

Hay inconvenientes en las velocidades máximas y mínimas, lo cual requiere de un análisis de la calidad del agua en puntos estratégicos de la ciudad.

8.2.4.4 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS

Hay que verificar las conducciones con un factor superior a 4 mca/km, puesto que existen longitudes aceptables para poder generar pérdidas que se consideren importantes en el sistema.

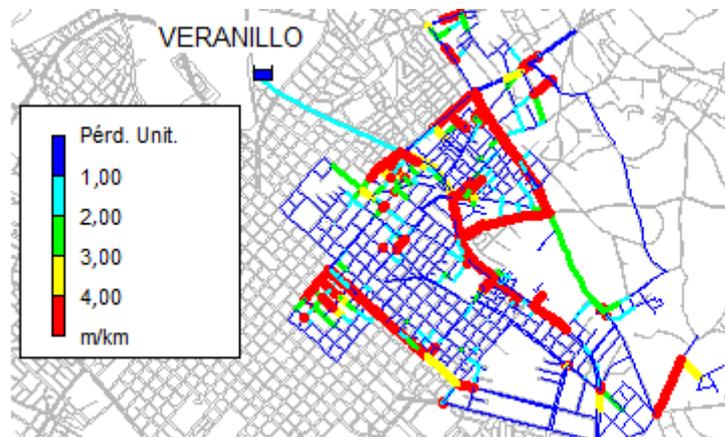


Fig 67. Pérdidas Unitarias que generan las tuberías (mca/km).

Tabla 23. Tuberías que ejercerían mayores pérdidas.

| TUBERÍA | DIÁMETRO (mm) | LONGITUD (m) | P. UNITARIA (mca/km) | PÉRDIDAS (mca) |
|---------|---------------|--------------|----------------------|----------------|
| V1176 | 58,2 | 419,36 | 19,26 | 8,07 |
| V357 | 147,6 | 566,40 | 6,35 | 3,59 |

Se observa que hay tuberías que ejercen pérdidas altas, pero no se estudia el cambio de las mismas, ya que la red es capaz de proveer de suficiente presión a los nudos de consumo.

8.2.5 SECTOR YARUQUIES

Está ubicado en el suroeste de la ciudad, posee un tanque de reserva de 1.000 m³, abastece aproximadamente a 10.500 habitantes. Existen dos válvulas reductoras de presión y tiene una eficiencia volumétrica del 69,6 %.

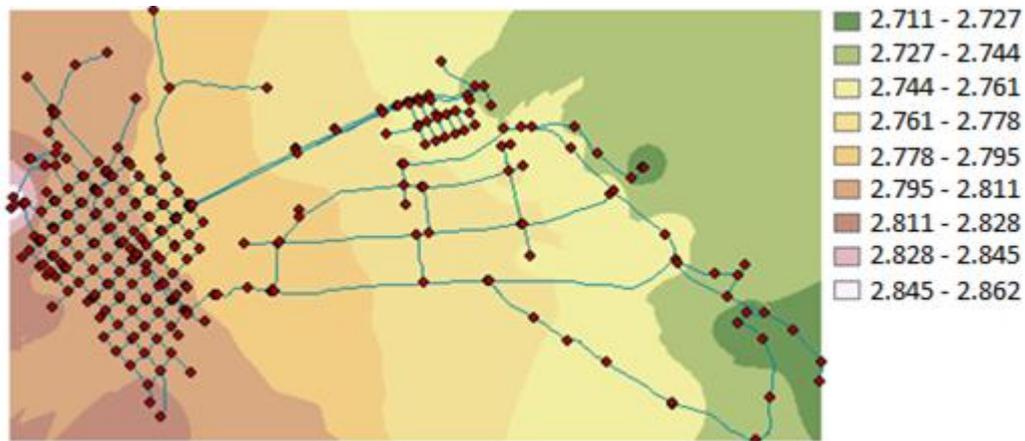


Fig 68. Detalle topográfico de la Red Yaruquies (m).

8.2.5.1 ANÁLISIS DE PRESIONES

Hay dos válvulas reductoras, aun así, presentan puntos con excesiva presión, por lo que es necesario realizar un estudio de corrección en la colocación de las válvulas, y así garantizar el funcionamiento óptimo de las tuberías.

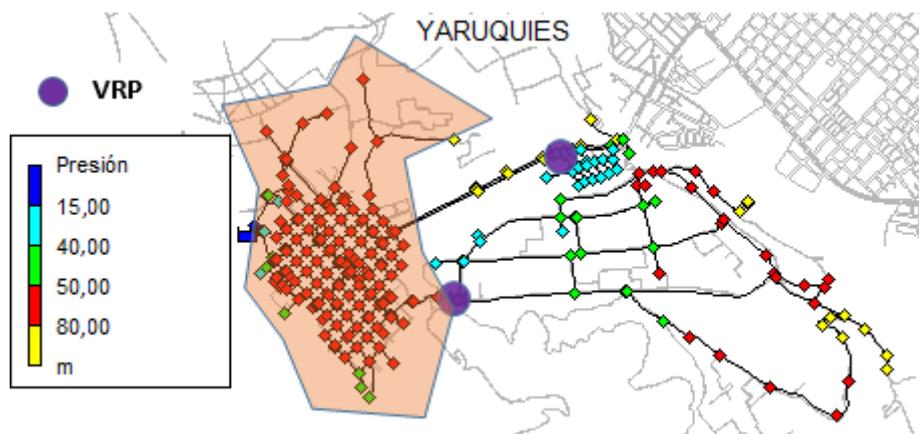


Fig 69. Mapa de presiones del sector Yaruquies (mca).

8.2.5.2 ANÁLISIS DE CAUDALES

Esta zona cuenta con una bifurcación de tuberías arteriales que están destinadas a proveer el caudal necesario para el abastecimiento del sector. Para conseguir este objetivo se conducen caudales de 28,68 l/s y de 18,52 l/s en las horas de mayor consumo de la población.

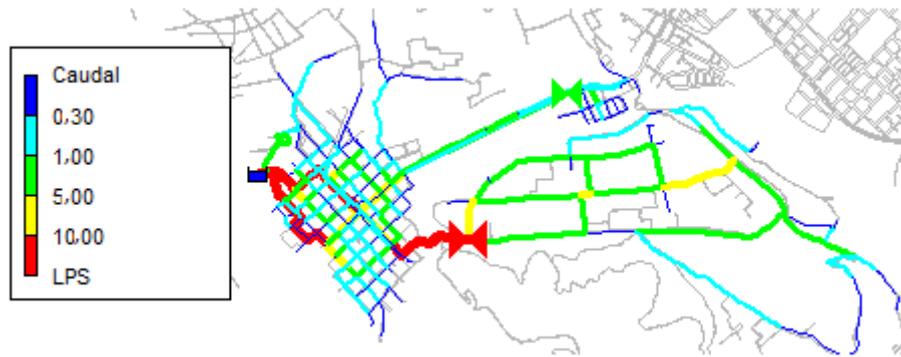


Fig 70. Caudales circulantes de la Red Yaruquies (l/s).

8.2.5.3 ANÁLISIS DE VELOCIDADES

Como en las zonas anteriores, en ésta se presentan problemas de velocidades que deben ser analizadas con el fin de garantizar un suministro adecuado y de calidad.

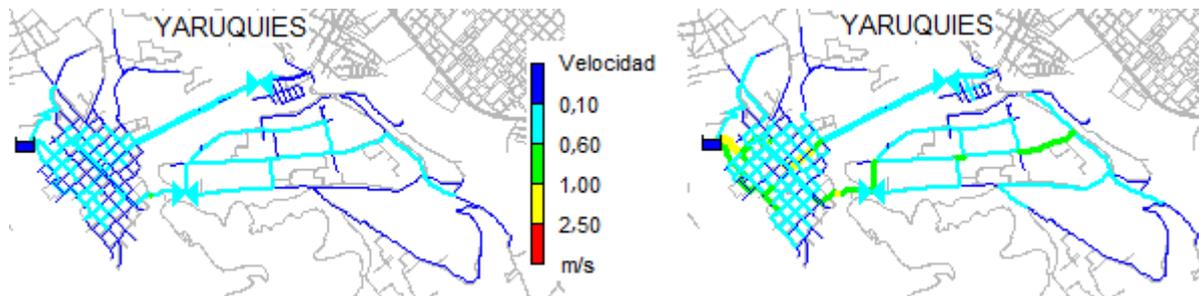


Fig 71. Velocidades en las conducciones (m/s). Izquierda: Mínimas Derecha: Máximas.

8.2.5.4 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS

Algunas tuberías presentan pérdidas mayores a 4 m/km, sin embargo no son significativas por la longitud que poseen.

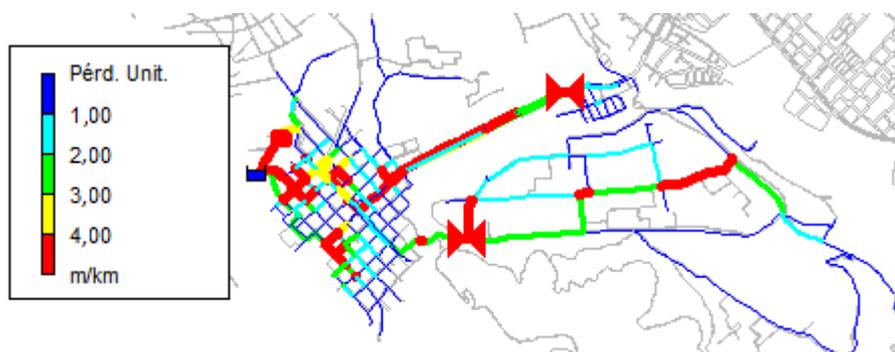


Fig 72. Pérdidas Unitarias que generan las tuberías (mca/km).

Se pueden visualizar en [Anejo 6 - Análisis por Sectores](#) las simulaciones de los sectores restantes.

8.3 ANÁLISIS ABASTECIMIENTO 18 HORAS

Anteriormente se analizaron los sectores suponiendo un suministro continuo de 24 horas para todas las zonas, pero se conoce que actualmente algunos de ellos (Tapi, Recreo, Saboya, Maldonado, Veranillo) tienen un servicio intermitente de 18 - 20 horas al día.

Se ha intentado conseguir datos sobre las horas que abastecen en estas zonas, pero ha sido un poco esquivo, es por eso, que se plantean dos curvas de modulación que pretenden representar el consumo diario con 18 horas de abastecimiento. Se toma como referencia de análisis el sector “La Saboya” por tener un mayor número de usuarios.

8.3.1 CURVAS DE MODULACIÓN

Se pretende obtener un caudal promedio de consumo de las dos curvas y así poder realizar las observaciones adecuadas en el sector de estudio. La primera curva analiza el alto consumo en las horas del mediodía y de la tarde, donde gran parte del volumen será captado por los aljibes del sector y consumido por los habitantes de la zona, es así que a partir de las 5 de la mañana la curva tiende a incrementarse lenta y secuencialmente durante las primeras horas.

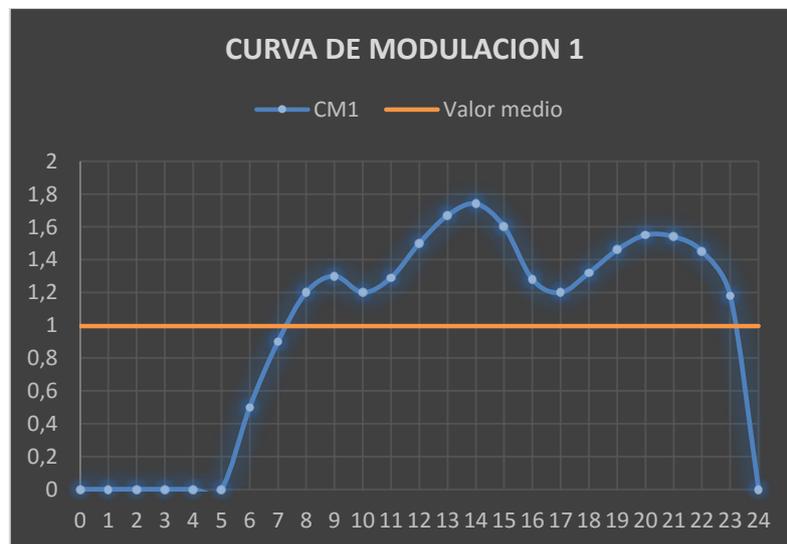


Fig 73. Primera Curva de modulación para 18 horas.

La siguiente curva muestra un mayor consumo al instante de accionar la válvula de apertura, puesto que se inicia un llenado por parte de los aljibes de los consumidores, mientras que en las últimas horas del día existe un consumo normal por parte de la población.

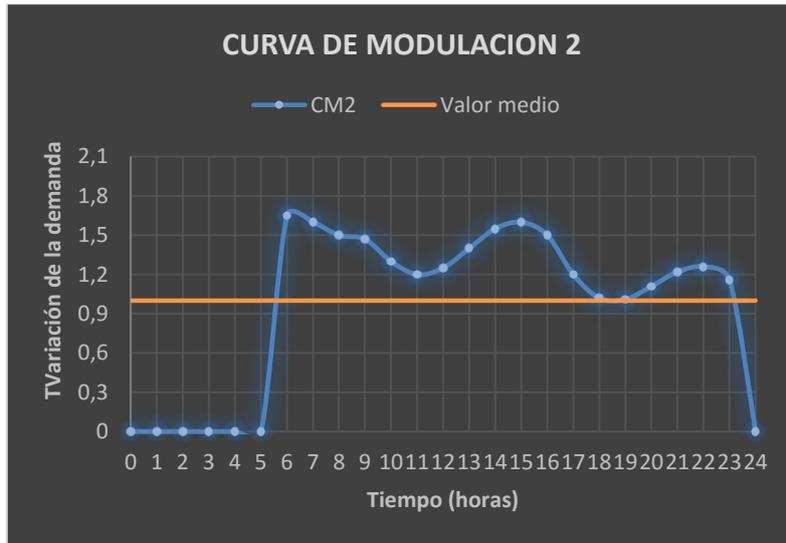


Fig 74. Segunda Curva de modulación para 18 horas.

Finalmente se determina un promedio con las simulaciones de cada una de las 2 curvas mencionadas y se realizan los estudios pertinentes en el sector de referencia.

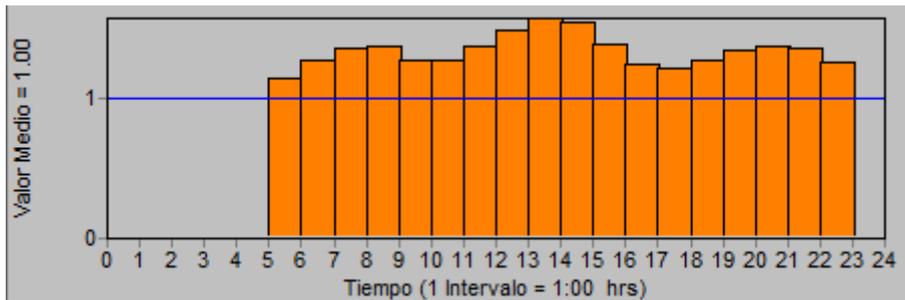


Fig 75. Curva de Modulación resultante (promedio).

8.3.2 ESTUDIO DE PRESIONES

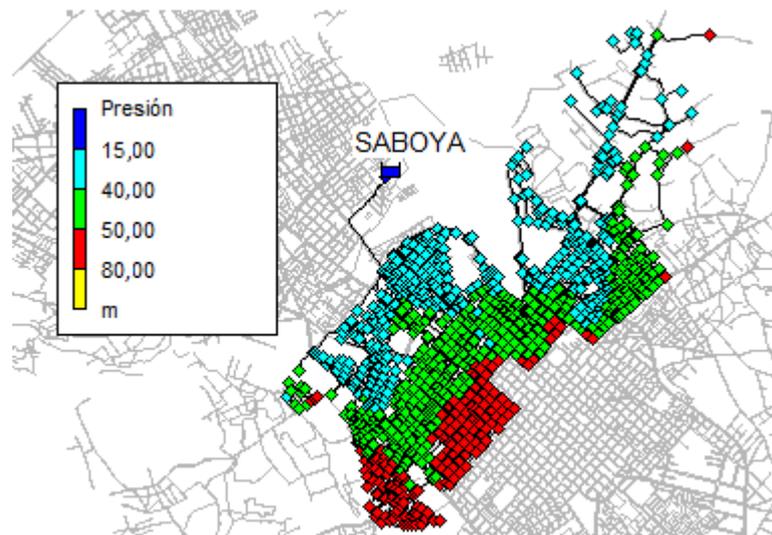


Fig 76. Mapa de presiones de la Red la Saboya (18 horas) (mca).

Como es característico de la red, el sector la Saboya presenta presiones elevadas dado que los nudos de consumo dependen de la altura en cabecera y de las cotas en cada uno de ellos.

8.3.3 ESTUDIO DE CAUDALES

Al tener menos horas de abastecimiento, se debe tener una gestión óptima del agua y garantizar que el fluido sea apto para el consumo de los habitantes, pues la despresurización y presurización puede favorecer al aumento del volumen fugado en el sistema, e incluso ocasionar intrusión patógena, (lo que conlleva a hervir el agua antes de ser consumida o recurrir al agua embotellada). El mayor caudal que se conduce por la red arterial en hora de mayor consumo es de 283,38 l/s.

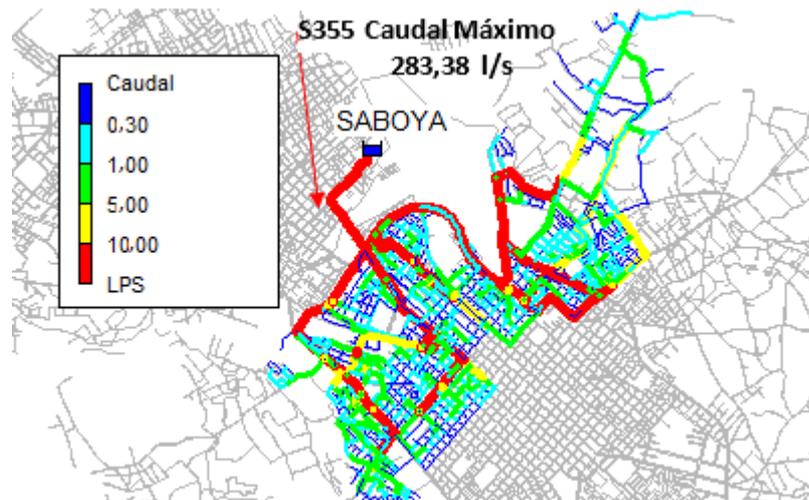


Fig 77. Caudales circulantes Red La Saboya (18 horas) (l/s).

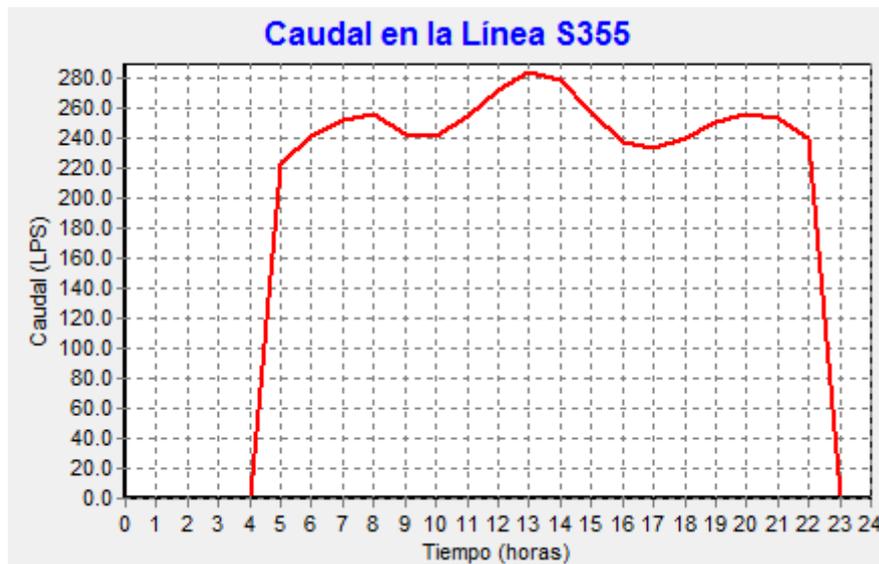


Fig 78. Evolución del caudal en la Tubería arterial de Φ 581,6 mm

Recordar que un abastecimiento de modo intermitente puede ocasionar mayores problemas en las conducciones, ya que están expuestos a cambios continuos de presión. El servicio discontinuo muchas veces depende de los altos niveles de agua no facturada, costos del servicio inadecuados, errores en los sistemas de medición, deficiente mantenimiento preventivo y en muchas de las localidades por falta de captación de fluido (Gómez, 2015).

Una distribución intermitente en la ciudad conlleva, a que la mayoría de los hogares tengan la necesidad de tener un aljibe, esto puede ocasionar problemas de calidad del agua, puesto que al tiempo de residencia en la red se tiene que sumar el que permanece en los depósitos de las casas antes de ser consumida, con la resultante pérdida del desinfectante (Machell y Boxall, 2012).

Recordar que el coeficiente de variación de la demanda se utiliza para revisar la capacidad de la tubería, pero en redes de operación intermitente, no es necesario considerar variaciones horarias de la demanda, el caudal en la tubería será aproximadamente uniforme (Cabrera-Béjar, 2012).

El coeficiente de variación se define por la duración del servicio. Si el caudal medio en (l/h), resulta del volumen de agua inyectada en un día en litros entre 24 horas, y el mismo volumen se suministra en N horas, el coeficiente de variación CV es:

$$CV = \frac{24}{\text{Horas de suministro}} \tag{6}$$

Es decir se podría realizar una nueva simulación con esta nueva curva que analiza desde el punto de vista uniforme. Coeficiente de variación de la demanda (24/18 = 1,33).

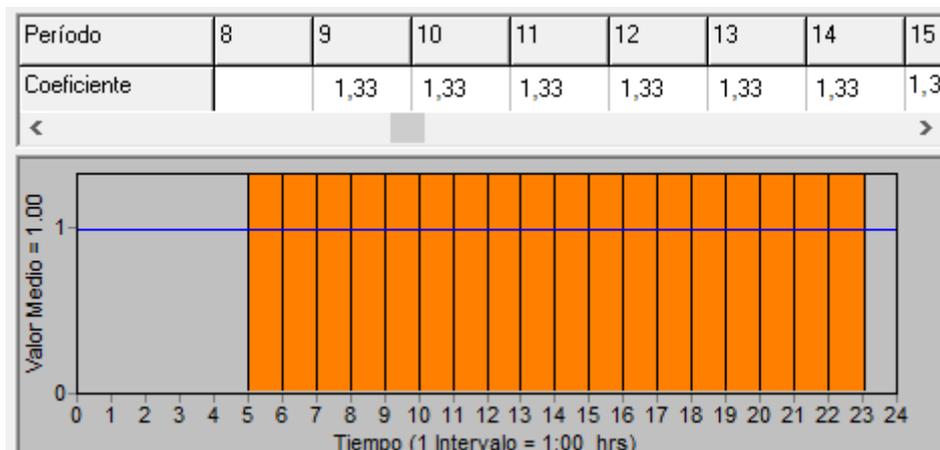


Fig 79. Curva de modulación uniforme.

8.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A modo general, del análisis de la red se han obtenido las siguientes conclusiones respecto al funcionamiento actual de la red:

- Como la ciudad tiene un abastecimiento netamente por gravedad, existen demasiados puntos con presiones elevadas, que con el tiempo pueden favorecer el volumen fugado de la red.
- En los nueve sectores se encuentran velocidades bajas de circulación del agua para determinados periodos de funcionamiento. Esto puede derivar en problemas de calidad del agua hacia los consumidores, por ello sería aconsejable mantener un monitoreo continuo de los principales indicadores de calidad en varios puntos de la red.
- Algunas tuberías trabajan con pérdidas de presión importantes, que precisarían de la renovación de diámetros en algunos tramos. En el presente trabajo no se analizan dichos cambios, y en cualquier caso presentaría un coste de ejecución considerable para la empresa EMAPAR. Por otro lado, esta renovación no es urgente puesto que se abastecen con suficiente presión todos los puntos de consumo.
- Sería conveniente plantear un plan estratégico de instalación de válvulas reductoras de presión en los nueve sectores de la ciudad, y así tener una mejor gestión en la distribución del agua potable. Con este análisis se pretende obtener un ahorro económico del caudal fugado, y evitar fluctuaciones excesivas de presión en la red. Esta estrategia proporcionará una mejora en la gestión ambiental, económica y sostenible del abastecimiento.
- Se debe tener presente, que en el servicio intermitente se está expuesto a presurizaciones y despresurizaciones continuas del sistema, esto implica que en la red entrará aire que debe ser expulsado de alguna manera; o podrían ocasionar problemas de transitorios. Este modus de operación reduce significativamente la vida útil de los elementos de cualquier sistema.
- Si se desea tener un abastecimiento continuo y un ahorro considerable de agua, se tiene que implementar un control adecuado de fugas, una gestión óptima del fluido, un mejor registro del volumen (inyectado, facturado) en las sectorizaciones, y además intentar efectuar una educación ambiental al ciudadano.

9. PROPUESTAS DE MEJORA

Como se detalla en el presente estudio, un problema regular y consistente en la red son las presiones superiores en la mayoría de puntos de consumo, ocasionando roturas en las conducciones, además de aumentar el volumen fugado. Es así, que el objetivo primordial en las propuestas es plantear posibles acciones con el fin de controlar las sobrepresiones generadas en cada uno de los sectores y analizar el volumen fugado económicamente.

9.1 GESTIÓN DE LA PRESIÓN

Los principales objetivos que se buscan alcanzar con la gestión óptima de la presión (instalación de válvulas reductoras de presión), en el sistema de distribución son:

- Disminuir el caudal fugado de la red, puesto que este volumen depende principalmente de la presión.
- Mejorar la eficiencia volumétrica, pues el volumen inyectado en el sistema será mucho menor.
- Disminuir las averías en las conducciones, reduciendo las fluctuaciones de presión y evitando esfuerzos elevados.

9.1.1 VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN

Las válvulas reductoras deben garantizar una presión constante aguas abajo independientemente de las fluctuaciones de caudal y presión. Debido a que la distribución de agua potable se realiza mediante gravedad existen puntos con sobrepresiones considerables, es así que la instalación de las válvulas ayudará al sistema de distribución a disminuir las presiones en los puntos de consumo que se localizan en cotas bajas.

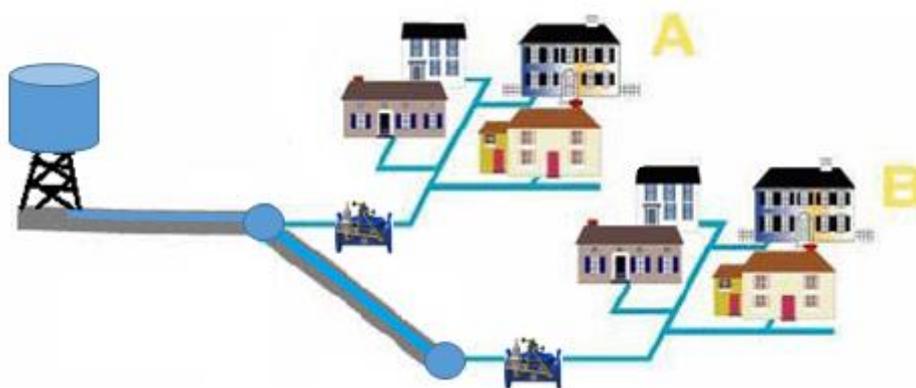


Fig 80. Detalle de la instalación de VRP.

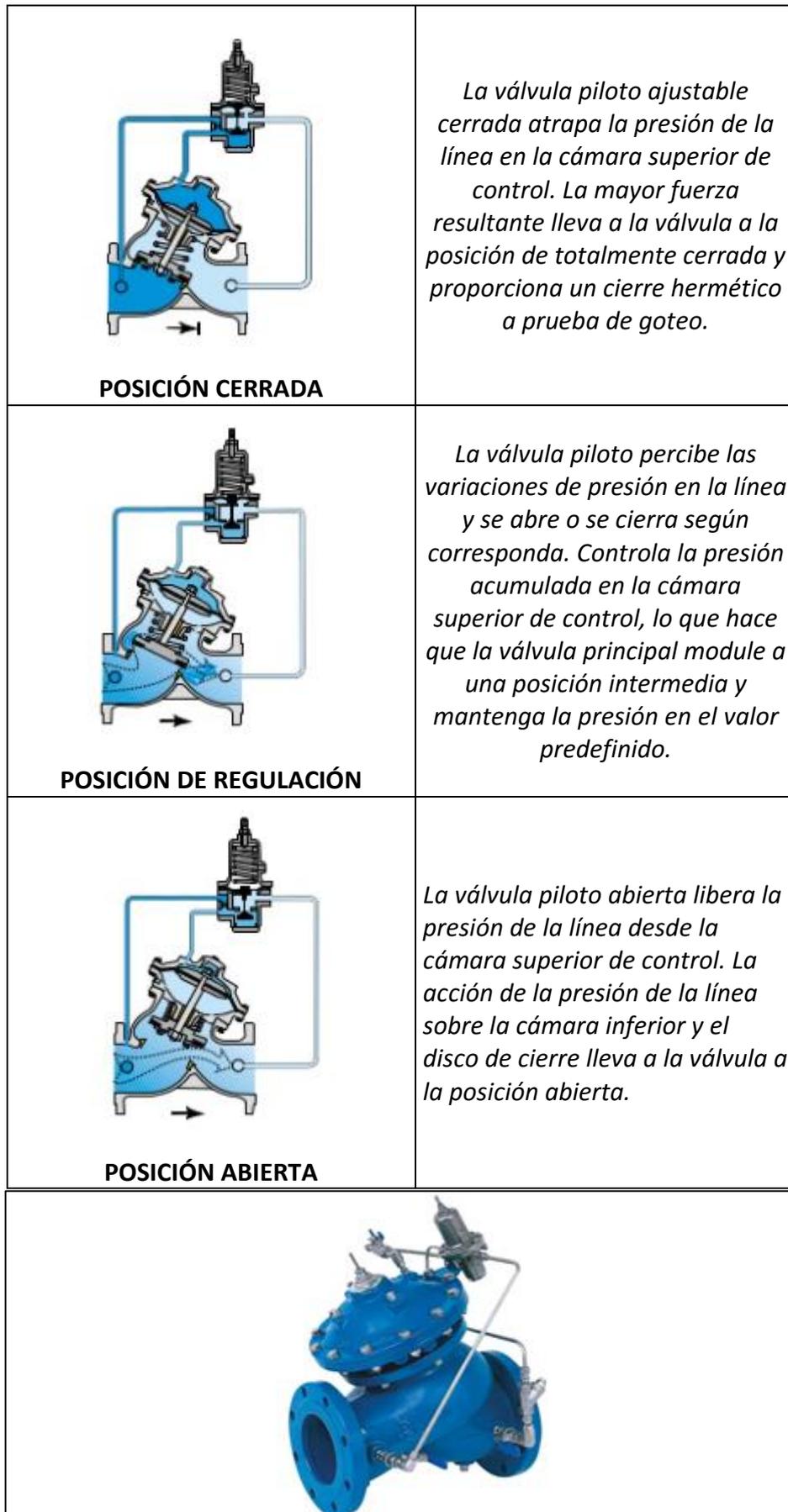


Fig 81. Esquema del funcionamiento de la VRP (Fuente BERMAD).

9.1.2 INSTALACIÓN DE VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN

Posteriormente se verifican los cambios obtenidos con las instalaciones de las válvulas reductoras en los sectores de Riobamba. Se toma como base fundamental la simulación de presiones máximas en el sistema, garantizando así la disminución de averías en la red.

El proceso utilizado en *EPANET* es instalar la válvula reductora en el nudo de estudio, con la misma cota, el mismo diámetro de la tubería y con un valor de consigna que se analiza por medio de simulaciones, controlando que las presiones mínimas aguas abajo no disminuyan de 15 mca (presión que la empresa debe garantizar en los puntos de consumo).

Tabla 24. Instalación de Válvulas reductoras de presión.

| SECTOR | Válvulas (#) | Diámetro (mm) | Cota (m) | Tubería (Código) | Consigna (mca) | Observaciones |
|-------------|--------------|---------------|----------|------------------|----------------|---------------|
| TRATAMIENTO | 1 | 101,6 | 2919 | Tr41 | 6 | Nueva |
| | 2 | 101,6 | 2909 | Tr21 | 17 | Nueva |
| | 3 | 185 | 2884 | Tr16 | 20 | Existente |
| TAPI | 1 | 101,6 | 2822 | Ta143 | 38 | Nueva |
| | 2 | 184,6 | 2830 | Ta20 | 25 | Existente |
| RECREO | 1 | 101,6 | 2814 | R699 | 23 | Nueva |
| | 2 | 150 | 2845 | R819 | 15 | Existente |
| | 3 | 102 | 2847 | R712 | 15 | Existente |
| CARMEN | 1 | 460 | 2824 | Ca0 | 16 | Existente |
| | 2 | 185 | 2805 | Ca31 | 19 | Existente |
| SABOYA | 1 | 101,6 | 2756 | S2109 | 16 | Nueva |
| | 2 | 147,6 | 2757 | S578 | 17 | Nueva |
| | 3 | 290,8 | 2760 | S562 | 26 | Nueva |
| | 4 | 147,6 | 2754 | S6 | 33 | Nueva |
| | 5 | 101,6 | 2764 | S20 | 29 | Nueva |
| | 6 | 101,6 | 2764 | S2098 | 19 | Nueva |
| | 7 | 58,2 | 2760 | S2076 | 38 | Nueva |
| | 8 | 230,8 | 2763 | S1129 | 36 | Nueva |
| MALDONADO | 1 | 469 | 2761 | M1355 | 17 | Nueva |
| | 2 | 184,6 | 2740 | M1395 | 28 | Nueva |
| VERANILLO | 1 | 101,6 | 2737 | V1098 | 38 | Nueva |
| PISCIN | 1 | 101,6 | 2690 | P68 | 11 | Nueva |
| | 2 | 83 | 2725 | P161 | 7 | Nueva |
| YARUQUIES | 1 | 184,6 | 2805 | Y11 | 20 | Nueva |
| | 2 | 184,6 | 2818 | Y10 | 25 | Nueva |
| | 3 | 147,6 | 2792 | Y20 | 15 | Nueva |
| | 4 | 101,6 | 2758 | Y162 | 24 | Nueva |
| | 5 | 101,6 | 2759 | Y167 | 20 | Nueva |

A continuación se analizan cada una de las zonas y los cambios resultantes:

9.1.2.1 SECTOR EL TRATAMIENTO

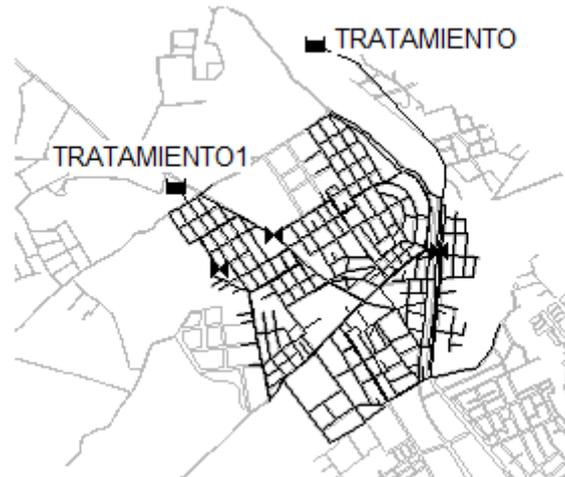


Fig 82. Visualización de válvulas instaladas sector El Tratamiento

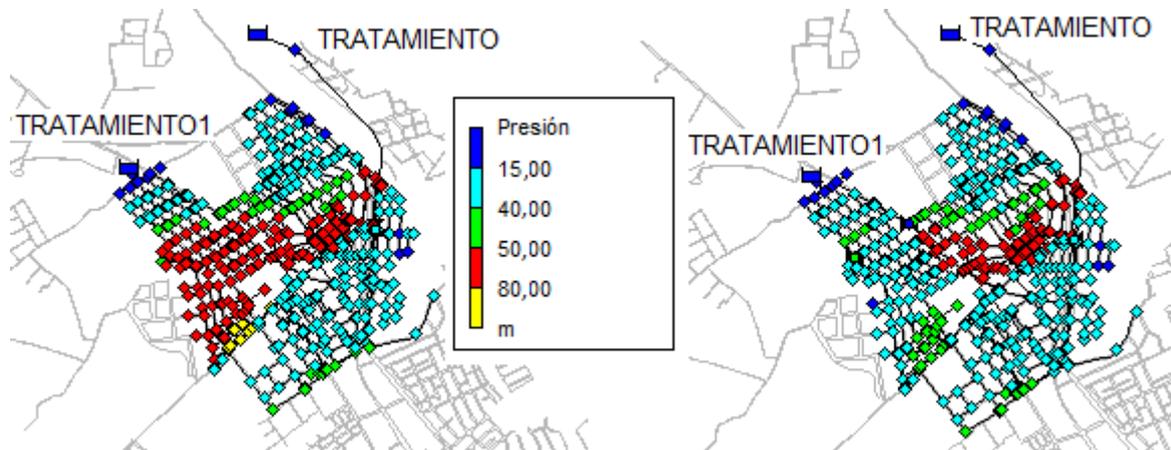


Fig 83. Mapa de Presiones máximas. Izquierda: Sin VRP Derecha: Con VRP.

Esta zona está constituida por 3 válvulas, 1 instalada por la empresa y 2 que se proponen instalar para solventar las sobrepresiones que pueden provocar inconvenientes en las conducciones. Se observa en la comparación de las gráficas, que la disminución de puntos altos de presión es considerable, con la ayuda de las válvulas reductoras el sistema tiene un mejor control.

Se tiene también un ahorro en el volumen fugado, pues se ha comentado anteriormente que las fugas dependen de las presiones en la red. En la parte central es difícil controlar estos puntos, debido que la red se encuentra totalmente mallada y se vuelve complicado colocar válvulas sin afectar a otros nudos de consumo.

9.1.2.2 SECTOR TAPI

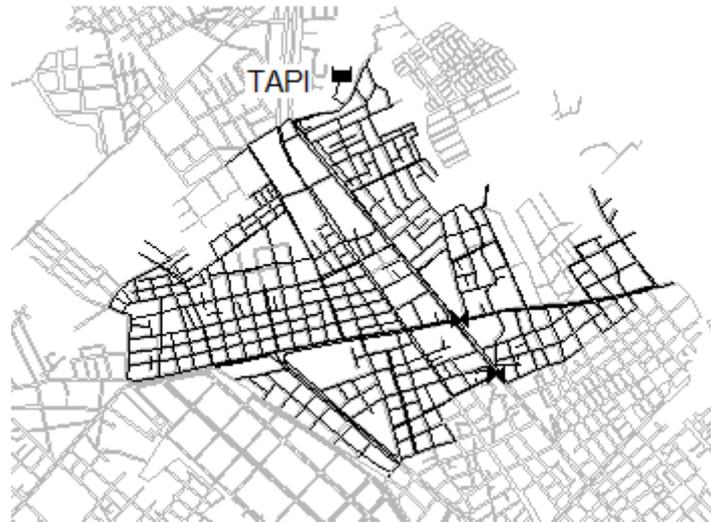


Fig 84. Visualización de válvulas instaladas sector Tapi.

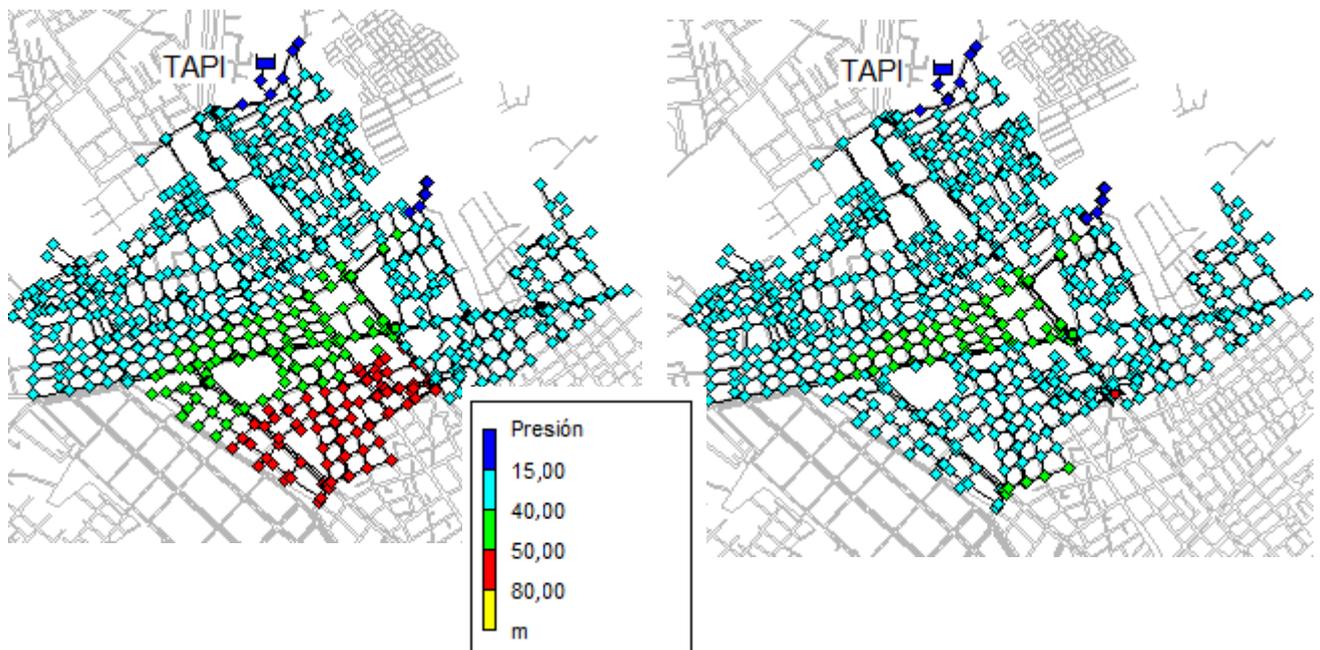


Fig 85. Mapa de Presiones máximas. Izquierda: Sin VRP Derecha: Con VRP.

Con la válvula instalada actualmente, no existe la capacidad de controlar todos los puntos de presiones elevadas. A su vez, con la instalación de una nueva, se pueden controlar adecuadamente los nudos del sector, así se garantiza el trabajo eficiente de todas las conducciones de esta red, sin la incertidumbre de tener en algún momento problemas perjudiciales en las tuberías.

9.1.2.3 SECTOR EL RECREO

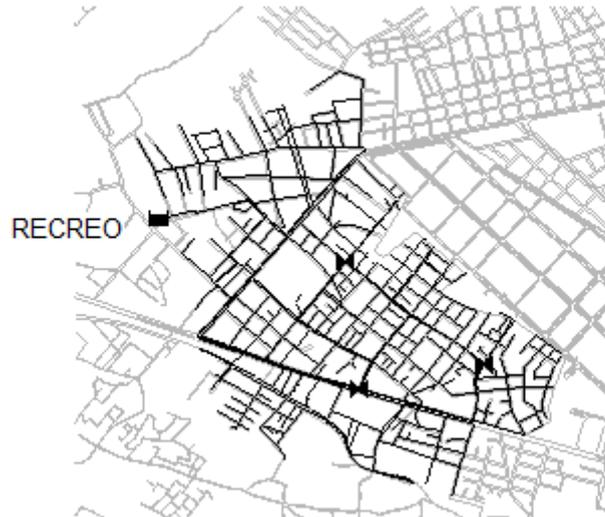


Fig 86. Visualización de válvulas instaladas sector Recreo.

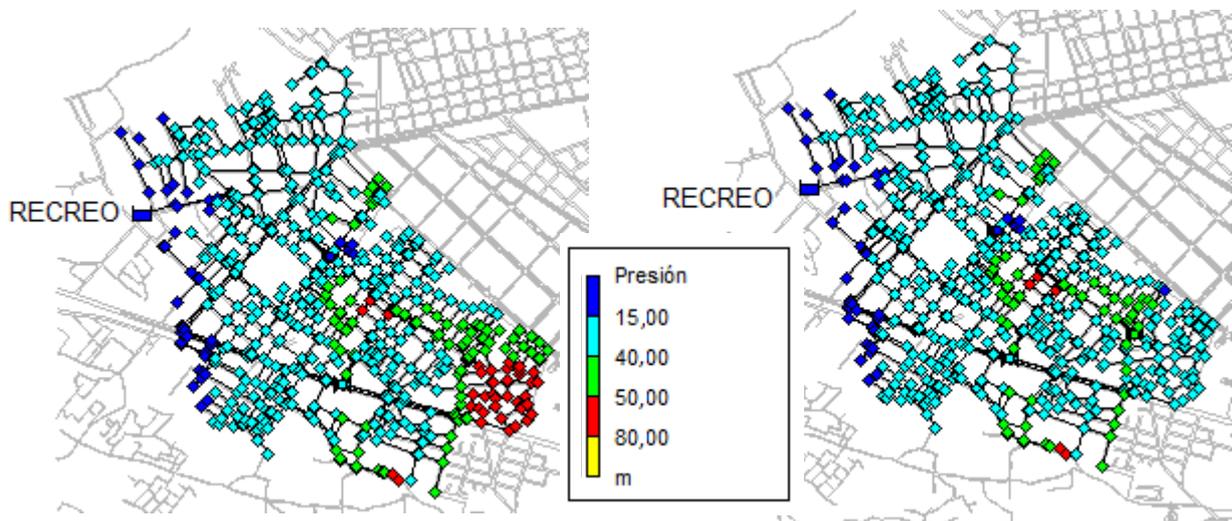


Fig 87. Mapa de Presiones máximas. Izquierda: Sin VRP Derecha: Con VRP.

Existen presiones menores de 15 mca, pero se brinda un servicio adecuado a cada uno de los consumidores de la zona, normalmente la empresa debe garantizar una presión mínima de 15 mca, pero en ciertos nudos se hace complicado por su elevación topográfica. Con respecto a las presiones máximas, se pueden restringir con la ayuda de 3 válvulas, 2 existentes y 1 que se añade para eliminar los inconvenientes en las partes bajas de la zona de estudio. Con la instalación adecuada se logra controlar los puntos que superan los 50 mca, así se ayuda al control adecuado del volumen fugado en la red, generando un importante ahorro económico.

9.1.2.4 SECTOR EL CARMEN

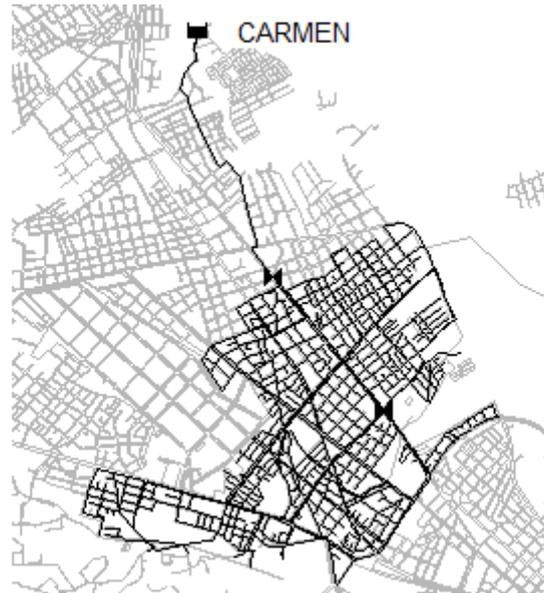


Fig 88. Visualización de válvulas instaladas sector El Carmen.

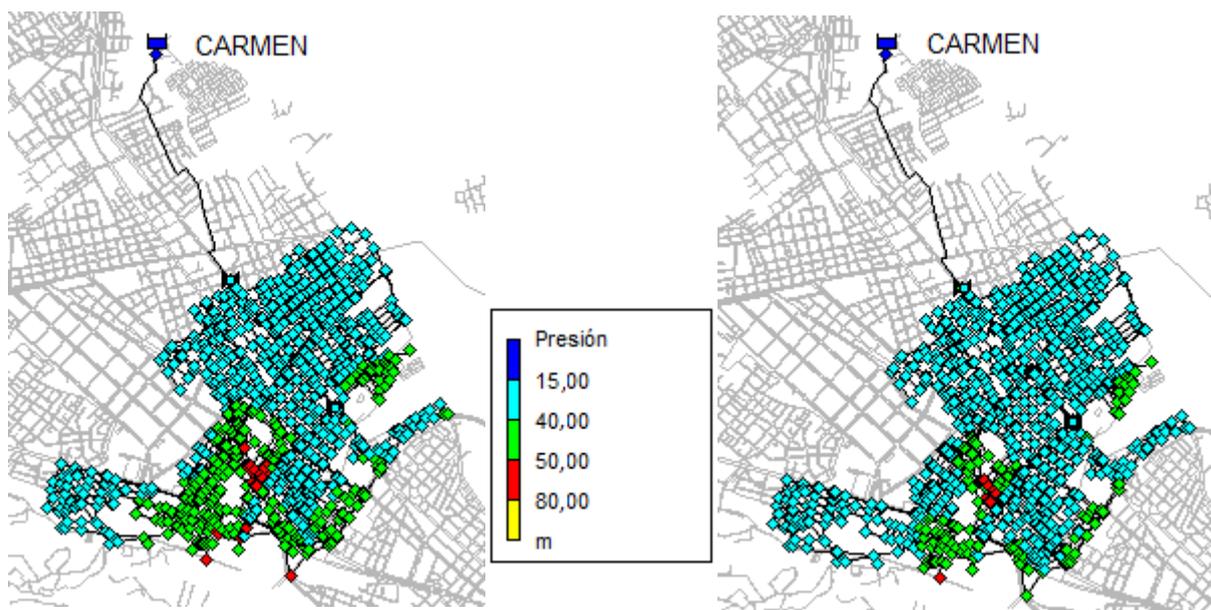


Fig 89. Mapa de Presiones máximas. Izquierda: Sin VRP Derecha: Con VRP.

Como se observa en la figura anterior, éste es uno de los sectores con menos problemas en el sentido de las presiones, pues existen dos válvulas reductoras instaladas por la empresa EMAPAR que están trabajando de una manera eficiente. Lo que se analiza mediante simulaciones, es cambiar el valor de consigna recordando que la presión no debe bajar de 15 mca en los puntos críticos de la red (aquellos que posean una altura elevada).

9.1.2.5 SECTOR LA SABOYA

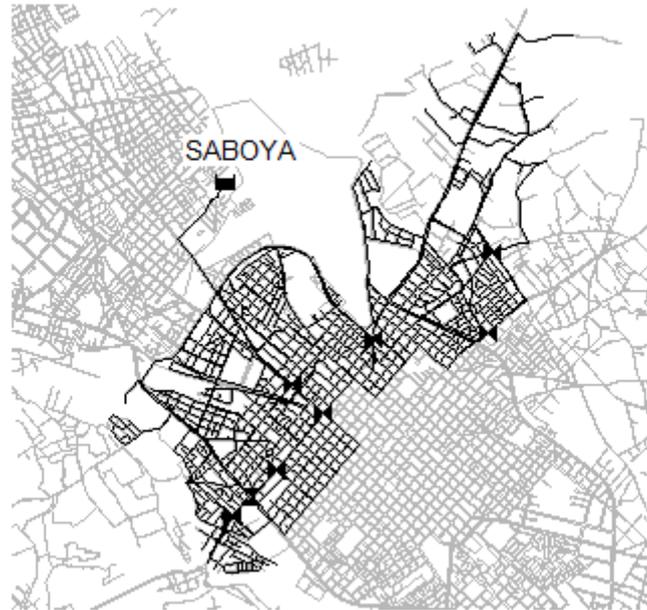


Fig 90. Visualización de válvulas instaladas sector La Saboya.

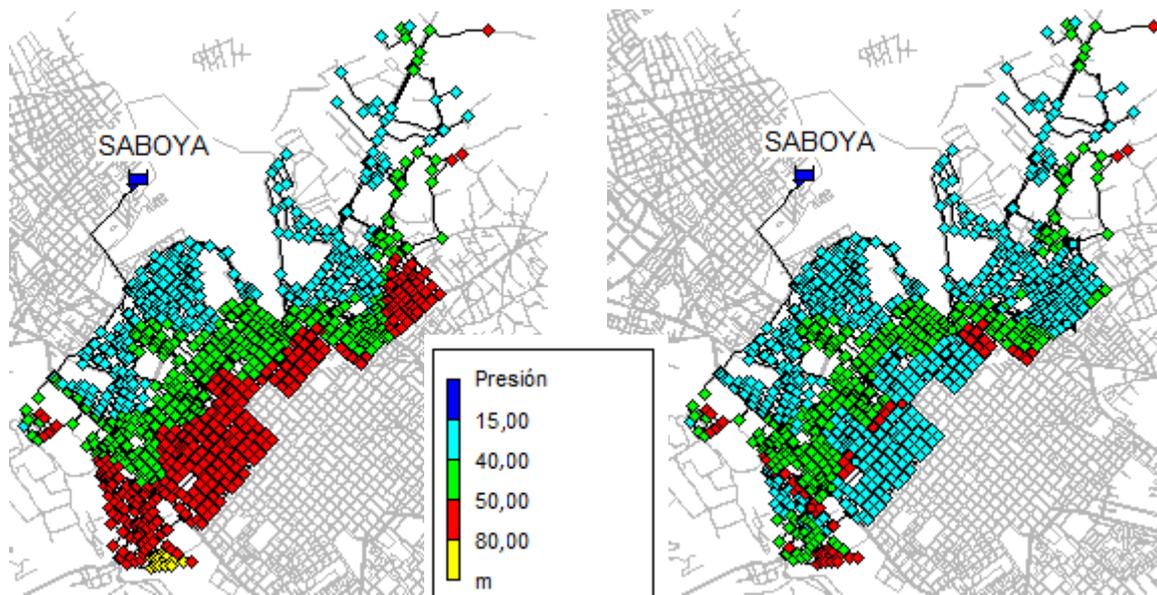


Fig 91. Mapa de Presiones máximas. Izquierda: Sin VRP Derecha: Con VRP.

Inicialmente en este sector hay demasiados puntos con sobrepresiones, se debe a que no existen válvulas reductoras, por lo cual, se realiza un análisis a fondo para instalar estratégicamente 8 válvulas que ayuden al control adecuado y eficaz del sistema, garantizando disminuir en la mayoría de nudos las presiones superiores generadas por la altura en cabecera.

9.1.2.6 SECTOR MALDONADO

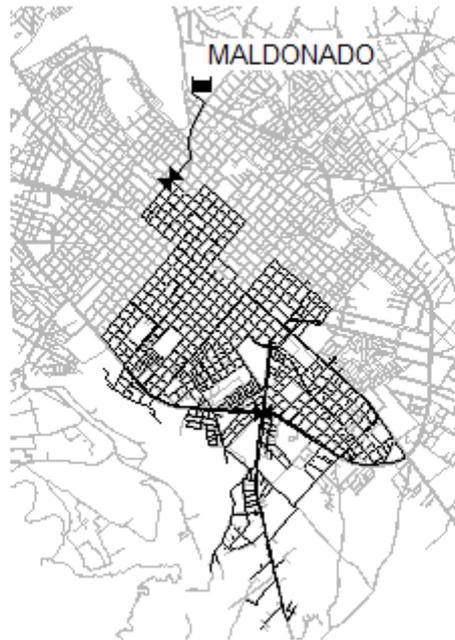


Fig 92. Visualización de válvulas instaladas sector Maldonado.

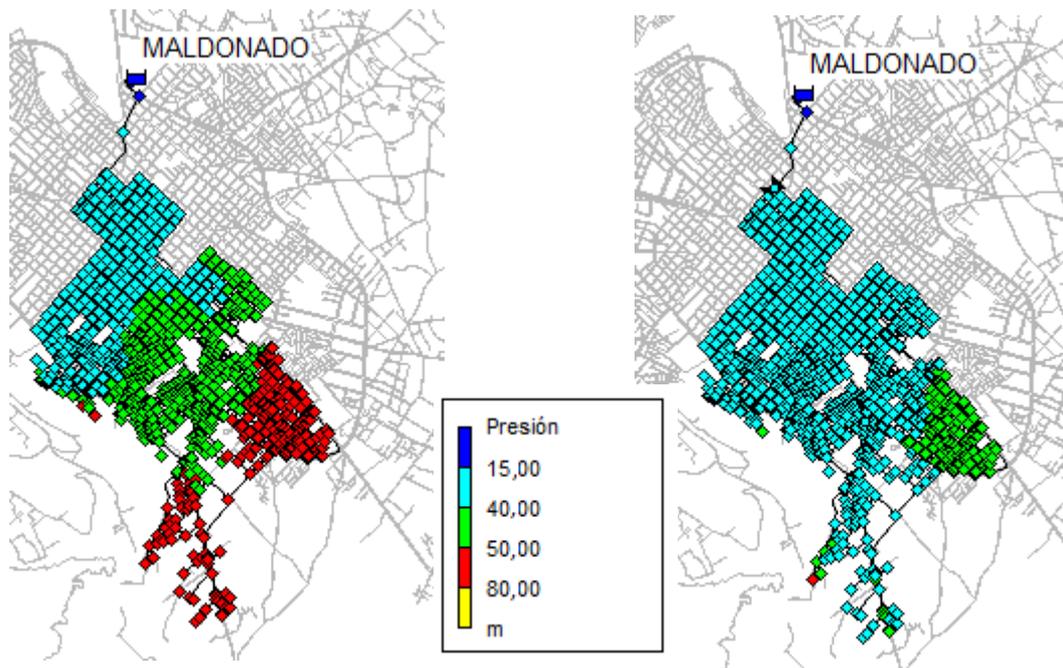


Fig 93. Mapa de Presiones máximas. Izquierda: Sin VRP Derecha: Con VRP.

El sector de estudio no tiene instaladas válvulas, es por ello que se tienen puntos con presiones que superan los 50 mca que son perjudiciales para las tuberías de la zona. Se analiza la instalación de dos reductoras de presión, una en la conducción arterial y la siguiente en los sitios con cotas bajas. Se observa en la gráfica de la derecha que se obtiene un mejor control del sistema.

9.1.2.7 SECTOR SAN JOSE DE VERANILLO

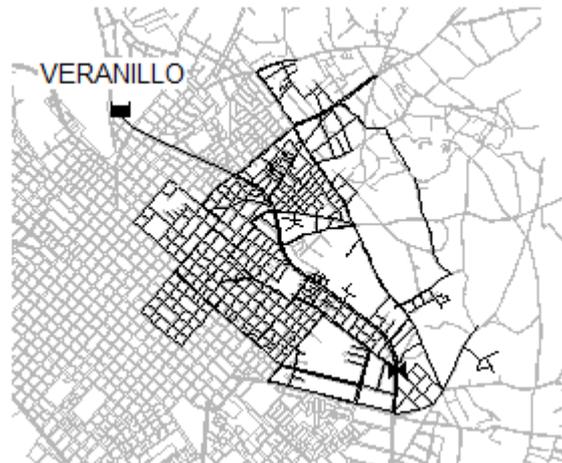


Fig 94. Visualización de válvulas instaladas sector Veranillo.

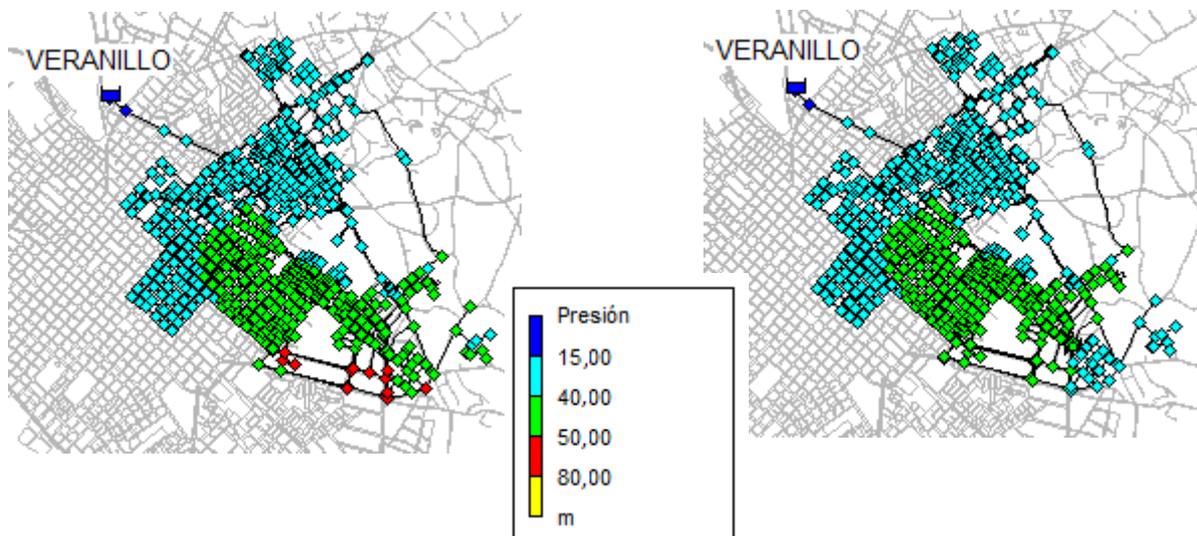


Fig 95. Mapa de Presiones máximas. Izquierda: Sin VRP Derecha: Con VRP.

Esta zona al tener un depósito con una altura adecuada para la distribución, no existen puntos que puedan causar inconvenientes en la red, sin embargo se observa que en la parte inferior se generan sitios con presiones considerables.

Se recomienda realizar un análisis costo - beneficio, para verificar que la instalación de una válvula reductora no genere gastos innecesarios para la empresa, pues son pocos los puntos a los cuales se brindará una ayuda oportuna. Una vez instalada la válvula, se realizan simulaciones para corroborar la ayuda en la parte inferior del sector; se logra un control adecuado de las presiones.

9.1.2.8 SECTOR EL PISCIN

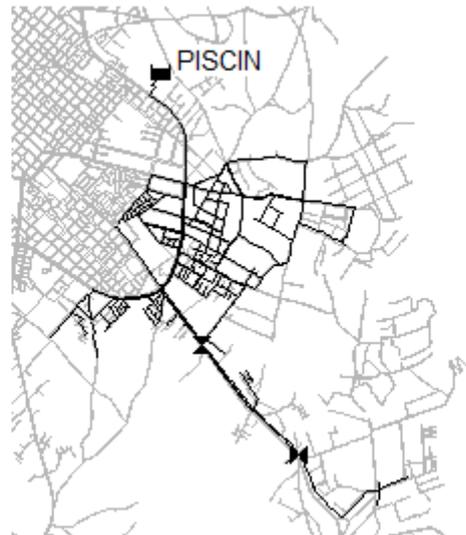


Fig 96. Visualización de válvulas instaladas sector Piscin.

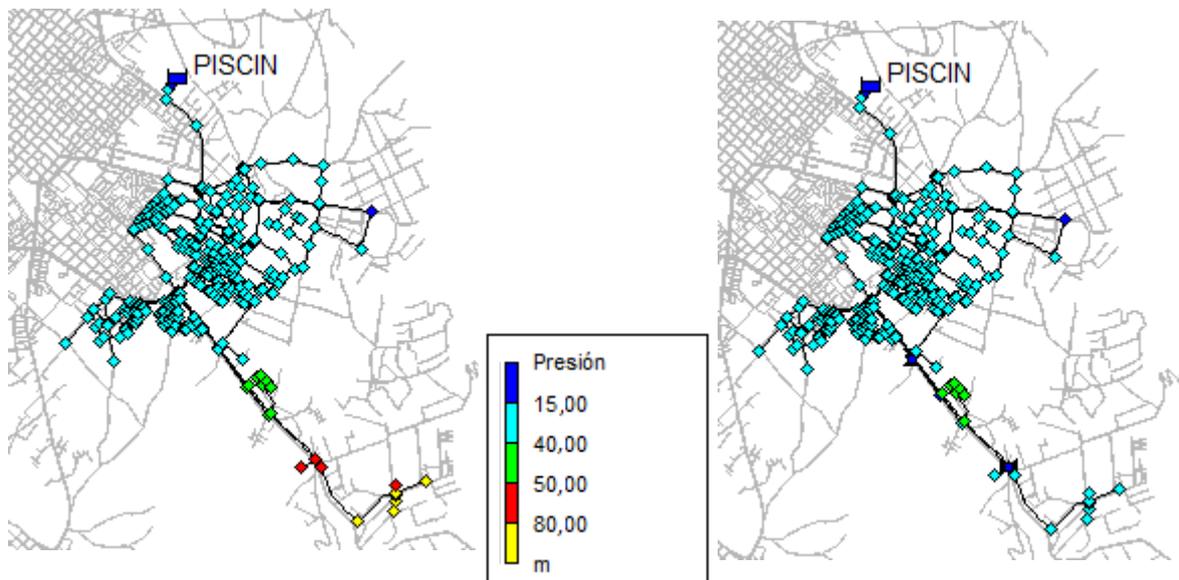


Fig 97. Mapa de Presiones máximas. Izquierda: Sin VRP Derecha: Con VRP.

La red tiene un control adecuado sobre las presiones, se debe a que el tanque de reserva se encuentra a una altura suficiente para realizar el abastecimiento adecuado a los consumidores.

Se instala una válvula reductora para tener un control en los puntos bajos de la red, pues se tienen presiones sobre los 80 mca. Es necesario verificar si la instalación de la válvula es rentable económicamente para la empresa.

9.1.2.9 SECTOR YARUQUIES

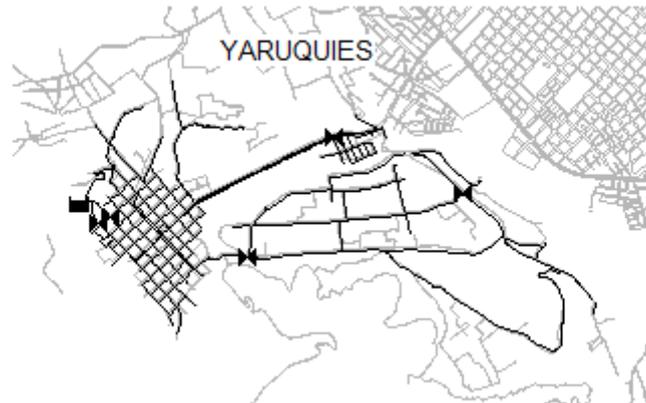


Fig 98. Visualización de válvulas instaladas sector Yaruquies.

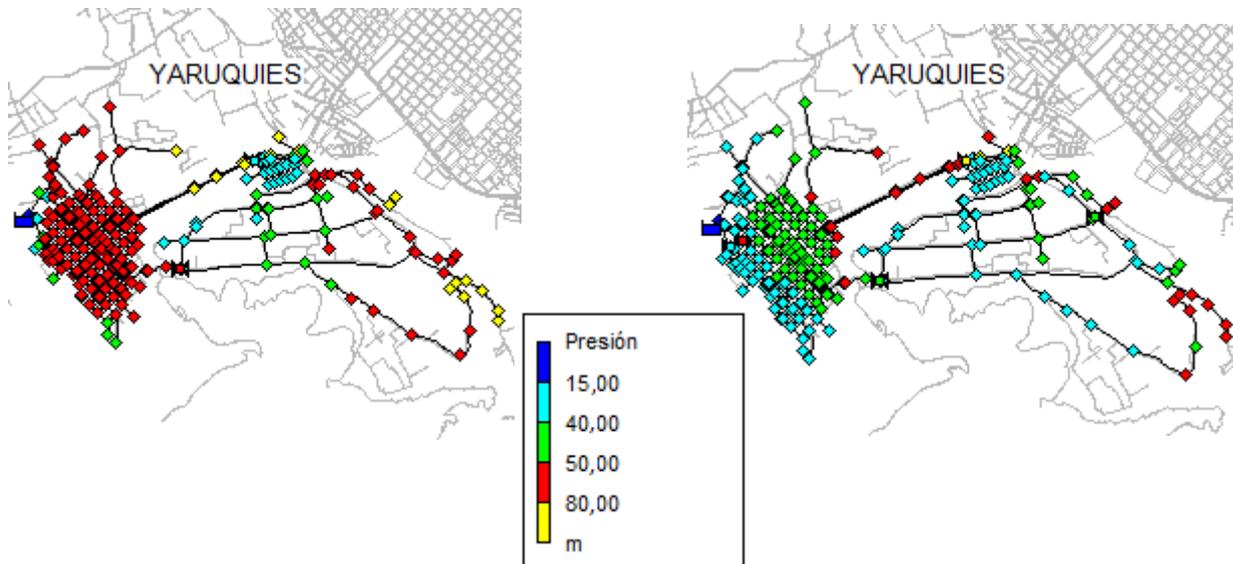


Fig 99. Mapa de Presiones máximas. Izquierda: Sin VRP Derecha: Con VRP.

En la zona de estudio, existen instaladas dos válvulas reductoras, pero aun así, hay presiones excesivas como se detalla en la figura de la izquierda, es así que se ejecuta un estudio para considerar la colocación en nuevas posiciones, además de instalar 3 válvulas adicionales. Se observa que al tener una mejor distribución de las válvulas reductoras de presión se tiene un mayor control en las presiones elevadas del sistema.

Posteriormente se realiza un análisis económico de la implementación de las válvulas reductoras de presión en los 9 sectores, y así comprobar si son factibles sus instalaciones.

9.1.3 ANÁLISIS ECONÓMICO

Para verificar que tan rentable es para la Empresa EMAPAR la instalación de las válvulas reductoras mencionadas anteriormente, se analiza el ahorro económico que se obtiene al disminuir el volumen fugado en cada uno de los sectores. Para el análisis se utiliza un costo de 0,19 dólares el m³ de agua, valor dispuesto por la empresa de abastecimiento.

Tabla 25. Comparación del volumen Inyectado con y sin válvulas reductoras de presión.

| # | SECTOR | Volumen EPANET SIN VRP (m ³ /mes) | Volumen EPANET CON VRP (m ³ /mes) | AHORRO (m ³ /mes) |
|--------------|-------------|--|--|------------------------------|
| 1 | Tratamiento | 44.675 | 43.840 | 835 |
| 2 | Tapi | 87.721 | 86.519 | 1.202 |
| 3 | Recreo | 62.856 | 62.408 | 448 |
| 4 | Carmen | 217.075 | 213.240 | 3.835 |
| 5 | Saboya | 528.328 | 513.055 | 15.273 |
| 6 | Maldonado | 312.293 | 299.080 | 13.213 |
| 7 | Veranillo | 229.463 | 228.450 | 1.013 |
| 8 | Piscin | 70.415 | 69.564 | 851 |
| 9 | Yaruquies | 90.513 | 85.410 | 5.103 |
| TOTAL | | 1.643.339 | 1.601.565 | 41.773 |

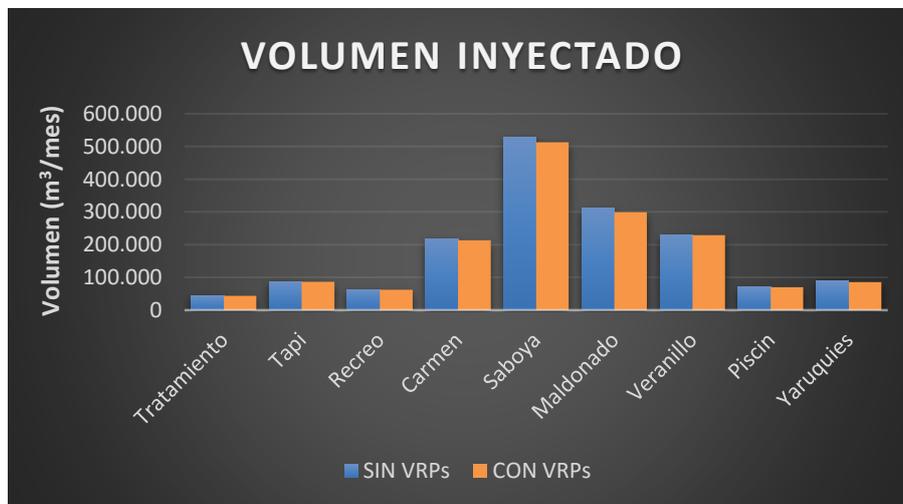


Fig 100. Comparación de volúmenes inyectados.

Se determina el valor económico de la reducción en volumen fugado que se consigue con la instalación de las válvulas reductoras de presión:

$$\text{Volumen de ahorro} = 41.773 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \left(\frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} \right) = 501.280 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

$$\text{Ahorro económico} = 501.280 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \left(\frac{0,19\$}{\text{m}^3} \right) = 95.243 \frac{\$}{\text{año}}$$

Con el cálculo anterior, se obtiene un ahorro económico por el volumen fugado de 95.243 dólares anuales. Posteriormente se compara con el valor total que le costaría a la Empresa EMAPAR la instalación de las válvulas VRP.

Para el siguiente estudio de costos se toma como referencia el Sistema Estándar de Reducción de Presión (*Fuente BERMAD FLUID SOLUTIONS*).

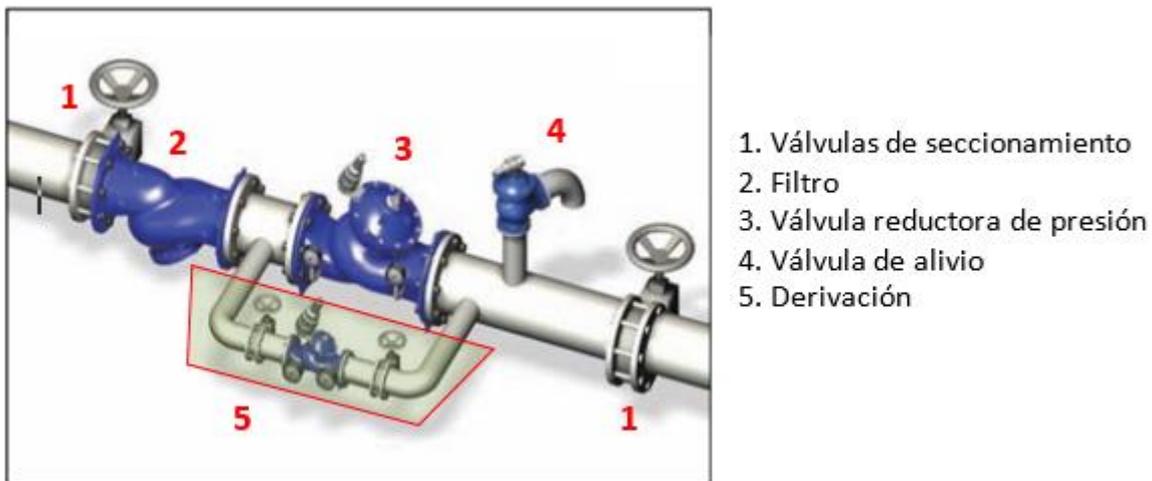


Fig 101. Sistema estándar de la instalación de una reductora de presión.

- Un filtro para evitar el acceso de residuos que puedan afectar la operación de las válvulas.
- Una válvula de alivio que proporciona la protección frente a fluctuaciones importantes de presión.
- Una válvula reductora de derivación (by-pass) que ahorra en los gastos de mantenimiento, puesto que la válvula de derivación reduce las horas de funcionamiento de la válvula grande, proporcionando un funcionamiento versátil de la instalación.

Los precios de las válvulas de seccionamiento se analizan del *Catálogo y Lista de Precios 2014-2015*, ([Anejo 7.1 - Precios MASA tubos y sistemas](#)). La de las válvulas reductoras de presión y filtros de la *Lista de Precios 2015*, ([Anejo 7.2 - Precios HoneyWell](#)). Además recordar que a los costos se deben incrementar el precio de transporte, importación, aduana y cambio de moneda de euros a dólares.

En lo referente al costo de mano de obra, hormigón, camión grúa, retro excavadora, accesorios, cuadrilla civil, se seleccionan de las cotizaciones realizadas por parte de la Empresa Ecuatoriana Danielcom Equipment Supply S.A, ([Anejo 7.3 - Precios Danielcom](#)).

Finalmente, al precio total se aplica un factor de resguardo del 6 % de la cantidad calculada, por si existe algún imprevisto en la ejecución del proyecto.

Tabla 26. Precios de la Instalación de las Válvulas Reductoras de Presión.

| # Válvulas | Diámetro (mm) | Observaciones | PRECIOS (dólares) | (Costos mano de obra, arquetas, accesorios, etc) |
|------------------------|------------------|---------------|----------------------|---|
| 1 | 101,6 | Nueva | 5.372 | 15.495 |
| 2 | 101,6 | Nueva | 5.372 | 15.495 |
| 3 | 101,6 | Nueva | 5.372 | 15.495 |
| 4 | 101,6 | Nueva | 5.372 | 15.495 |
| 5 | 101,6 | Nueva | 5.372 | 15.495 |
| 6 | 147,6 | Nueva | 8.955 | 16.503 |
| 7 | 290,8 | Nueva | 44.106 | 31.228 |
| 8 | 147,6 | Nueva | 8.955 | 16.503 |
| 9 | 101,6 | Nueva | 5.372 | 15.495 |
| 10 | 101,6 | Nueva | 5.372 | 15.495 |
| 11 | 58,2 | Nueva | 4.063 | 12.637 |
| 12 | 230,8 | Nueva | 22.053 | 26.228 |
| 13 | 469 | Nueva | 132.318 | 63.796 |
| 14 | 184,6 | Nueva | 13.232 | 21.360 |
| 15 | 101,6 | Nueva | 5.372 | 15.495 |
| 16 | 101,6 | Nueva | 5.372 | 15.495 |
| 17 | 83 | Nueva | 4.747 | 13.550 |
| 18 | 184,6 | Nueva | 13.232 | 21.360 |
| 19 | 184,6 | Nueva | 13.232 | 21.360 |
| 20 | 147,6 | Nueva | 8.955 | 16.503 |
| 21 | 101,6 | Nueva | 5.372 | 15.495 |
| 22 | 101,6 | Nueva | 5.372 | 15.495 |
| Total (dólares) | | | 332.955 | 431.487 |
| | | | 764.443 | |
| +6 % (dólares) | | | 810.309 | |

Como se detalla, el costo total de la instalación de las VRPs en los nuevos sectores de la ciudad es de 810.309 dólares. Si se compara con el ahorro del volumen fugado de 95.243 dólares, se puede recuperar la inversión en 9 años, desde ese momento existe un ahorro sustancial para la empresa EMAPAR. Recordar que el valor de consigna de las válvulas pueden ser manipuladas por los operarios para tener una presión de salida diferente que se ajuste al estado funcional de la red de distribución.

9.2 GESTIÓN DE FUGAS

El agua es un recurso limitado y muchas de las veces escaso, cada vez existe una mayor exigencia sobre la gestión eficaz del fluido. Una parte esencial en la gestión óptima y eficaz del agua de la ciudad dependen principalmente del nivel de fugas que se tienen en el abastecimiento, es por eso que se plantea un plan estratégico para poder tener un mejor control en el caudal fugado.

9.2.1 BALANCE HÍDRICO (PÉRDIDAS REALES)

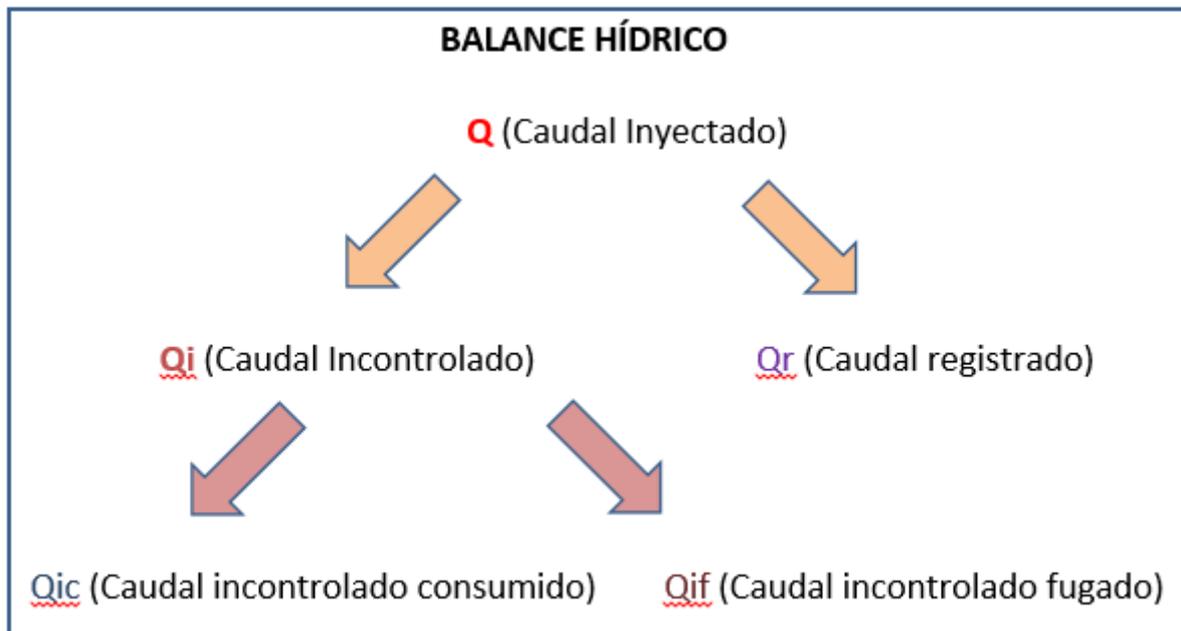


Fig 102. Zona de estudio del Balance Hídrico de la IWA.

Este caso de estudio se centra en el análisis del caudal incontrolado fugado, es decir pérdidas reales que se generan por defectos físicos de la red (fisuras en las tuberías, acometidas, válvulas, etc.). Estas pérdidas pueden clasificarse de acuerdo a: a) su ubicación en la red y b) por su tamaño y tiempo que fuga (Ziegler, 2011).

9.2.1.1 POR SU UBICACIÓN

Son aquellas pérdidas que se generan en las fisuras de las tuberías por causa de presiones elevadas en la red, en las conexiones (empaquetaduras dañadas), acometidas, válvulas (falta de mantenimiento), reboses de tanques de almacenamiento por falta de un control automático eficiente, etc.

9.2.1.2 POR SU TAMAÑO Y TIEMPO QUE FUGA

Fugas visibles o reportadas: aquellas que visualmente pueden ser detectadas en superficies dependiendo del tamaño de fuga y de la presión en el sistema.

Fugas ocultas o no reportadas: son identificadas únicamente con instrumento acústico especial para detectar esta clase de fugas, puesto que el fluido no aparece en superficie.

Fugas de fondo: son pérdidas de caudal muy pequeñas (goteo entre uniones, válvulas, etc.), la única manera de controlar estas fugas es remplazando la conexión o tubería afectada.

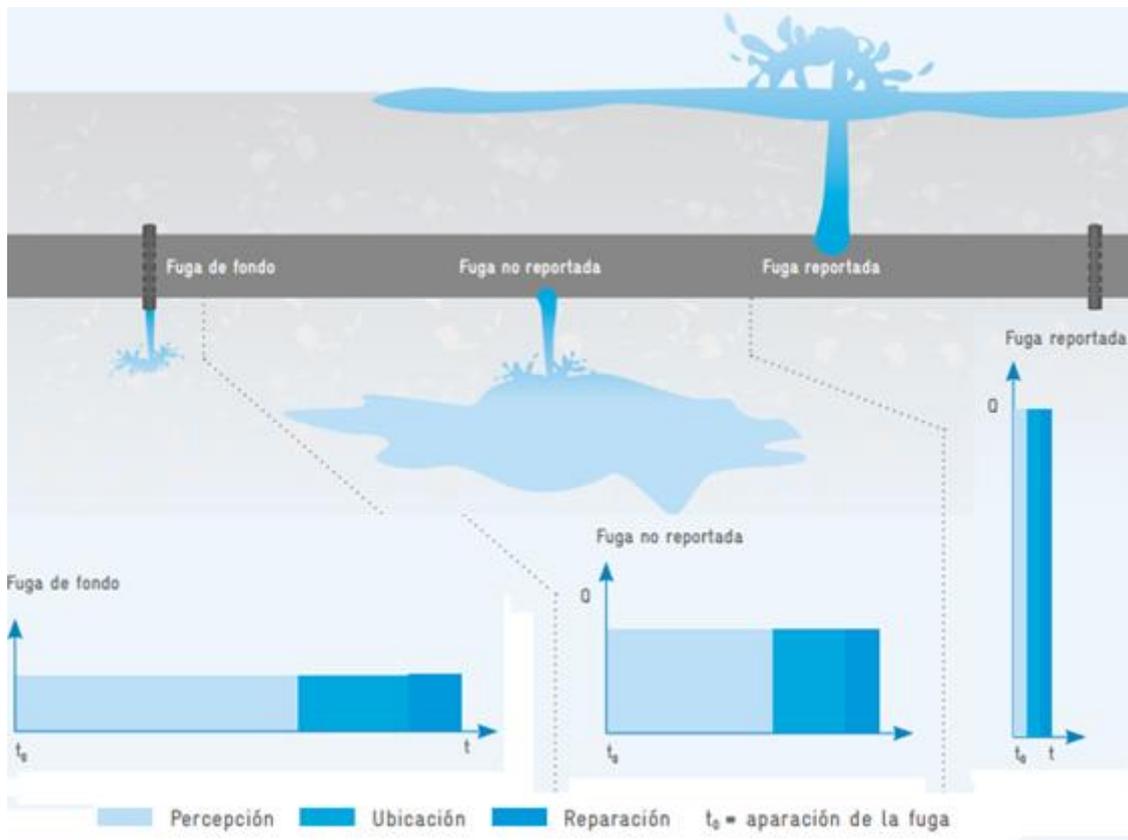


Fig 103. Relación caudal fugado (Q) vs tiempo de fuga (t) (Farley, 2001).

La parte fundamental que se puede atacar para tener un mejor rendimiento de la red de la ciudad de Riobamba, son las fugas no reportadas que son las que generan un mayor caudal fugado. Para este estudio se proponen estrategias que ayuden a controlar las pérdidas reales, y así, llegar a tener un abastecimiento sostenible con una mejor gestión del fluido. A su vez se brindará un mejor servicio a la ciudadanía sin tener riesgos de calidad del agua potable.

9.2.2 IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL ACTIVO DE FUGAS

El objetivo esencial es ayudar a que las fugas ocultas sean detectadas y reparadas, para este fin, la empresa debe tener presente que se debe utilizar personal calificado, equipo técnico, y principalmente una inversión económica considerable.

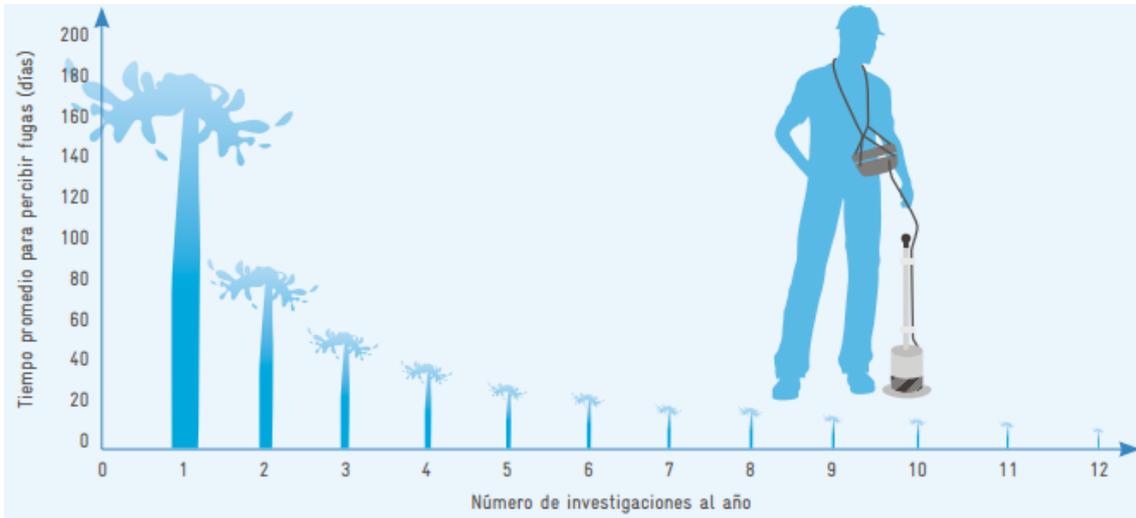


Fig 104. Número de controles e investigaciones de la Red (Morrison, 2007).

La detección de fugas pueden basarse en: **a)** un incremento notable del caudal inyectado en un sector, **b)** una disminución de la presión en los momentos de menor consumo de la población, **c)** realización de monitoreo del ruido, pues cuando el agua fuga emite ondas u oscilaciones acústicas (Thornton, 2008).

Una vez detectado que hay fugas en un sector determinado, existen métodos adecuados para poder identificar la ubicación exacta del problema. En este caso se intenta realizar un monitoreo acústico mediante un correlador y un geófono, es decir la empresa tiene que implementar personal especializado y adquirir suficientes equipos para ejecutar la búsqueda de fugas en la red.



Fig 105. Visualización de un correlador. (Fuente Mejoras Grupo).

9.2.3 CORRELADOR

Dispositivo de localización de fugas. En la realidad se colocan micrófonos en los dos extremos de la tubería, (puede ser en válvulas, hidrantes, acometidas domiciliarias, etc.). Las ondas acústicas emitidas por la fuga alcanzan los micrófonos dependiendo la distancia que estén ubicados. Una vez registrado en el correlador se tiene la diferencia de segundos con respecto a la llegada del sensor (1,2), a continuación se aplica la Ecuación (7) para estimar la posición, y una vez que se conoce la distancia aproximada de la fuga se verifica con el geófono (Heydenreich, 2008).

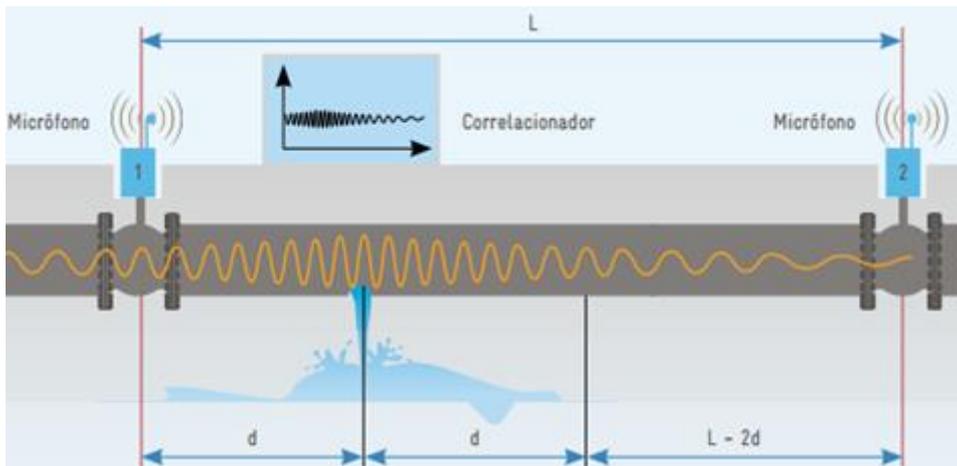


Fig 106. Esquema de Funcionamiento del Correlador.

$$d = \frac{L - v \cdot \Delta t}{2} \quad (7)$$

Donde:

d (m) Distancia de la fuga al micrófono 1 L (m) Longitud de la sección del tubo

Δt (s) Demora temporal

v (m/s) Velocidad de propagación de la onda acústica

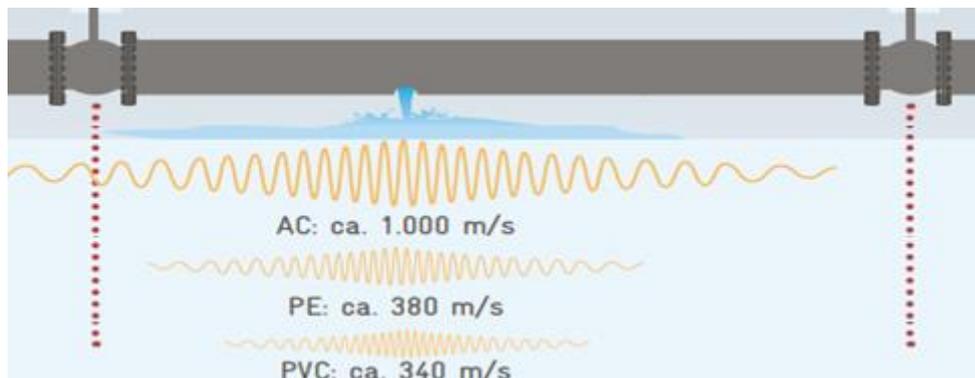


Fig 107. Velocidades de propagación dependiendo del material.

9.2.4 GEÓFONO

Instrumento que aumenta o amplifica el ruido generado por la salida del fluido, así se tiene el lugar exacto donde se está generando la fuga de la tubería. Se procede a repararla de manera inmediata y continuar con las demás posibles fisuras en el sistema de abastecimiento (*Fuente Mejoras Grupo*).



Fig 108. Visualización de los elementos del Geófono.

9.2.5 VOLUMEN FUGADO IMPLEMENTADO EL CONTROL ACTIVO DE FUGAS

Una vez que se ejecuta el programa de control activo de fugas, se estima tener una eficiencia del 80 %, y obtener un ahorro económico en el caudal fugado de la red. Con esta observación se analiza la red con los consumos proporcionados por la Empresa EMAPAR, con un 20 % en fugas.

Tabla 27. Iteraciones del coeficiente global de fugas (EMAPAR Q Inyectado 813,65 l/s).

| TANQUES ALMACENAMIENTO | COEFICIENTES EMISORES | | |
|---------------------------|-----------------------|---------------|---------------|
| | $k=21,91$ | $k=22,51$ | $k=22,52$ |
| | Caudal (l/s) | Caudal (l/s) | Caudal (l/s) |
| TRATAMIENTO | 18,66 | 18,88 | 18,89 |
| TRATAMIENTO 1 | 0,67 | 0,67 | 0,67 |
| TAPI | 37,09 | 37,44 | 37,44 |
| RECREO | 25,16 | 25,40 | 25,41 |
| CARMEN | 155,06 | 155,50 | 155,51 |
| SABOYA | 303,02 | 303,85 | 303,86 |
| MALDONADO | 156,27 | 156,84 | 156,85 |
| VERANILLO | 53,13 | 53,58 | 53,59 |
| PISCIN | 37,06 | 37,26 | 37,27 |
| YARUQUIES | 23,94 | 24,16 | 24,16 |
| TOTAL Caudal (l/s) | 810,07 | 813,60 | 813,65 |
| % ERROR | 0,440% | 0,006% | 0,000% |

El control activo de fugas ayuda a tener un ahorro económico en el porcentaje de agua fugada del sistema, y como se observa tiene un efecto poco apreciable sobre las presiones superiores en la red.

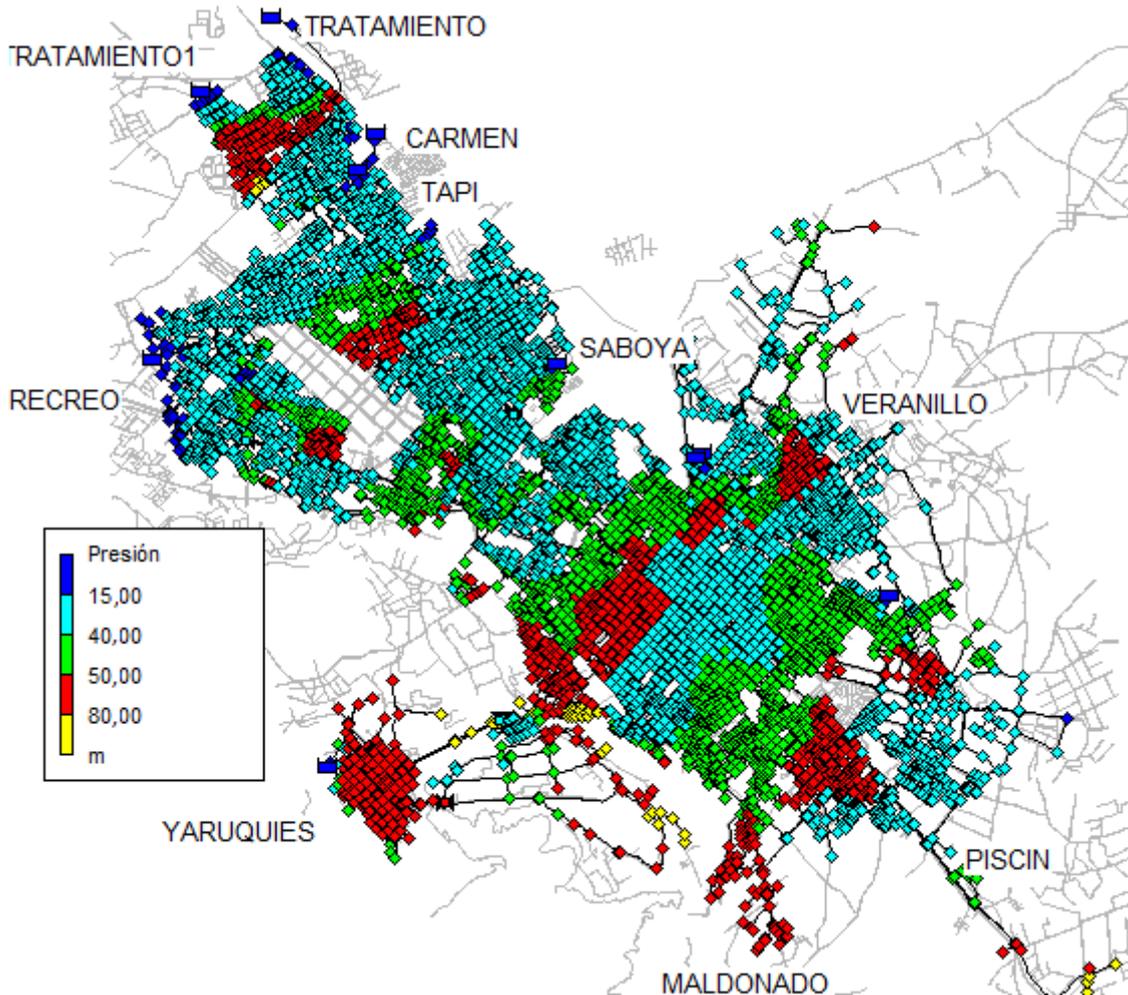


Fig 109. Mapa de presiones de la Red de la ciudad de Riobamba (mca).

Tabla 28. Ahorro del volumen fugado con la implementación del control activo de fugas.

| # | SECTOR | VOLUMEN SIN CAF (m ³ /mes) | VOLUMEN CON CAF (m ³ /mes) | AHORRO (m ³ /mes) |
|--------------------|-------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| 1 | Tratamiento | 59.821 | 50.696 | 9.125 |
| 2 | Tapi | 110.587 | 97.053 | 13.533 |
| 3 | Recreo | 75.290 | 65.855 | 9.435 |
| 4 | Carmen | 420.190 | 403.085 | 17.105 |
| 5 | Saboya | 819.399 | 787.599 | 31.801 |
| 6 | Maldonado | 429.005 | 406.558 | 22.447 |
| 7 | Veranillo | 156.374 | 138.905 | 17.469 |
| 8 | Piscin | 104.527 | 96.600 | 7.927 |
| 9 | Yaruquies | 71.078 | 62.635 | 8.443 |
| TOTAL (l/s) | | | | 137.285 |

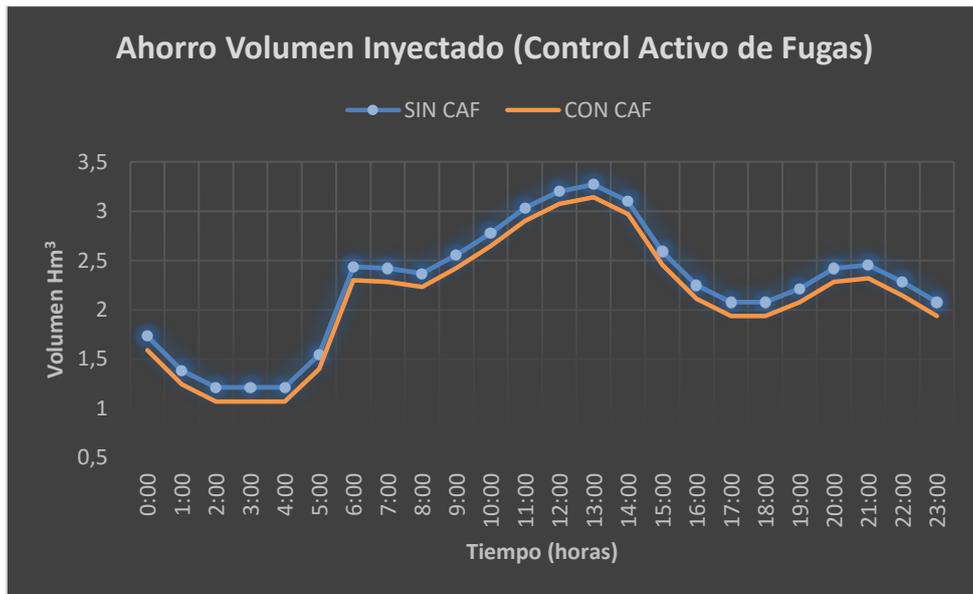


Fig 110. Ahorro del volumen fugado.

9.2.6 ANÁLISIS ECONÓMICO

Al tener un programa de control activo de fugas se puede garantizar la disminución de fugas en el sistema. En la parte inferior se determina el valor económico de la reducción en volumen fugado que se alcanza:

$$Volumen\ de\ ahorro = 137.285 \frac{m^3}{mes} \left(\frac{12\ meses}{1\ año} \right) = 1.647.423 \frac{m^3}{año}$$

$$Ahorro\ económico = 1.647.423 \frac{m^3}{año} \left(\frac{0.19\ \$}{m^3} \right) = 313.010 \frac{\$}{año}$$

Con el cálculo anterior, se observa un ahorro económico del volumen fugado de 313.010 dólares anuales. A este valor se tiene que descontar la utilización de presupuesto para: la adquisición de equipos especializados (correladores, geófonos), capacitación del personal técnico, reparaciones, etc.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se detallan las conclusiones más significativas obtenidas con el desarrollo del presente trabajo.

- Mediante la realización del modelo matemático de la red de distribución de agua potable de la ciudad de Riobamba, se puede conocer eficazmente el funcionamiento del sistema y estudiar distintos escenarios que ayuden a tomar decisiones económicamente rentables, sostenibles y ambientales para la Provincia, en busca de una mejora en la operación del sistema actual.
- El objetivo principal de este trabajo es construir un modelo matemático de simulación que represente el funcionamiento real del sistema en estudio, es así que en la asignación de consumos y fugas, se ha tomado un método sencillo que se ajusta al comportamiento real de la red.
- En la ejecución de la tesina se ha observado que las presiones del sistema en algunos sectores pueden ser perjudiciales para la vida de las conducciones e instalaciones, es por eso que se recomienda implementar un plan estratégico de instalación de válvulas reductoras de presión.
- Con la instalación de las válvulas reductoras de presión en la ciudad, se garantiza la disminución del volumen fugado en la red de abastecimiento, lo que deriva en un ahorro económico notable para la entidad encargada de la distribución. Posteriormente la empresa EMAPAR tiene que realizar un análisis costo - beneficio y verificar si económicamente son rentables las instalaciones de las válvulas.
- Se recomienda tener un mejor control en el registro de los volúmenes inyectados y facturados, pues el modelo dependerá de la validez de los datos proporcionados, mientras más exactos, mejor será el comportamiento de la esqueletización de la red.

11. BIBLIOGRAFÍA

11.1 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Almandoz, J., Cabrera, E., Arregui, F., Cabrera Jr, E., & Cobacho, R. (2005). *Leakage assessment through water distribution network simulation. Journal of water resources planning and management.*
- ✓ Bartolin, H., Martínez, F. (2003). *GISRed v1.0. Manual del Usuario. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Grupo REDHISP. Universidad Politécnica de Valencia, España.*
- ✓ Cabrera, E., Espert, V., García-Serra, J., Martínez, F., & Aguas de Valencia, S. A. (1996). *Ingeniería hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua, España.*
- ✓ Cabrera-Béjar, J., & Gueorguiev Tzatchkov, V. (2012). *Modelación de redes de distribución de agua con suministro intermitente. Tecnología y ciencias del agua, Mexico.*
- ✓ Farley, M. (2001). *Leakage management and control. A best practice training manual. World Health Organization, Geneva, Switzerland.*
- ✓ Gómez, E., Cabrera, E., Soriano, J., & Balaguer, M. (2015). *Gestión sostenible del agua y usos de aljibes domésticos, un binomio incompatible. IV Jornadas de Ingeniería del Agua, Córdoba, España.*
- ✓ Heydenreich, M., & Hoch, W. (2008). *Praxis der Wasserverlustreduzierung: Verfahren zur Leck-und Leitungsortung, Strategien zur Rohrnetzüberwachung und Unterhaltung von Wasserverteilungsanlagen. WVGW, Wirtschafts-und Verlag-Ges. Gas und Wasser.*
- ✓ Lambert, A. (2001, May). *What do we know about pressure-leakage relationships in distribution systems. In IWA Conference. "Systems approach to leakage control and water distribution system management", Czech Republic.*
- ✓ Machell, J., & Boxall, J. (2011). *Field studies and modeling exploring mean and maximum water age association to water quality in a drinking water distribution network. Journal of Water Resources Planning and Management.*
- ✓ Morrison, J., Tooms, S., & Rogers, D. (2007). *District metered areas guidance notes. International Water Association Publishing, Londres, Reino Unido.*
- ✓ Rosman, L. A. (1993). *Epanet users manual. EPA-Environmental Protection Agency, Washington, DC.*
- ✓ Solbes, A. C., & Alzamora, F. M. (2006). *Combinación de Modelos Matemáticos y SIG para la Gestión Eficiente de Redes. III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente.*
- ✓ Thornton, J., Sturm, R., & Kunkel, G. (2008). *Water loss control. McGraw Hill Professional.*

- ✓ Yépez, A. (2014). *Sistema de información geográfica (SIG) de predios, acometidas, tuberías y accesorios para la Empresa Pública Empresa Municipal de agua potable y alcantarillado de Riobamba (EP-EMAPAR), Riobamba, Ecuador.*
- ✓ Vela, A., Martínez, F., García-Serra, J., & Pérez, R. (1994). *Estrategias óptimas para la reducción de pérdidas de agua en sistemas de abastecimiento. Ingeniería del agua.*
- ✓ Ziegler, D., Fallis, P. et al (2011). "Guía para la reducción de las pérdidas de agua / Un enfoque en la gestión de presión". *Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Eschborn, Alemania.*

11.2 REFERENCIAS DE INTERNET

- ✓ Instituto Nacional Estadísticas y Censos. (2010). *Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/chimborazo.pdf>*
- ✓ Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador. *Disponible en: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>*
- ✓ Mejoras Grupo. *Equipos para control de redes de agua. España. Disponible en: <http://www.mejoras-energeticas.com/localizadores-fugas-agua-xmic.html>*

11.3 CATÁLOGOS

- ✓ Bermad Fluid Solutions. *Bermad Waterworks Pressure reducing valve. Chile Disponible en: <http://www.bfschile.com/wp-content/uploads/2012/03/WW-720.pdf>*
- ✓ HoneyWell. *Líder en el diseño e implementación de soluciones para regulación y control en el mercado residencial y comercial. Lista de precios 2015. España. Disponible en: http://www.honeywell.es/home/productos/lista_de_precios*
- ✓ Masa tubos y sistemas. *Válvulas y Accesorios de Fundición. Catalogo y Lista de Precios 2014-2015. España. Disponible en: <http://www.masa.es/wp-content/uploads/2014/09/TARIFA-2014-2015-MASA-BR.pdf>*

Trabajo Fin de Máster

*ANÁLISIS Y ELABORACIÓN DEL MODELO
MATEMÁTICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN
DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE
RIOBAMBA-ECUADOR.
PROPUESTAS DE MEJORA*

ANEJOS



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

12. ANEJOS

ANEJO 1 - DETALLES DE LAS SECTORIZACIONES

Detalle de cada una de las zonas de distribución de la ciudad RIOBAMBA.

1.1 RED EL TRATAMIENTO



Fig 111. Red El Tratamiento.

UBICACIÓN: Ubicado en el norte de Riobamba, asentada entre cotas 2.964 – 2.861 m.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO: tiene un volumen aproximado de 1.000 m³, con cota en el fondo de 2.950 m.

ÁREA DE DISTRIBUCIÓN: esta red de distribución abastece un área de 168,25 ha.

POBLACIÓN DE SERVICIO: mediante controles realizados en los volúmenes facturados se suministra una población aproximada de 5.600 habitantes.

Tabla 29. Resumen de las Tuberías Red Tratamiento.

| OID | DIAMETRO | Tuberías | Longitud (km) | MATERIAL | RED |
|-----|----------|----------|---------------|----------|-------------|
| 0 | 58,2 | 597 | 37,66 | PVC | TRATAMIENTO |
| 1 | 101,6 | 71 | 6,03 | PVC | TRATAMIENTO |
| 2 | 184,6 | 2 | 0,01 | PVC | TRATAMIENTO |
| 3 | 230,8 | 15 | 1,84 | PVC | TRATAMIENTO |
| 4 | 290,8 | 1 | 0,91 | PVC | TRATAMIENTO |

1.2 RED EL RECREO

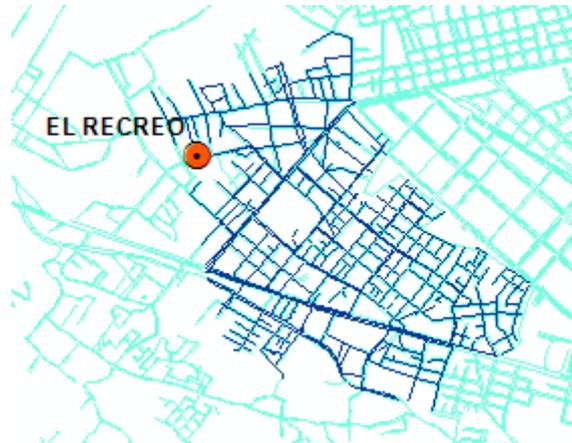


Fig 112. Red El Recreo.

UBICACIÓN: Ubicado en el noroeste de Riobamba, asentada entre cotas 2.885 – 2.807 m.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO: existen 3 tanques de 500 m³ cada uno, con cota en el fondo de 2.885 m.

ÁREA DE DISTRIBUCIÓN: esta red de distribución abastece un área de 220,82 ha.

POBLACIÓN DE SERVICIO: mediante controles realizados en los volúmenes facturados se suministra una población aproximada de 7.700 habitantes.

Tabla 30. Resumen de las Tuberías Red El Recreo.

| OID | DIAMETRO | Tuberías | Longitud (km) | MATERIAL | RED |
|-----|----------|----------|---------------|----------|--------|
| 0 | 58,2 | 529 | 33,24 | PVC | RECREO |
| 1 | 83 | 48 | 3,12 | PVC | RECREO |
| 2 | 101,6 | 188 | 10,8 | PVC | RECREO |
| 3 | 147,6 | 78 | 6,11 | PVC | RECREO |
| 4 | 184,6 | 10 | 1,38 | PVC | RECREO |
| 5 | 230,8 | 2 | 0,14 | PVC | RECREO |
| 6 | 290,8 | 5 | 0,39 | PVC | RECREO |

1.3 RED SAN JOSE DE TAPI

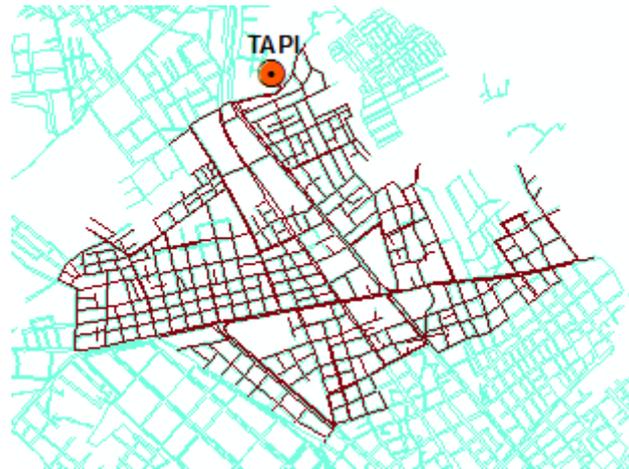


Fig 113. Red San José de Tapi.

UBICACIÓN: Ubicado en el norte de Riobamba, asentada entre cotas 2.880 – 2.817 m.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO: tiene un volumen aproximado de 2.000 m³, con cota en el fondo de 2.882 m.

ÁREA DE DISTRIBUCIÓN: esta red de distribución abastece un área de 306,15 ha.

POBLACIÓN DE SERVICIO: mediante controles realizados en los volúmenes facturados se suministra una población aproximada de 10.600 habitantes.

Tabla 31. Resumen de las Tuberías Red San José de Tapi.

| OID | DIAMETRO | Tuberías | Longitud (km) | MATERIAL | RED |
|-----|----------|----------|---------------|----------|------------------|
| 0 | 58,2 | 802 | 56,64 | PVC | SAN JOSE DE TAPI |
| 1 | 83 | 56 | 4,66 | PVC | SAN JOSE DE TAPI |
| 2 | 101,6 | 181 | 9,98 | PVC | SAN JOSE DE TAPI |
| 3 | 147,6 | 14 | 1,85 | PVC | SAN JOSE DE TAPI |
| 4 | 184,6 | 12 | 1,4 | PVC | SAN JOSE DE TAPI |
| 5 | 230,8 | 4 | 0,34 | PVC | SAN JOSE DE TAPI |
| 6 | 290,8 | 9 | 1,35 | PVC | SAN JOSE DE TAPI |

1.4 RED EL CARMEN



Fig 114. Red El Carmen.

UBICACIÓN: Ubicado en el centro de Riobamba, asentada entre cotas 2.824 – 2.774 m.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO: existen 2 tanques de reserva, con volúmenes de 1.500 y 2.000 m³ respectivamente, con cota en el fondo de 2.870 m.

ÁREA DE DISTRIBUCIÓN: esta red de distribución abastece un área de 612,03 ha.

POBLACIÓN DE SERVICIO: mediante controles realizados en los volúmenes facturados se suministra una población aproximada de 25.000 habitantes.

Tabla 32. Resumen de las Tuberías Red El Carmen.

| | OID | DIAMETRO | Tuberías | Longitud (km) | MATERIAL | RED |
|--|-----|----------|----------|---------------|----------|-----------|
| | 0 | 58,2 | 993 | 66,79 | PVC | EL CARMEN |
| | 1 | 60 | 4 | 0,26 | PVC | EL CARMEN |
| | 2 | 75 | 6 | 0,26 | PVC | EL CARMEN |
| | 3 | 83 | 85 | 5,59 | PVC | EL CARMEN |
| | 4 | 101,6 | 311 | 19,88 | PVC | EL CARMEN |
| | 5 | 114 | 1 | 0,09 | PVC | EL CARMEN |
| | 6 | 147,6 | 21 | 3,06 | PVC | EL CARMEN |
| | 7 | 184,6 | 8 | 0,83 | PVC | EL CARMEN |
| | 8 | 230,8 | 5 | 0,46 | PVC | EL CARMEN |
| | 9 | 290,8 | 12 | 1,59 | PVC | EL CARMEN |
| | 10 | 369,2 | 3 | 0,41 | PVC | EL CARMEN |
| | 11 | 461,6 | 4 | 2,46 | PVC | EL CARMEN |

1.5 RED LA SABOYA

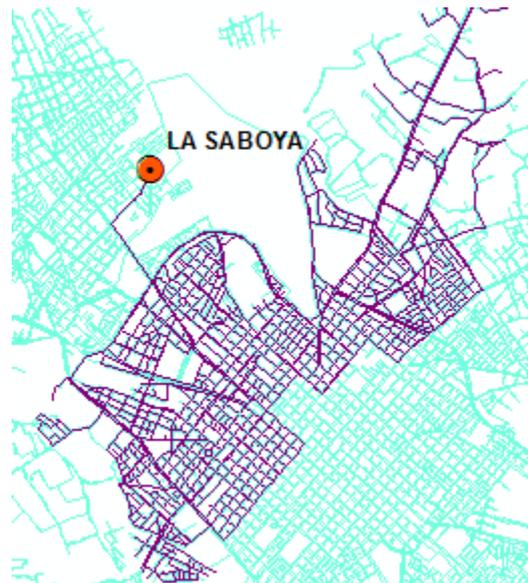


Fig 115. Red La Saboya.

UBICACIÓN: Ubicado en el centro de Riobamba, asentada entre cotas 2.793 – 2.725 m.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO: existen cinco tanques de reserva, 3 de 1.000 m³ y 2 de 2.000 m³, con cota en el fondo de 2.817 m.

ÁREA DE DISTRIBUCIÓN: esta red de distribución abastece un área de 907,27 ha.

POBLACIÓN DE SERVICIO: mediante controles realizados en los volúmenes facturados se suministra una población aproximada de 63.400 habitantes

Tabla 33. Resumen de las Tuberías Red La Saboya.

| | OID | DIAMETRO | Tuberías | Longitud (km) | MATERIAL | RED |
|--|-----|----------|----------|---------------|----------|--------|
| | 0 | 58,2 | 1490 | 113,66 | PVC | SABOYA |
| | 1 | 90 | 30 | 2,05 | PVC | SABOYA |
| | 2 | 101,6 | 556 | 33,82 | PVC | SABOYA |
| | 3 | 147,6 | 34 | 3,84 | PVC | SABOYA |
| | 4 | 184,6 | 18 | 4,86 | PVC | SABOYA |
| | 5 | 230,8 | 32 | 6,56 | PVC | SABOYA |
| | 6 | 290,8 | 18 | 3,56 | PVC | SABOYA |
| | 7 | 327,6 | 8 | 1,53 | PVC | SABOYA |
| | 8 | 369,2 | 11 | 2,14 | PVC | SABOYA |
| | 9 | 461,6 | 3 | 0,17 | PVC | SABOYA |
| | 10 | 581,6 | 1 | 1,18 | PVC | SABOYA |

1.6 RED MALDONADO



Fig 116. Red Maldonado.

UBICACIÓN: Ubicado en el centro de Riobamba, asentada entre cotas 2.793 – 2.725 m.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO: existen dos tanques de reserva cada uno de ellos con un volumen de 2.500 m³, con cota en el fondo de 2.792 m.

ÁREA DE DISTRIBUCIÓN: esta red de distribución abastece un área de 621,34 ha.

POBLACIÓN DE SERVICIO: mediante controles realizados en los volúmenes facturados se suministra una población aproximada de 38.100 habitantes

Tabla 34. Resumen de las Tuberías Red Maldonado.

| OID | DIAMETRO | Tuberías | Longitud (km) | MATERIAL | RED |
|-----|----------|----------|---------------|----------|-----------|
| 0 | 46,2 | 2 | 0,09 | PVC | MALDONADO |
| 1 | 58,2 | 1195 | 77,42 | PVC | MALDONADO |
| 2 | 83 | 43 | 2,43 | PVC | MALDONADO |
| 3 | 101,6 | 529 | 25,77 | PVC | MALDONADO |
| 4 | 147,6 | 10 | 1,01 | PVC | MALDONADO |
| 5 | 152,4 | 1 | 0,17 | PVC | MALDONADO |
| 6 | 184,6 | 25 | 3,22 | PVC | MALDONADO |
| 7 | 230,8 | 7 | 0,79 | PVC | MALDONADO |
| 8 | 290,8 | 15 | 1,39 | PVC | MALDONADO |
| 9 | 327,6 | 22 | 2,15 | PVC | MALDONADO |
| 10 | 469 | 9 | 2,07 | PVC | MALDONADO |

1.7 RED PISCIN



Fig 117. Red Piscin.

UBICACIÓN: Ubicado en el sureste de Riobamba, asentada entre cotas 2.751 – 2.679 m.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO: tiene un volumen aproximado de 2.000 m³, con cota en el fondo de 2.767 m.

ÁREA DE DISTRIBUCIÓN: esta red de distribución abastece un área de 646,85 ha.

POBLACIÓN DE SERVICIO: mediante controles realizados en los volúmenes facturados se suministra una población aproximada de 8.590 habitantes

Tabla 35. Resumen de las Tuberías Red Piscin.

| OID | DIAMETRO | Tuberías | Longitud (km) | MATERIAL | RED |
|-----|----------|----------|---------------|----------|--------|
| 0 | 58,2 | 282 | 24,84 | PVC | PISCIN |
| 1 | 83 | 36 | 3,33 | PVC | PISCIN |
| 2 | 101,6 | 110 | 11,72 | PVC | PISCIN |
| 3 | 147,6 | 12 | 3,69 | PVC | PISCIN |
| 4 | 184,6 | 19 | 2,14 | PVC | PISCIN |
| 5 | 230,8 | 5 | 0,45 | PVC | PISCIN |
| 6 | 290,8 | 4 | 1,11 | PVC | PISCIN |

1.8 RED SAN MARTIN DE VERANILLO

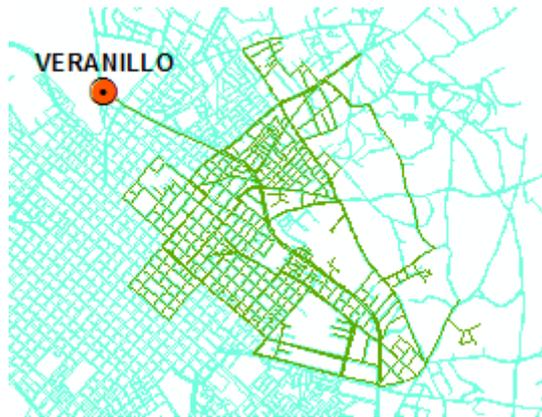


Fig 118. Red San Martín de Veranillo.

UBICACIÓN: Ubicado en el centro de Riobamba, asentada entre cotas 2.788 – 2.735 m.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO: se abastece desde un tanque de reserva de la estación Maldonado de 2.500 m³, con cota en el fondo de 2.792 m.

ÁREA DE DISTRIBUCIÓN: esta red de distribución abastece un área de 944,64 ha.

POBLACIÓN DE SERVICIO: mediante controles realizados en los volúmenes facturados se suministra una población aproximada de 28.300 habitantes

Tabla 36. Resumen de las Tuberías Red San Martín de Veranillo.

| OID | DIAMETRO | Tuberías | Longitud (km) | MATERIAL | RED |
|-----|----------|----------|---------------|--------------|-----------|
| 0 | 58,2 | 824 | 56,73 | PVC | VERANILLO |
| 1 | 58,6 | 2 | 0,05 | PVC | VERANILLO |
| 2 | 63 | 1 | 0,07 | PVC | VERANILLO |
| 3 | 69,2 | 1 | 0,08 | PVC | VERANILLO |
| 4 | 84,4 | 46 | 3,49 | PVC | VERANILLO |
| 5 | 90 | 1 | 0,04 | PVC | VERANILLO |
| 6 | 101,6 | 264 | 16,96 | PVC | VERANILLO |
| 7 | 110 | 2 | 0,14 | PVC | VERANILLO |
| 8 | 147,6 | 32 | 6,92 | PVC | VERANILLO |
| 9 | 160 | 1 | 0,16 | PVC | VERANILLO |
| 10 | 184,6 | 1 | 0,71 | PVC | VERANILLO |
| 11 | 230,8 | 1 | 0,25 | PVC | VERANILLO |
| 12 | 290,8 | 13 | 1,9 | PVC | VERANILLO |
| 13 | 327,6 | 13 | 2,67 | PVC | VERANILLO |
| 14 | 450 | 5 | 1,02 | Asbestos Cem | VERANILLO |
| 15 | 461,6 | 3 | 0,83 | PVC | VERANILLO |

1.9 RED YARUQUIES



Fig 119. Red Yaruquies.

UBICACIÓN: Ubicado en el suroeste de Riobamba, asentada entre cotas 2.859 – 2.712 m.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO: tiene un volumen aproximado de 1.000 m³, con cota en el fondo de 2.850 m.

ÁREA DE DISTRIBUCIÓN: esta red de distribución abastece un área de 575,92 ha.

POBLACIÓN DE SERVICIO: mediante controles realizados en los volúmenes facturados se suministra una población aproximada de 10.500 habitantes

Tabla 37. Resumen de las Tuberías Red Yaruquies.

| OID | DIAMETRO | Tuberías | Longitud (km) | MATERIAL | RED |
|-----|----------|----------|---------------|----------|-----------|
| 0 | 58,2 | 232 | 17,28 | PVC | YARUQUIES |
| 1 | 101,6 | 143 | 16,62 | PVC | YARUQUIES |
| 2 | 147,6 | 10 | 0,82 | PVC | YARUQUIES |
| 3 | 184,6 | 15 | 1,54 | PVC | YARUQUIES |
| 4 | 230,8 | 2 | 0,06 | PVC | YARUQUIES |

ANEJO 2 - CAPTACIONES

La captación se realiza mediante vertientes y pozos subterráneos (LLIO_SAN PABLO). Con el tiempo se pretende realizar un trasvase de agua superficial Alao-Maguazo.

Coordenadas UTM: LLIO (X: 754393 Y: 9826914)

SAN PABLO (X: 753960 Y: 9827473)

Tabla 38. Formato de entrega a la Agencia de Regulación y Control (EMAPAR).

AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FORMATO DE ENTREGA DE INFORMACIÓN

| Período | Volumen de agua captada de las fuentes de agua (m ³ /mes) | | | | | | |
|---------|--|----------------------------------|--|---|--|-----------------------------|---------------------------------------|
| | Fuente | | Medición de los volúmenes | | | | |
| | Nombre | Tipo (superficial o subterráneo) | Tipo de Sistema de Medición (aforos volumétricos, vertederos, canaletas, flotadores, otros, especificar) | Tipo de tecnología (manual o electrónica) | Periodicidad (especificar diarias, semanales, mensuales) | Hora de la toma de medición | Volumen Captado (m ³ /mes) |
| ene-14 | LLIO | SUBTERRÁNEO | VERTEDEROS | MANUAL | SEMANAL | 08H30 | 777.600 |
| | SAN PABLO | SUPERFICIAL | AFORO VOLUMÉTRICO | ELECTRÓNICA | SEMANAL | 08H25 | 557.280 |
| | YARUQUIES | SUBTERRÁNEO | AFORO VOLUMÉTRICO | ELECTRÓNICA | SEMANAL | 14H30 | 49.248 |
| | SAN GABRIEL | SUBTERRÁNEO | AFORO VOLUMÉTRICO | ELECTRÓNICA | SEMANAL | 12H00 | 20.736 |
| | LAS ABRAS | SUBTERRÁNEO | AFORO VOLUMÉTRICO | ELECTRÓNICA | SEMANAL | 11H00 | 36.288 |
| | HUERTA | SUBTERRÁNEO | AFORO VOLUMÉTRICO | ELECTRÓNICA | SEMANAL | 09H47 | 59.616 |
| | SERVIDORES | SUBTERRÁNEO | AFORO VOLUMÉTRICO | ELECTRÓNICA | SEMANAL | 10H00 | 103.991 |
| | | | | | | | 1.604.759 |

ANEJO 3 - DEMANDAS DEL MODELO

3.1 FORMATO SHAPE EMPRESA EMAPAR.

Como se mencionó anteriormente, una primera alternativa es analizar el modelo con las demandas proporcionadas por el departamento técnico de la empresa EMAPAR, que son vinculadas mediante el software ARCVIEW_GISRed.

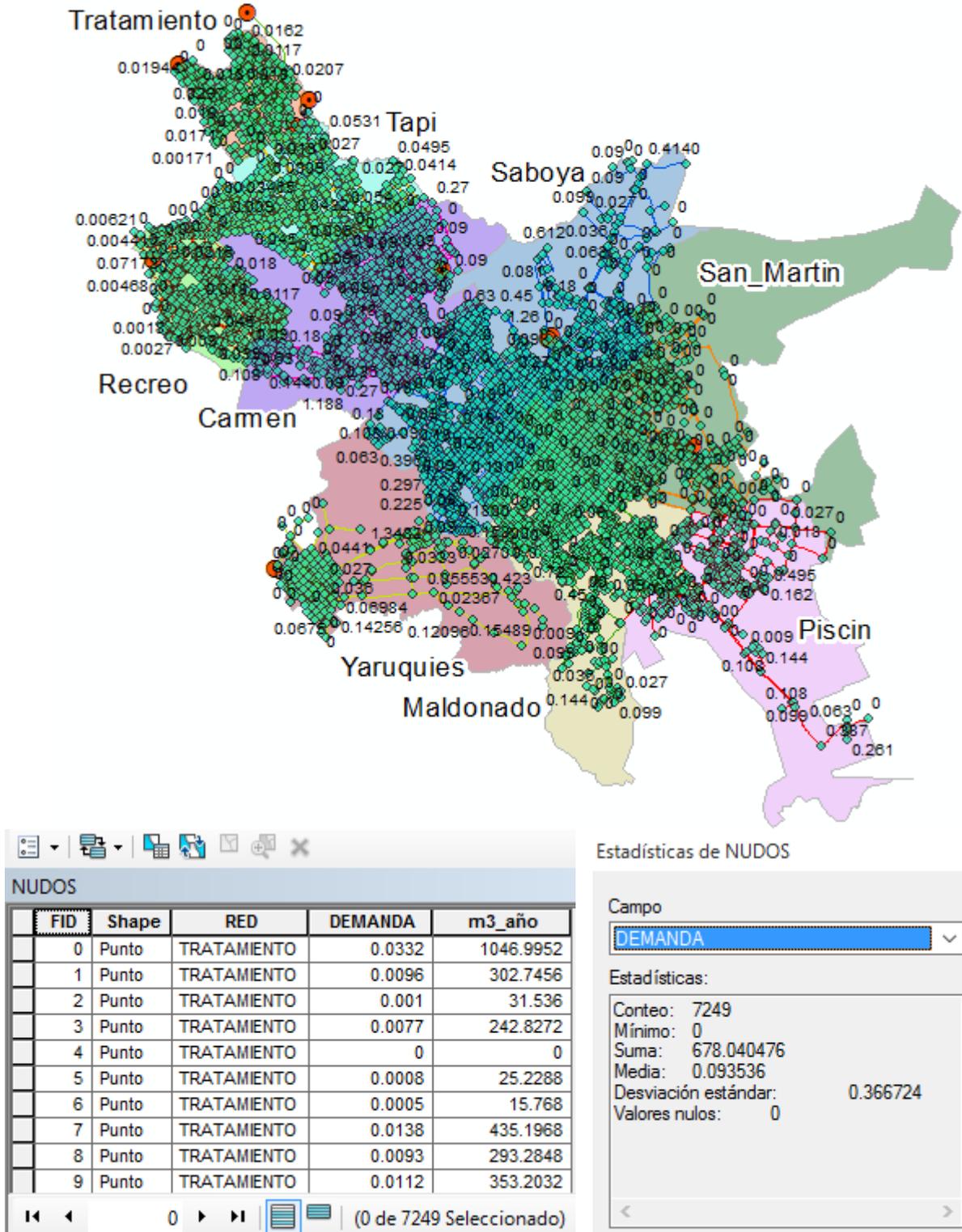


Fig 120. Formato Shape, demandas para el primer escenario.

3.2 CÁLCULOS DE LAS DEMANDAS.

En el siguiente escenario las demandas son calculadas mediante el caudal facturado distribuido para el total de nudos de cada sector en estudio.

Tabla 39. Cálculo de los consumos de cada sector.

| # | SECTOR | Facturado (l/s) | Inyectado (l/s) | RENDIMIENTO (%) | Nudos | Consumo (l/s) | EPANET (l/s) |
|---|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|---------------|--------------|
| 1 | Tratamiento | 12,96 | 17,24 | 75,2% | 517 | 0,025 | 0,025 |
| 2 | Tapi | 24,54 | 33,84 | 72,5% | 827 | 0,029 | 0,029 |
| 3 | Recreo | 17,82 | 24,25 | 73,5% | 702 | 0,025 | 0,025 |
| 4 | Carmen | 57,87 | 83,75 | 69,1% | 1.091 | 0,053 | 0,053 |
| 5 | Saboya | 146,76 | 203,83 | 72,0% | 1.581 | 0,092 | 0,092 |
| 6 | Maldonado | 88,19 | 120,48 | 73,2% | 1.401 | 0,063 | 0,063 |
| 7 | Veranillo | 65,51 | 88,53 | 74,0% | 901 | 0,072 | 0,072 |
| 8 | Piscin | 19,88 | 27,16 | 73,2% | 382 | 0,052 | 0,052 |
| 9 | Yaruquies | 24,31 | 34,92 | 69,6% | 330 | 0,073 | 0,073 |
| | TOTAL | 457,85 | 634,01 | | 7.732 | | |

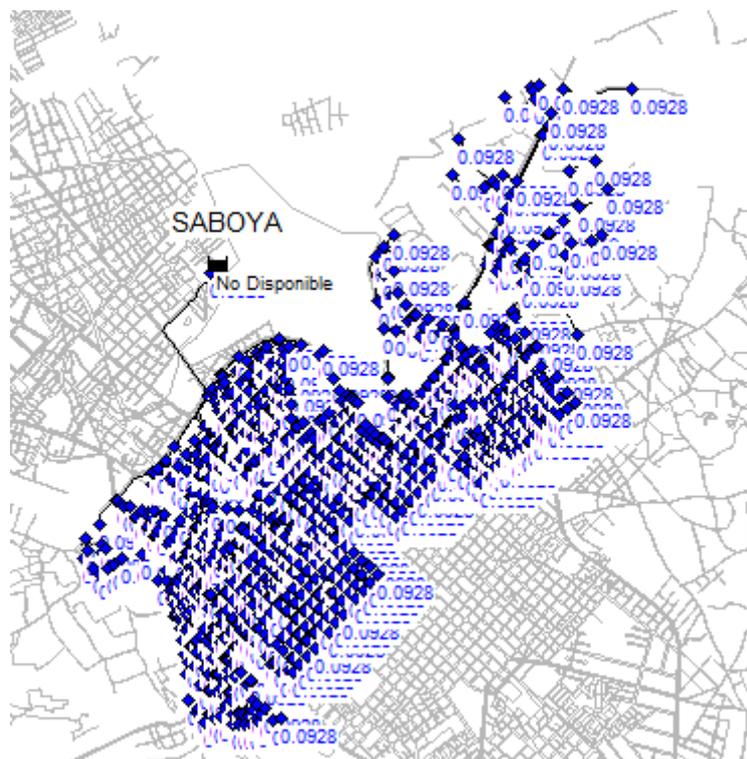


Fig 121. Demanda base para el sector La Saboya.

Existen otras alternativas para la asignación de la demanda a los nudos, pero para el análisis inicial en la ciudad de Riobamba se ha optado por utilizar este método de asignación rápida y eficaz que se ajusta al comportamiento de la red.

ANEJO 4 - TARIFAS DEL SERVICIO DE DISTRIBUCIÓN

La facturación en las localidades se realiza mensualmente, pero a partir de dos meses de mora se procede a cortar el servicio. En la parte inferior se da un detalle del método de recaudación del servicio:

Tabla 40. Costo del m³ de agua potable en la ciudad.

| Período | Tarifas por servicios (\$/m ³) | | | |
|---------|--|-----------|------------|-------------------|
| | Agua Potable | | | |
| | Doméstico | Comercial | Industrial | Otros/Especificar |
| 2014 | 0,0875 | 0,105 | 0,1225 | 0,194 |
| 2015 | 0,0875 | 0,105 | 0,1225 | 0,194 |

- Impresión de Facturas Página 1 de 1



EMPRESA PÚBLICA - EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE RIOBAMBA

RUC.: 0660836910001
 Dirección: Londres 07-50 y Av. Juan Félix Proaño
 Telf.: 2940 812 • Fax: 2940 813 • www.epemapar.gob.ec

CONTRIBUYENTE ESPECIAL
 Resolución 1480 del 12/12/2008

COMPROBANTE DE PAGO No : 3221803 CONSULTE SU FACTURA ELECTRÓNICA EN www.epemapar.gob.ec

| | |
|------------------------------------|-------------------------------|
| MES FACTURADO: Enero / 2015 | RED - DISTRITO: 005-01 |
| CUENTA No.: 10317 | RUTA: 34 |
| CLIENTE: CHUQUIN NELSON | SECUENCIA: 2780 |
| RUC/CI: 9999910317 | MANZANA: |
| DIRECCION: BOLIVIA | PISO: 00 |
| MEDIDOR No.: ZR12403326 | DEPARTAMENTO: 00 |

| LECTURA ANTERIOR | LECTURA ACTUAL | CONSUMO | CATEGORIA |
|------------------|----------------|---------|------------|
| 326 | 344 | 18m3 | Industrial |

| "ESTIMADO CLIENTE" | DESCRIPCION | VALOR |
|--|------------------------------------|--------------|
| Te informamos que se encuentra habilitada la Facturación Electrónica, revisa tus facturas y actualiza tus datos en www.epemapar.gob.ec . Tu próxima factura la podrás cancelar a partir del 15 de Febrero del 2015. A los dos meses de mora se procederá al corte del servicio y se aplicarán los recargos establecidos por la EP-EMAPAR, CANCELE A TIEMPO SUS FACTURAS. Resp. Impresión: myerovi-20/01/2015-15:21:25 | Agua Potable | 2.45 |
| | Alcantarillado | 1.72 |
| | Construcción y Ampliación Obras AP | 4.00 |
| | Costo Emisión | 0.20 |
| | Mantenimiento en Catastro | 0.70 |
| | Mantenimiento Llio | 1.23 |
| | Consumo meses anteriores | 9.30 |
| | Interés por Mora | 0.08 |
| | SUBTOTAL | 19.68 |
| | IVA 0% | 19.68 |
| TOTAL A PAGAR | | 19.68 |

REGISTRO DE PAGO
 PAGO EP-EMAPAR
 Id. Fac: 3221803 - 19.68
 Trans. 1966881 - myerovi
 39-89a98a96a97a100a101a95a92a99a99a100a1
 20/01/2015 15:23:00 - Imp:20/01/2015
 OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD

| FECHA EMISION | PAGUE HASTA | MESES DEUDA | HISTORICO CONSUMOS | Oct / 2014 | Nov / 2014 | Dic / 2014 |
|---------------|----------------|-------------|--------------------|------------|------------|------------|
| 14/Ene/2015 | Pago Inmediato | 2 | | 16 m3 | 10 m3 | 15 m3 |

Nº 0905202

NO TENDRÁ VALIDEZ SIN EL REGISTRO DE PAGO

Fig 122. Método de Facturación en la Ciudad de Riobamba.

ANEJO 5 - CÁLCULOS DEL COEFICIENTE GLOBAL DE FUGAS

Tabla 41. Cálculo del coeficiente global de fugas mediante iteraciones. Rendimiento Volumétrico 72,2 %. Q Inyectado EMAPAR 866,62 l/s.

| Tiempo | Tratamiento | Tapi | Recreo | Carmen | Saboya | Maldonado | Veranillo | Piscin | Yaruquies | |
|----------|-------------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------------------|
| | DEMANDA | DEMANDA | DEMANDA | DEMANDA | DEMANDA | DEMANDA | DEMANDA | DEMANDA | DEMANDA | |
| HORAS | LPS | LPS | LPS | LPS | LPS | LPS | LPS | LPS | LPS | |
| 0:00 | 19,94 | 35,61 | 24,26 | 121,50 | 237,10 | 126,04 | 49,61 | 31,70 | 22,78 | |
| 1:00 | 17,81 | 30,85 | 21,00 | 94,07 | 183,71 | 99,47 | 42,40 | 25,89 | 19,64 | |
| 2:00 | 16,75 | 28,48 | 19,39 | 80,36 | 156,93 | 86,17 | 38,80 | 22,98 | 18,08 | |
| 3:00 | 16,75 | 28,48 | 19,39 | 80,36 | 156,93 | 86,17 | 38,80 | 22,98 | 18,08 | |
| 4:00 | 16,75 | 28,48 | 19,39 | 80,36 | 156,93 | 86,17 | 38,80 | 22,98 | 18,08 | |
| 5:00 | 18,76 | 32,98 | 22,45 | 106,39 | 207,76 | 111,42 | 45,64 | 28,50 | 21,05 | |
| 6:00 | 24,24 | 45,27 | 30,82 | 177,17 | 345,60 | 180,14 | 64,29 | 43,52 | 29,14 | |
| 7:00 | 24,13 | 45,04 | 30,66 | 176,14 | 342,97 | 178,82 | 63,93 | 43,23 | 28,99 | |
| 8:00 | 23,82 | 44,33 | 30,17 | 171,75 | 335,07 | 174,87 | 62,85 | 42,37 | 28,52 | |
| 9:00 | 24,97 | 46,92 | 31,94 | 186,65 | 364,00 | 189,34 | 66,79 | 45,53 | 30,23 | |
| 10:00 | 26,35 | 49,98 | 34,03 | 204,21 | 398,06 | 206,40 | 71,44 | 49,27 | 32,24 | |
| 11:00 | 27,92 | 53,51 | 36,44 | 224,40 | 437,15 | 226,03 | 76,79 | 53,57 | 34,55 | |
| 12:00 | 28,98 | 55,85 | 38,05 | 237,82 | 463,08 | 239,09 | 80,35 | 56,43 | 36,09 | |
| 13:00 | 29,39 | 56,79 | 38,69 | 243,18 | 473,41 | 244,31 | 81,78 | 57,57 | 36,70 | |
| 14:00 | 28,34 | 54,44 | 37,08 | 229,79 | 447,54 | 231,26 | 78,22 | 54,71 | 35,17 | |
| 15:00 | 25,19 | 47,39 | 32,26 | 189,35 | 369,25 | 191,97 | 67,50 | 46,11 | 30,54 | |
| 16:00 | 23,08 | 42,68 | 29,05 | 162,26 | 316,61 | 165,65 | 60,35 | 40,35 | 27,44 | |
| 17:00 | 22,03 | 40,32 | 27,44 | 148,68 | 290,17 | 152,46 | 56,77 | 37,47 | 25,88 | |
| 18:00 | 22,03 | 40,32 | 27,44 | 148,67 | 290,17 | 152,46 | 56,77 | 37,47 | 25,88 | |
| 19:00 | 22,87 | 42,21 | 28,73 | 159,54 | 311,33 | 163,01 | 59,63 | 39,77 | 27,13 | |
| 20:00 | 24,13 | 45,04 | 30,66 | 175,82 | 342,97 | 178,82 | 63,93 | 43,23 | 28,99 | |
| 21:00 | 24,35 | 45,51 | 30,98 | 178,52 | 348,23 | 181,45 | 64,64 | 43,81 | 29,30 | |
| 22:00 | 23,29 | 43,15 | 29,37 | 164,98 | 321,89 | 168,29 | 61,06 | 40,93 | 27,75 | |
| 23:00 | 22,03 | 40,32 | 27,44 | 148,68 | 290,17 | 152,46 | 56,77 | 37,47 | 25,88 | |
| PROMEDIO | 23,08 | 42,66 | 29,05 | 162,11 | 316,13 | 165,51 | 60,33 | 40,33 | 27,42 | TOTAL (l/s) 866,62 |

Tabla 42. Cálculo del coeficiente global de fugas mediante iteraciones. Rendimiento Volumétrico 80 %. Q Inyectado EMAPAR 813,65 l/s.

| | Tratamiento | Tapi | Recreo | Carmen | Saboya | Maldonado | Veranillo | Piscin | Yaruquies | |
|----------|-------------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------------------|
| Tiempo | DEMANDA | DEMANDA | DEMANDA | DEMANDA | DEMANDA | DEMANDA | DEMANDA | DEMANDA | DEMANDA | |
| HORAS | LPS | LPS | LPS | LPS | LPS | LPS | LPS | LPS | LPS | |
| 0:00 | 16,39 | 30,32 | 20,58 | 114,57 | 224,02 | 117,08 | 42,79 | 28,57 | 19,48 | |
| 1:00 | 14,27 | 25,55 | 17,34 | 87,07 | 170,30 | 90,39 | 35,56 | 22,73 | 16,33 | |
| 2:00 | 13,21 | 23,16 | 15,72 | 73,31 | 143,37 | 77,03 | 31,95 | 19,82 | 14,76 | |
| 3:00 | 13,21 | 23,16 | 15,72 | 73,31 | 143,37 | 77,03 | 31,95 | 19,82 | 14,76 | |
| 4:00 | 13,21 | 23,16 | 15,72 | 73,31 | 143,37 | 77,03 | 31,95 | 19,82 | 14,76 | |
| 5:00 | 15,22 | 27,69 | 18,79 | 99,44 | 194,49 | 102,40 | 38,81 | 25,36 | 17,75 | |
| 6:00 | 20,73 | 40,07 | 27,18 | 170,63 | 333,49 | 171,54 | 57,57 | 40,48 | 25,90 | |
| 7:00 | 20,61 | 39,83 | 27,02 | 169,60 | 330,83 | 170,22 | 57,21 | 40,19 | 25,74 | |
| 8:00 | 20,30 | 39,12 | 26,54 | 165,17 | 322,85 | 166,24 | 56,13 | 39,32 | 25,27 | |
| 9:00 | 21,47 | 41,73 | 28,31 | 180,18 | 352,09 | 180,82 | 60,08 | 42,51 | 26,99 | |
| 10:00 | 22,84 | 44,81 | 30,41 | 197,88 | 386,55 | 198,02 | 64,76 | 46,27 | 29,02 | |
| 11:00 | 24,42 | 48,37 | 32,83 | 218,25 | 426,16 | 217,82 | 70,15 | 50,61 | 31,35 | |
| 12:00 | 25,48 | 50,74 | 34,44 | 231,81 | 452,47 | 231,01 | 73,74 | 53,49 | 32,90 | |
| 13:00 | 25,91 | 51,68 | 35,08 | 237,22 | 462,98 | 236,28 | 75,18 | 54,65 | 33,52 | |
| 14:00 | 24,85 | 49,32 | 33,47 | 223,69 | 436,70 | 223,10 | 71,59 | 51,76 | 31,97 | |
| 15:00 | 21,67 | 42,20 | 28,63 | 182,90 | 357,40 | 183,46 | 60,80 | 43,08 | 27,30 | |
| 16:00 | 19,56 | 37,45 | 25,41 | 155,61 | 304,20 | 156,95 | 53,60 | 37,29 | 24,18 | |
| 17:00 | 18,50 | 35,08 | 23,80 | 141,95 | 277,52 | 143,67 | 50,00 | 34,38 | 22,61 | |
| 18:00 | 18,50 | 35,08 | 23,80 | 141,94 | 277,52 | 143,67 | 50,00 | 34,38 | 22,61 | |
| 19:00 | 19,35 | 36,98 | 25,09 | 152,88 | 298,87 | 154,30 | 52,88 | 36,70 | 23,86 | |
| 20:00 | 20,61 | 39,83 | 27,02 | 169,27 | 330,83 | 170,22 | 57,21 | 40,19 | 25,74 | |
| 21:00 | 20,83 | 40,30 | 27,34 | 171,99 | 336,15 | 172,87 | 57,93 | 40,77 | 26,05 | |
| 22:00 | 19,77 | 37,93 | 25,73 | 158,35 | 309,53 | 159,61 | 54,32 | 37,87 | 24,49 | |
| 23:00 | 18,50 | 35,08 | 23,80 | 141,94 | 277,52 | 143,67 | 50,00 | 34,38 | 22,61 | |
| PROMEDIO | 19,56 | 37,44 | 25,41 | 155,51 | 303,86 | 156,85 | 53,59 | 37,27 | 24,16 | TOTAL (l/s) 813,65 |

Tabla 43. Cálculo del coeficiente global de fugas mediante iteraciones para cada sector. Rendimiento Volumétrico individual.

| COEFICIENTE GLOBAL DE FUGAS SIMULACIONES POR SECTORES | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Horas | <i>k=0,67</i> | <i>k=1,60</i> | <i>k=1,18</i> | <i>k=4,48</i> | <i>k=8,90</i> | <i>k=5,03</i> | <i>k=3,86</i> | <i>k=1,31</i> | <i>k=1,41</i> |
| | TRATAMIENTO | TAPI | RECREO | CARMEN | SABOYA | MALDONADO | VERANILLO | PISCIN | YARUQUIES |
| 0:00 | 13,36 | 26,57 | 18,95 | 66,60 | 161,01 | 94,56 | 69,42 | 21,28 | 27,71 |
| 1:00 | 10,77 | 21,70 | 15,40 | 55,11 | 132,13 | 77,13 | 56,54 | 17,33 | 22,88 |
| 2:00 | 9,48 | 19,26 | 13,62 | 49,36 | 117,69 | 68,41 | 50,10 | 15,36 | 20,47 |
| 3:00 | 9,48 | 19,26 | 13,62 | 49,36 | 117,69 | 68,41 | 50,10 | 15,36 | 20,47 |
| 4:00 | 9,48 | 19,26 | 13,62 | 49,36 | 117,69 | 68,41 | 50,10 | 15,36 | 20,47 |
| 5:00 | 11,94 | 23,89 | 16,99 | 60,27 | 145,11 | 84,96 | 62,34 | 19,11 | 25,05 |
| 6:00 | 18,66 | 36,52 | 26,20 | 90,06 | 219,71 | 130,07 | 95,61 | 29,33 | 37,57 |
| 7:00 | 18,53 | 36,28 | 26,02 | 89,49 | 218,28 | 129,20 | 94,98 | 29,14 | 37,33 |
| 8:00 | 18,14 | 35,55 | 25,49 | 87,78 | 213,99 | 126,61 | 93,07 | 28,55 | 36,61 |
| 9:00 | 19,56 | 38,22 | 27,44 | 94,07 | 229,70 | 136,12 | 100,07 | 30,71 | 39,26 |
| 10:00 | 21,24 | 41,37 | 29,74 | 101,50 | 248,22 | 147,34 | 108,33 | 33,26 | 42,38 |
| 11:00 | 23,18 | 45,00 | 32,39 | 110,06 | 269,53 | 160,26 | 117,83 | 36,20 | 45,98 |
| 12:00 | 24,47 | 47,43 | 34,16 | 115,77 | 283,71 | 168,86 | 124,14 | 38,16 | 48,38 |
| 13:00 | 24,99 | 48,39 | 34,87 | 118,05 | 289,37 | 172,30 | 126,67 | 38,94 | 49,34 |
| 14:00 | 23,70 | 45,97 | 33,10 | 112,34 | 275,21 | 163,70 | 120,36 | 36,98 | 46,94 |
| 15:00 | 19,82 | 38,70 | 27,79 | 95,21 | 232,55 | 137,84 | 101,34 | 31,10 | 39,74 |
| 16:00 | 17,24 | 33,85 | 24,25 | 83,77 | 203,98 | 120,55 | 88,60 | 27,17 | 34,93 |
| 17:00 | 15,94 | 31,42 | 22,48 | 78,04 | 189,66 | 111,88 | 82,21 | 25,21 | 32,52 |
| 18:00 | 15,94 | 31,42 | 22,48 | 78,04 | 189,66 | 111,88 | 82,21 | 25,21 | 32,52 |
| 19:00 | 16,98 | 33,37 | 23,90 | 82,63 | 201,12 | 118,82 | 87,32 | 26,78 | 34,45 |
| 20:00 | 18,53 | 36,28 | 26,02 | 89,49 | 218,28 | 129,20 | 94,98 | 29,14 | 37,33 |
| 21:00 | 18,79 | 36,76 | 26,38 | 90,64 | 221,14 | 130,93 | 96,25 | 29,53 | 37,82 |
| 22:00 | 17,50 | 34,34 | 24,61 | 84,91 | 206,84 | 122,28 | 89,88 | 27,57 | 35,41 |
| 23:00 | 15,94 | 31,42 | 22,48 | 78,04 | 189,66 | 111,88 | 82,21 | 25,21 | 32,52 |
| PROMEDIO | 17,24 | 33,84 | 24,25 | 83,75 | 203,83 | 120,48 | 88,53 | 27,17 | 34,92 |
| EMAPAR | 17,24 | 33,84 | 24,25 | 83,75 | 203,83 | 120,48 | 88,53 | 27,16 | 34,92 |
| ERROR % | 0,012% | 0,004% | 0,002% | 0,001% | 0,001% | 0,001% | 0,002% | 0,007% | 0,005% |

ANEJO 6 - ANÁLISIS POR SECTORES

6.1 SECTOR TAPI

Se encuentra ubicado en el norte de la ciudad, cuenta con 1 tanque de reserva de 2.000 m³ de capacidad y es capaz de abastecer a 10.600 habitantes, en este sector existe 1 válvula reductora de presión. Tiene una eficiencia volumétrica de 72,5 %.

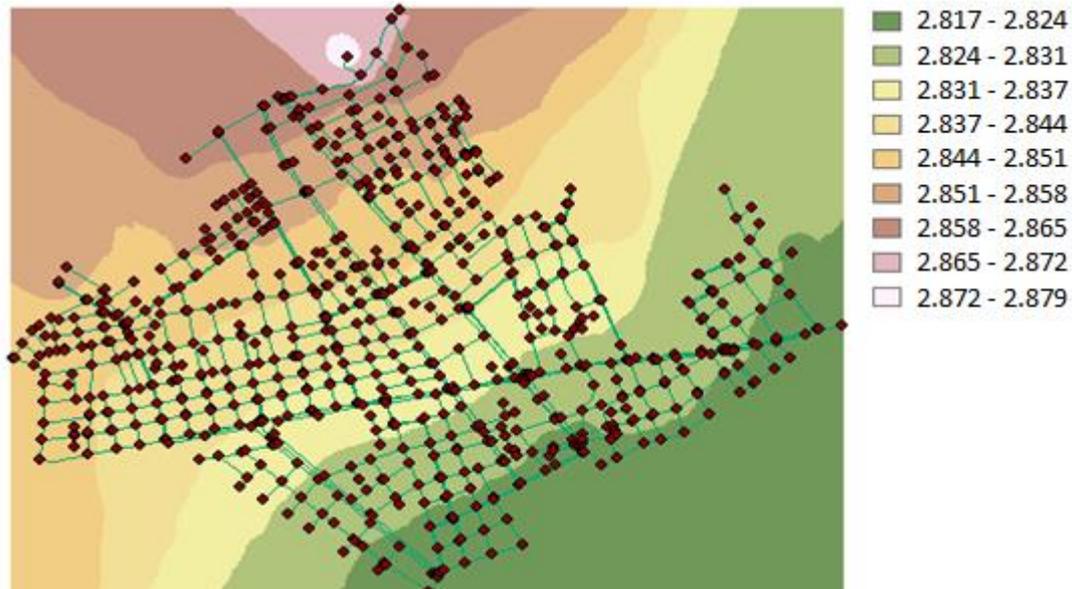


Fig 123. Detalle topográfico de la Red Tapi (m).

6.1.1 ANÁLISIS DE PRESIONES

Esta zona cuenta con presiones elevadas por tener cotas mucho menores que las del depósito de distribución, es por ello que se debe pensar en colocar válvulas reductoras para disminuir las sobrepresiones.

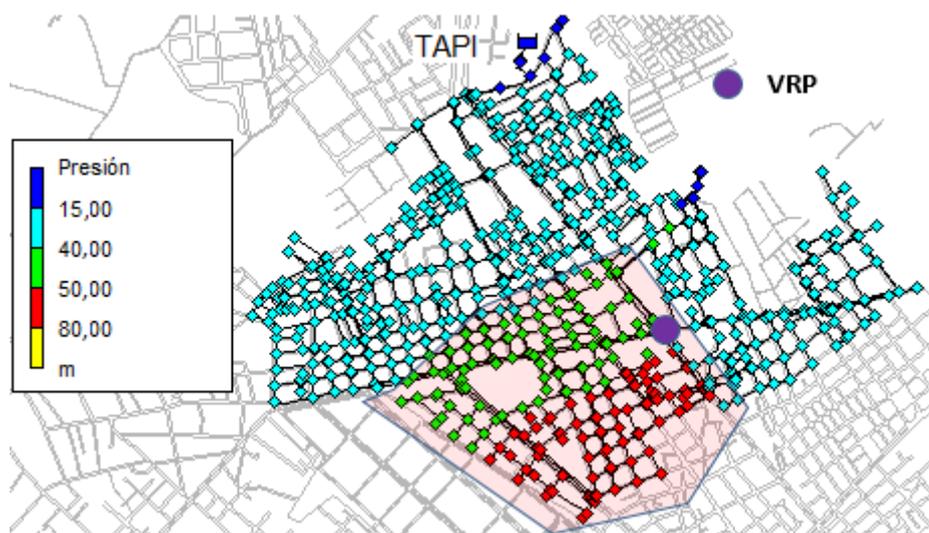


Fig 124. Mapa de presiones del sector Tapi (mca).

6.1.2 ANÁLISIS DE CAUDALES

Existen mayores caudales en las conducciones arteriales de la red, pues son las encargadas de poder transferir el agua hacia las tuberías de distribución de los abonados.

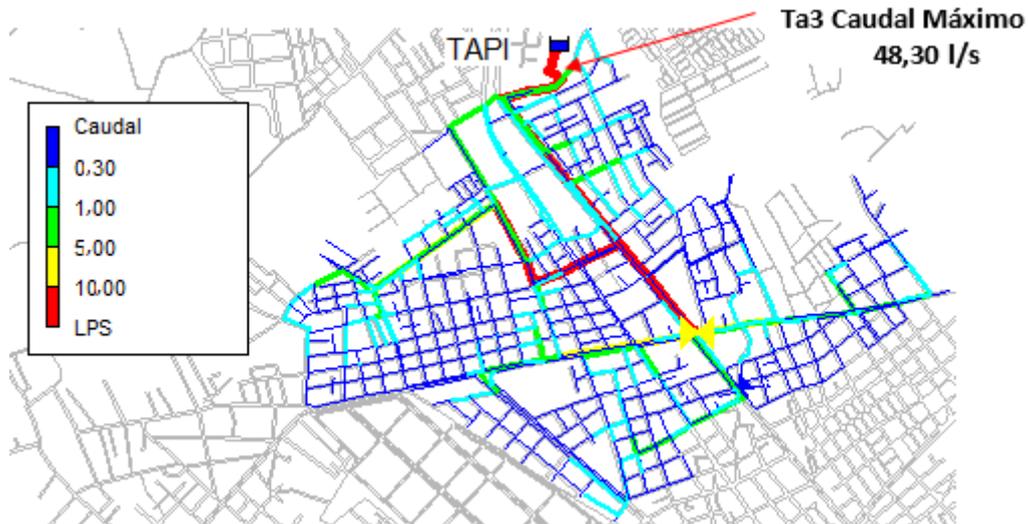


Fig 125. Caudales circulantes de la Red Tapi (l/s).

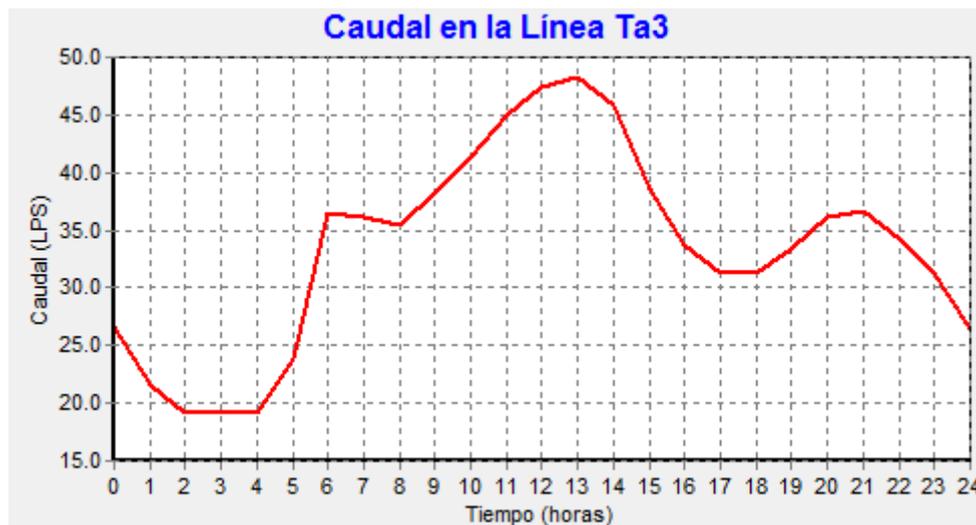


Fig 126. Evolución del caudal en la Tubería arterial de Φ 290,8 mm.

Los caudales máximos se registran a las 13:00 horas como fue detallado en el patrón de consumo anteriormente.

6.1.3 ANÁLISIS DE VELOCIDADES

Existen problemas de velocidades en las conducciones. Se deben analizar algunos puntos de la red desde el punto de vista de la calidad del agua potable. En ninguna conducción se tienen problemas de velocidades altas.

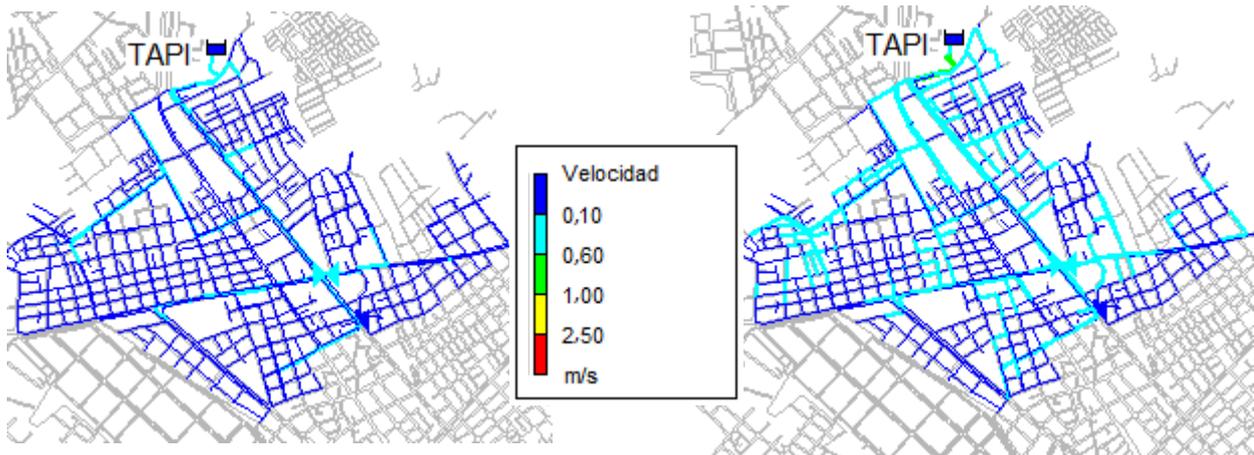


Fig 127. Velocidades en las conducciones (m/s). Izquierda: Mínimas Derecha: Máximas.

6.1.4 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS

Hay tuberías con pérdidas superiores a 4 mca/km, se debe garantizar que por las longitudes no generan pérdidas considerables para la red de distribución.

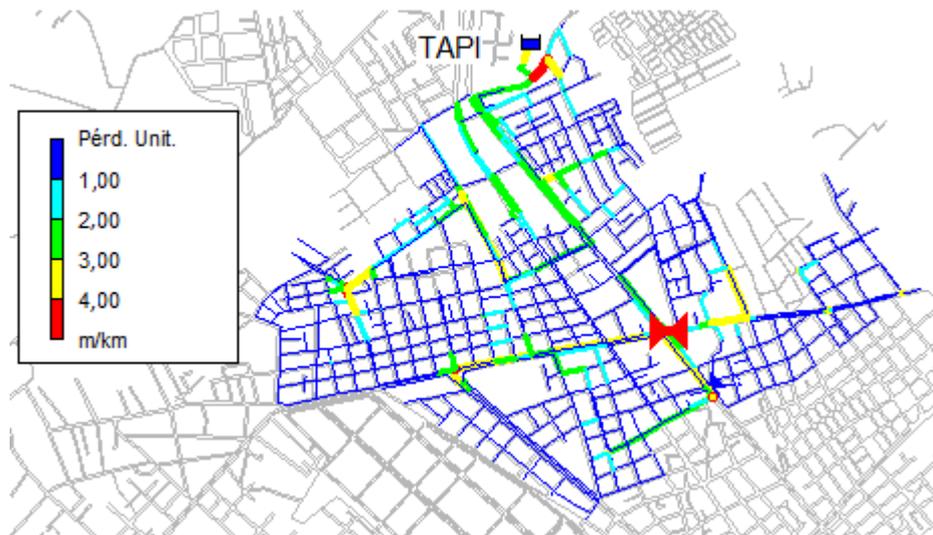


Fig 128. Pérdidas Unitarias que generan las tuberías (mca/km).

Tabla 44. Tuberías que ejercerían mayores pérdidas.

| TUBERÍA | DIÁMETRO (mm) | LONGITUD (m) | P. UNITARIA (mca/km) |
|---------|---------------|--------------|----------------------|
| Ta812 | 58,2 | 86,47 | 5,50 |
| Ta575 | 58,2 | 25,81 | 5,28 |

Estas pérdidas no se consideran importantes puesto que el sistema abastece de presión suficiente a los consumidores. Es por eso que no se estudia el cambio de las tuberías.

6.2 SECTOR EL RECREO

Está ubicado en la parte noroeste de la ciudad, posee 3 tanques de reserva de 500 m³ cada uno, abastece aproximadamente a 7.700 habitantes. Existen 2 válvulas reductoras de presión y tiene una eficiencia volumétrica de 73,5 %.

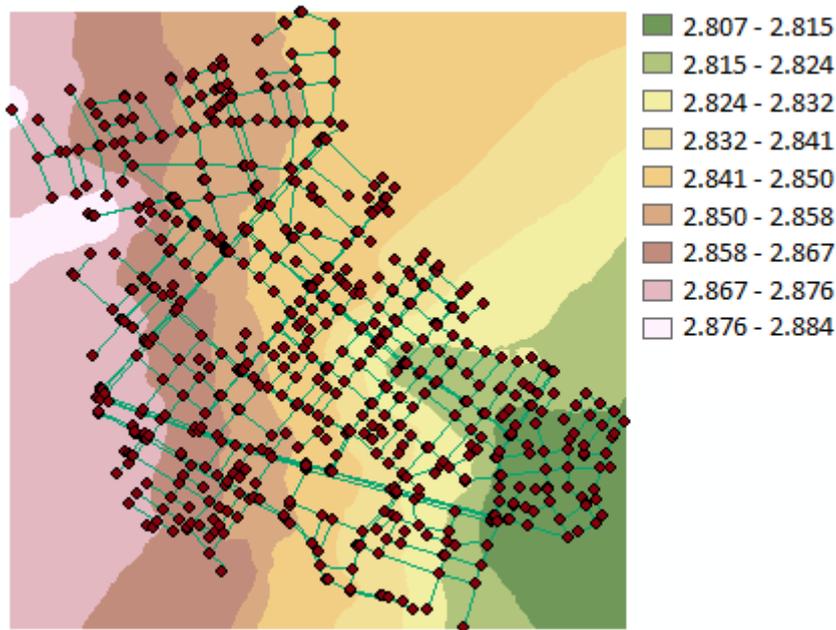


Fig 129. Detalle topográfico de la Red el Recreo (m).

6.2.1 ANÁLISIS DE PRESIONES



Fig 130. Mapa de presiones del sector El Recreo (mca).

A pesar de las válvulas reductoras instaladas en el sector se observan puntos con presiones excesivas que pueden ser perjudiciales para la vida de las conducciones.

6.2.2 ANÁLISIS DE CAUDALES

La tubería que conduce un caudal superior a 10 l/s es la principal, el resto de conducciones tienen un caudal que dependen de la demanda de los nudos de consumo.

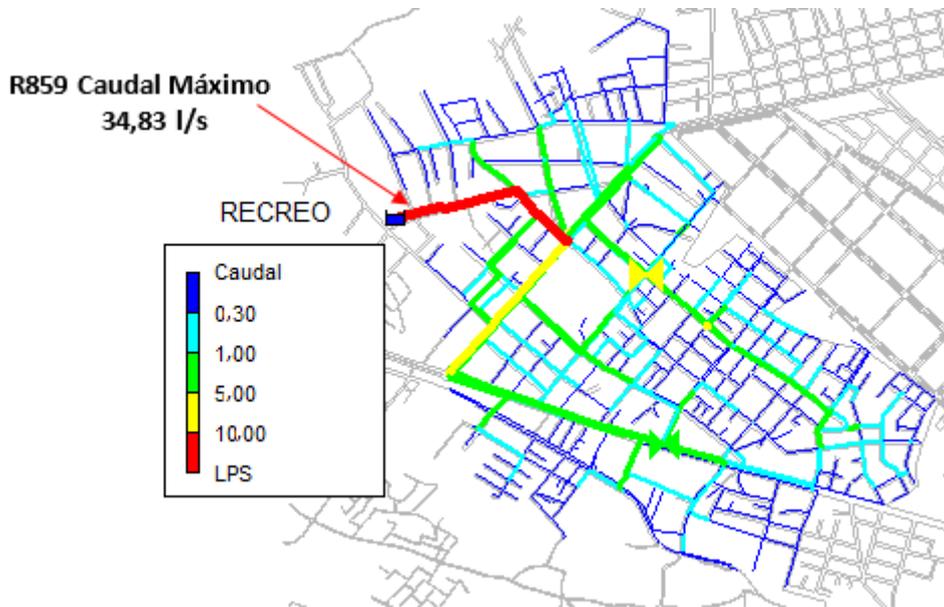


Fig 131. Caudales circulantes de la Red El Recreo (l/s).

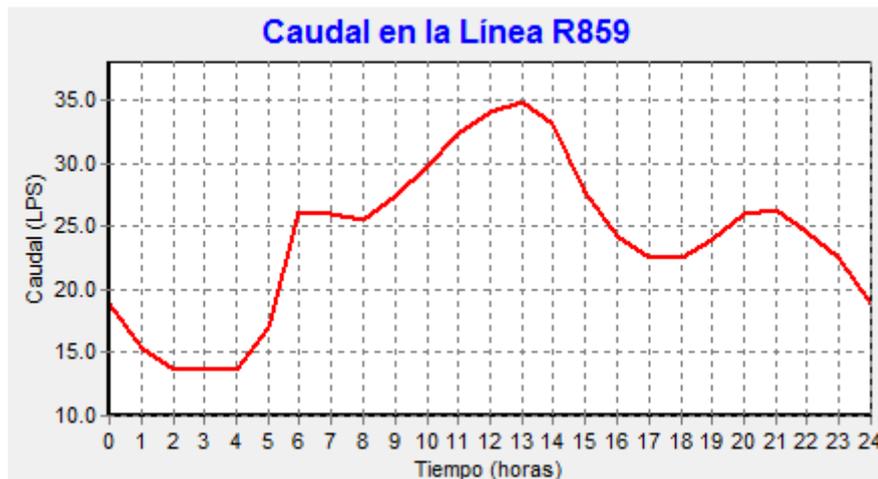


Fig 132. Evolución del caudal en la Tubería arterial de Φ 290,8 mm.

Cuando la demanda es máxima (horas de mayor consumo por parte de los habitantes), el caudal que circula por la conducción principal es de 34,83 l/s.

6.2.3 ANÁLISIS DE VELOCIDADES

En este sector se observa que tanto las velocidades máximas como mínimas son pequeñas. Realizar un estudio de la calidad del agua, pues se tendrá una disminución del agente desinfectante (cloro).

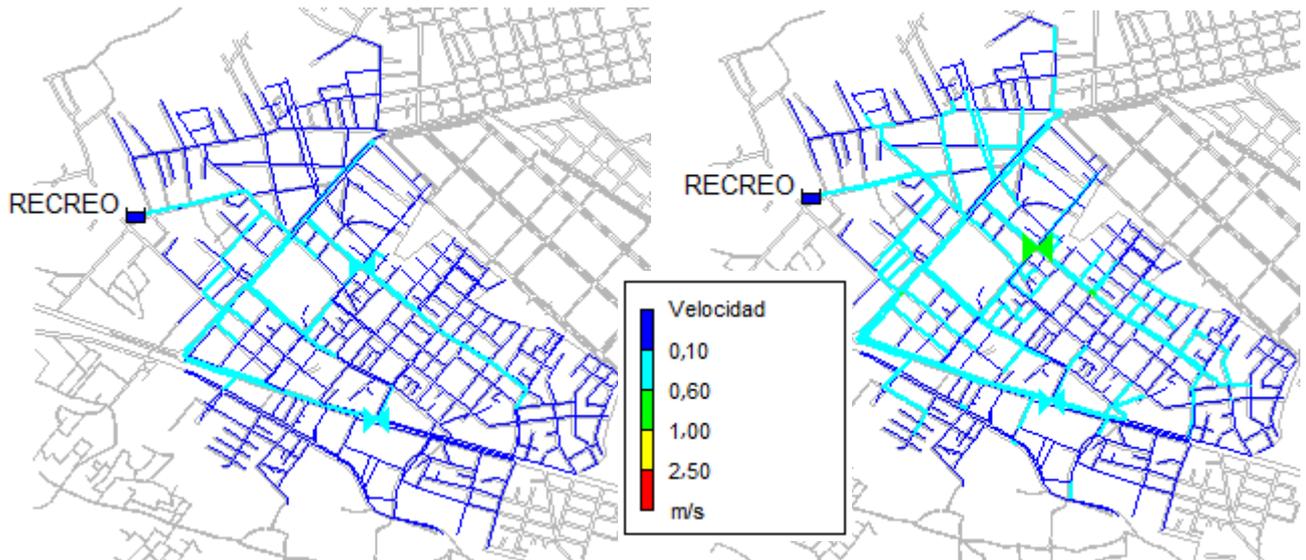


Fig 133. Velocidades en las conducciones (m/s). Izquierda: Mínimas Derecha: Máximas.

6.2.4 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS

Existen tuberías con factores mayores a 4 mca/km, se analizan si por la longitud se producen pérdidas importantes.

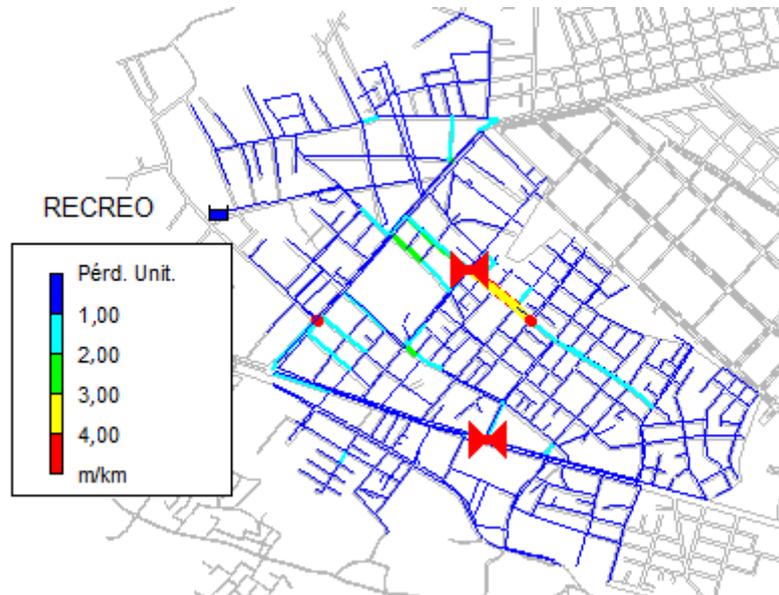


Fig 134. Pérdidas Unitarias que generan las tuberías (mca/km).

Tabla 45. Tuberías que ejercerían mayores pérdidas.

| TUBERÍA | DIÁMETRO (mm) | LONGITUD (m) | P. UNITARIA (mca/km) |
|---------|---------------|--------------|----------------------|
| R564 | 83 | 95,31 | 4,12 |
| R745 | 101,6 | 4,11 | 4,27 |

6.3 SECTOR MALDONADO

Se encuentra ubicado en la parte central de Riobamba, consta de 1 tanque de 2.500 m³, abastece a una población aproximada de 38.100 habitantes. En este sector no existe válvula reductora de presión, tiene una eficiencia volumétrica de 73,2 %.

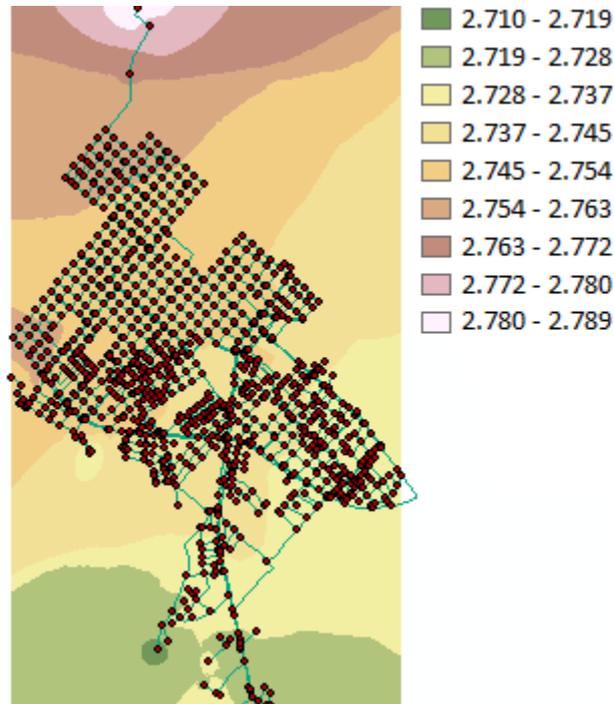


Fig 135. Detalle topográfico de la Red Maldonado (m).

6.3.1 ANÁLISIS DE PRESIONES

Presentan presiones elevadas que pueden causar fisuras en las conducciones de la red de distribución, se debe estudiar la posibilidad de instalar válvulas reductoras de presión para evitar los inconvenientes observados.

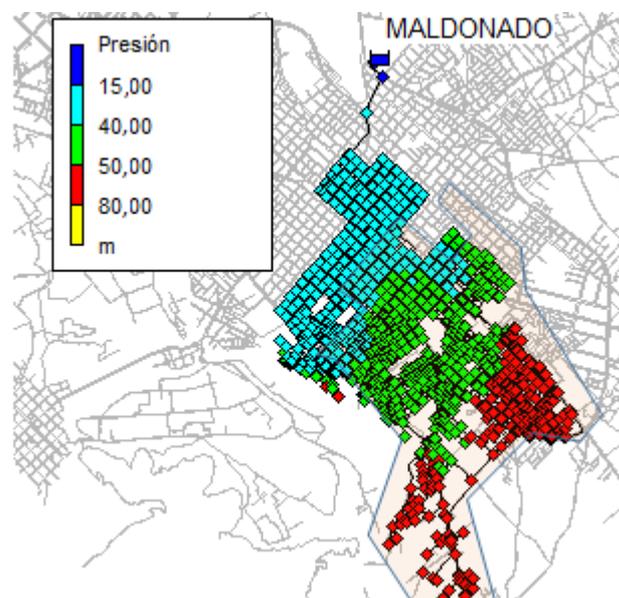


Fig 136. Mapa de presiones del sector Maldonado (mca).

6.3.2 ANÁLISIS DE CAUDALES

Se observa que las tuberías arteriales conducen caudales elevados para el abastecimiento del sector, en especial la principal que va desde el depósito hacia la distribución.

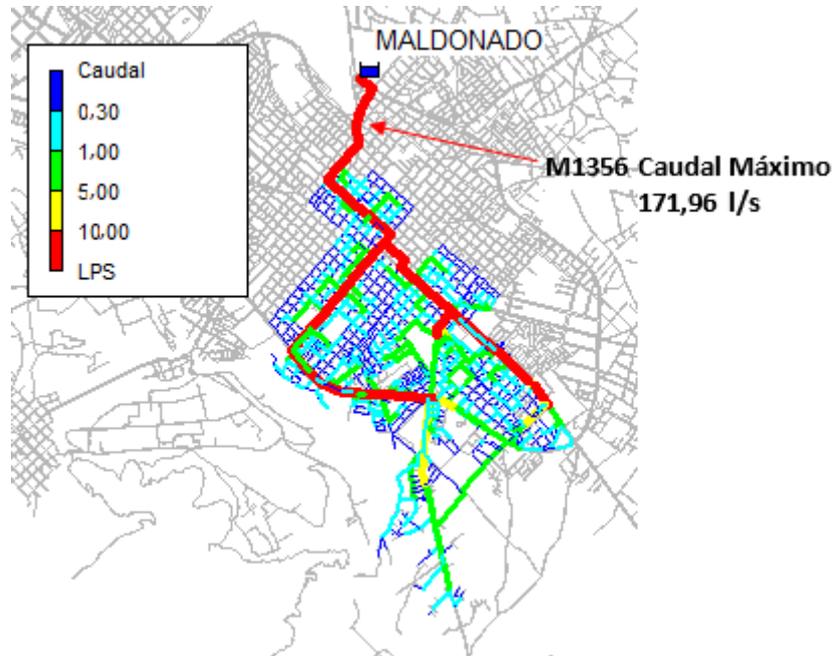


Fig 137. Caudales circulantes de la Red Maldonado (l/s).

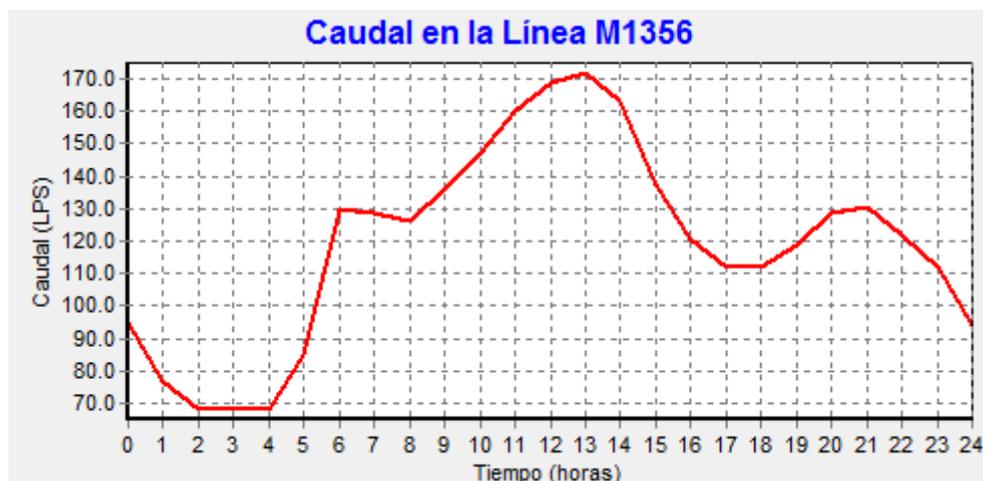


Fig 138. Evolución del caudal en la Tubería arterial de Φ 469 mm.

6.3.3 ANÁLISIS DE VELOCIDADES

Se tienen problemas de velocidades puesto que los diámetros de las tuberías son grandes en comparación al caudal trasegado. Nuevamente se plantea realizar un plan de toma de muestras en puntos estratégicos para verificar si las velocidades están afectando la calidad del agua que se suministra.

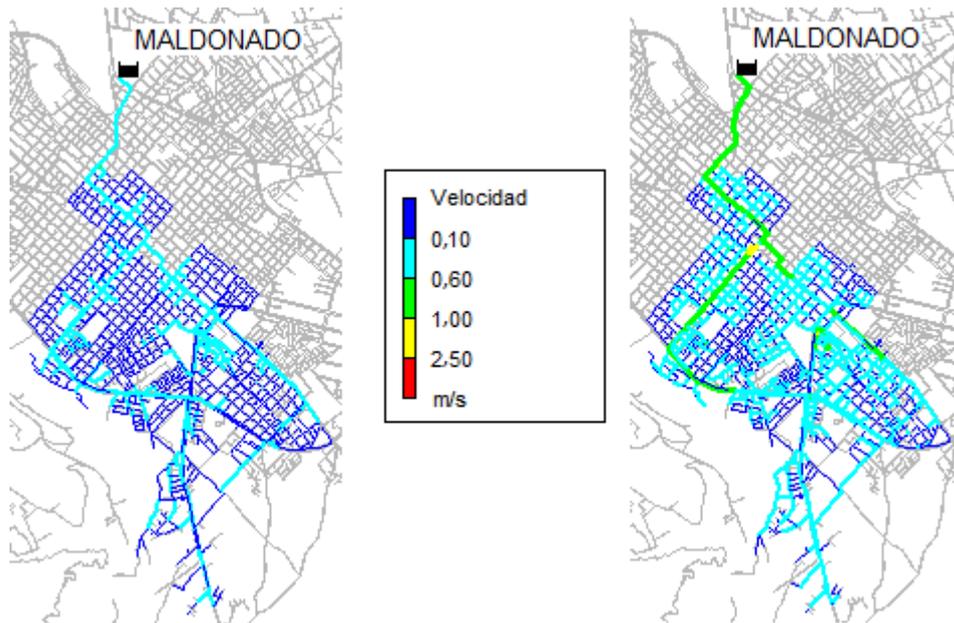


Fig 139. Velocidades en las conducciones (m/s). Izquierda: Mínimas Derecha: Máximas.

6.3.4 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS

Existen tuberías que tienen pérdidas superiores a 4 mca/km. Se deben comprobar que no sean capaces de afectar a las presiones en el sistema de distribución.

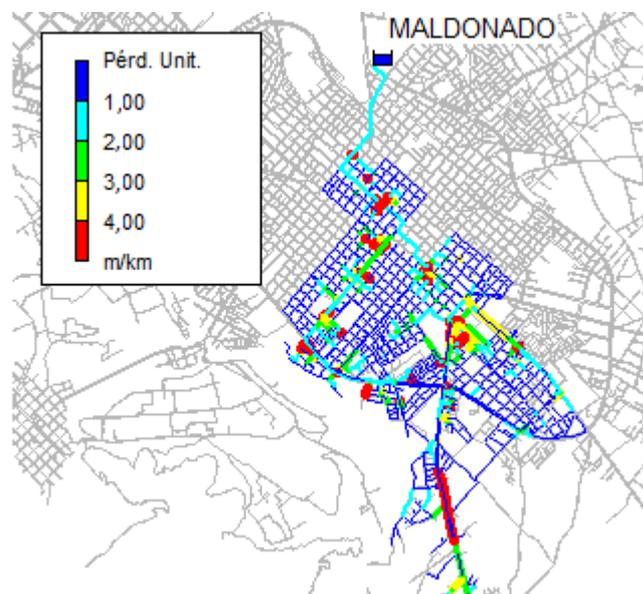


Fig 140. Pérdidas Unitarias que generan las tuberías (mca/km).

Tabla 46. Tuberías que ejercerían mayores pérdidas.

| TUBERÍA | DIÁMETRO (mm) | LONGITUD (m) | P. UNITARIA (mca/km) | PÉRDIDAS (mca) |
|---------|---------------|--------------|----------------------|----------------|
| M681 | 58,2 | 164,71 | 9,3 | 1,53 |
| M797 | 58,2 | 393,5 | 6,99 | 2,75 |

6.4 SECTOR EL PISCIN

Está ubicado en el sureste de la ciudad, tiene un tanque de reserva de 2.000 m³, abastece a 8.590 habitantes aproximadamente. En este sector no existen válvulas reductoras de presión y tiene un eficiencia volumétrica del 73,2 %.

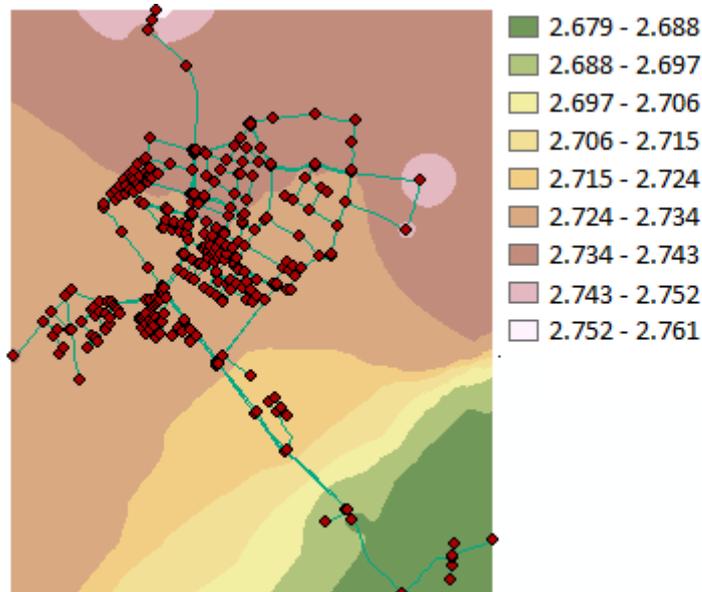


Fig 141. Detalle topográfico de la Red El Piscin (m).

6.4.1 ANÁLISIS DE PRESIONES

Al tener un depósito con cota necesaria para abastecer el sector, no hay excesivos puntos con sobrepresiones, y los pocos se pueden eliminar colocando una válvula reductora.

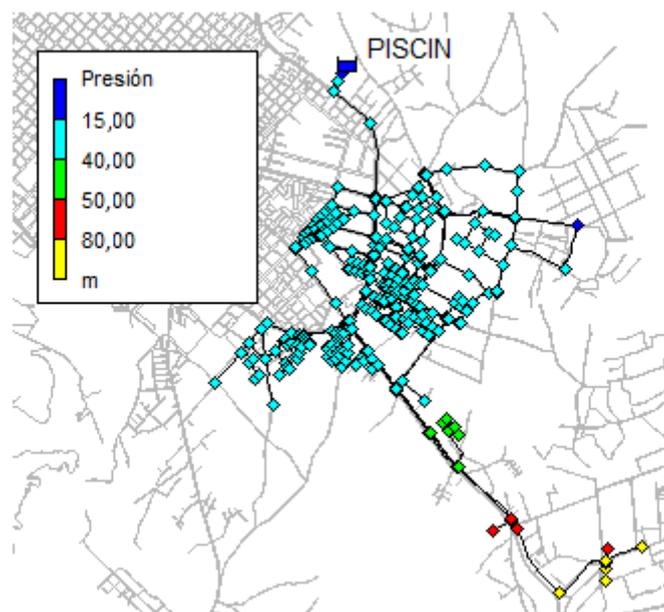


Fig 142. Mapa de presiones del sector El Piscin (mca).

6.4.2 ANÁLISIS DE CAUDALES

Este sector cuenta con dos conducciones principales que transportan el caudal a ser distribuido a los consumidores. La primera con un caudal de 38,65 l/s en horas de mayor consumo, y la posterior tubería arterial con 12,04 l/s.

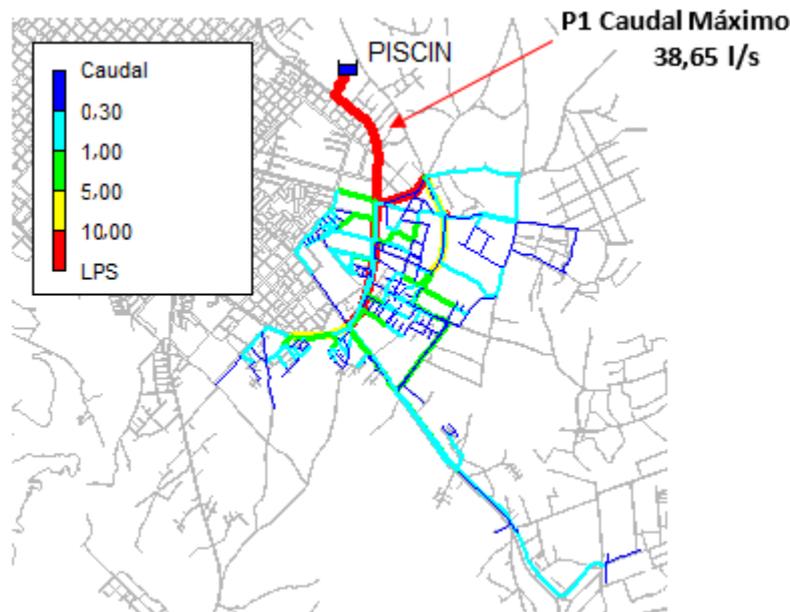


Fig 143. Caudales circulantes de la Red El Piscin (l/s).

6.4.3 ANÁLISIS DE VELOCIDADES

Al ser un sector pequeño, los diámetros de las tuberías son excesivos para el caudal circulante, por lo tanto, se tienen problemas en las velocidades de la red.

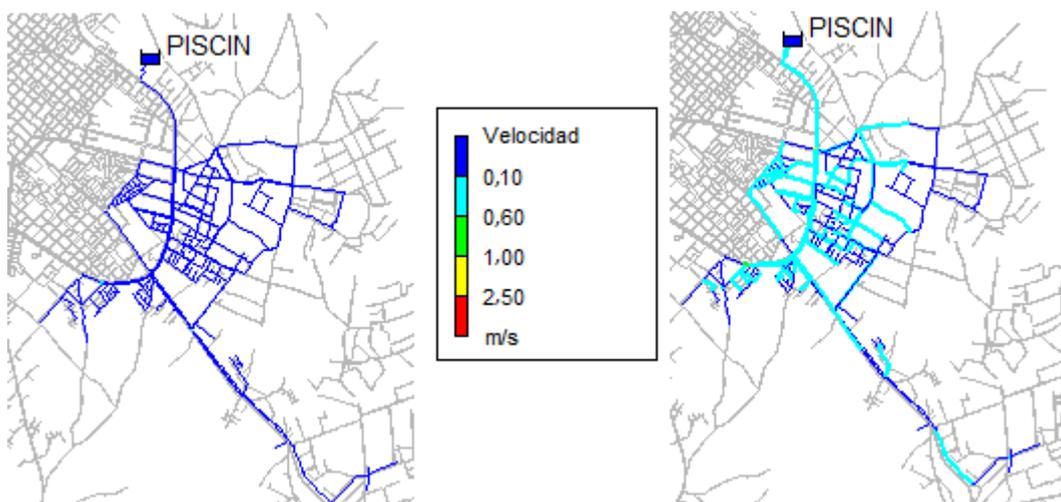


Fig 144. Velocidades en las conducciones (m/s). Izquierda: Mínimas Derecha: Máximas.

6.4.4 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS

Existen pocas tuberías que pueden generar pérdidas apreciables, verificar que por su longitud puedan afectar a la red.

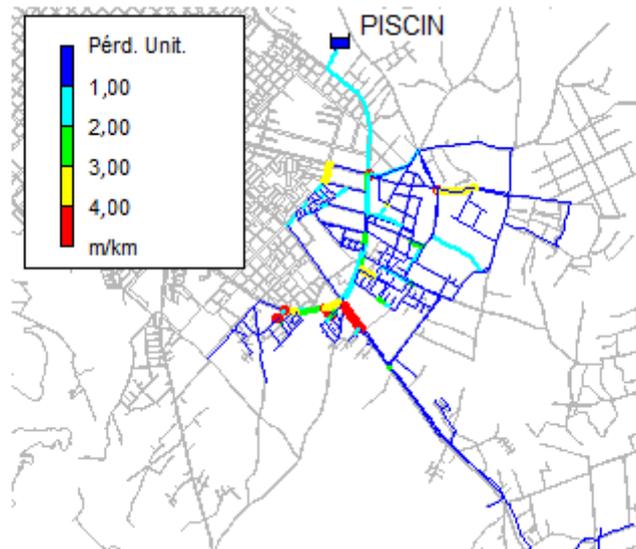


Fig 145. Pérdidas Unitarias que generan las tuberías (mca/km).

Tabla 47. Tuberías que ejercerían mayores pérdidas.

| TUBERÍA | DIÁMETRO (mm) | LONGITUD (m) | P. UNITARIA (mca/km) |
|---------|---------------|--------------|----------------------|
| P348 | 58,2 | 198,23 | 4,11 |
| P153 | 83 | 73,84 | 4,52 |

En este caso se puede observar que en el sistema existen tuberías que ejercen pérdidas de 4 mca, es decir pueden afectar la presión en algunos sitios, pero el sistema es capaz de proporcionar la presión necesaria por la altura del depósito. Por eso no se estudia el cambio de las mismas.

ANEJO 7 - COSTOS DE INSTALACIÓN VRP

7.1 PRECIOS HONEYWELL



Honeywell

VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN
Y FILTROS PARA AGUA
VALVULAS REDUTORAS DE PRESSÃO
E FILTROS PARA AGUA



1.05 - VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN Para gran caudal 1.05 - VÁLVULAS REDUTORAS DE PRESSÃO Para grande caudal

Válvula reductora pilotada baja presión
Válvula redutora pilotada baixa pressão

Para gran caudal de agua, hasta 70 °C
Para grande caudal de água, até 70 °C

DR300

Válvula reductora pilotada baja presión

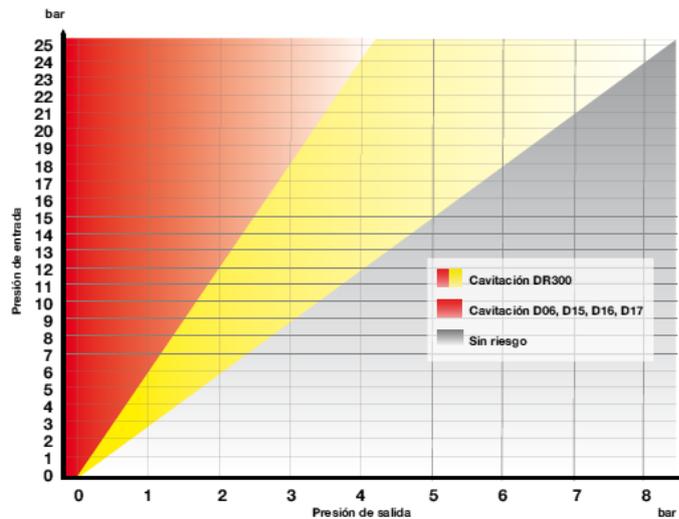
- Cuerpo de hierro fundido con bridas PN16 (disponible PN25)
- Presión de entrada 16 bar máx
- Presión de salida 1 - 12 bar

Válvula redutora pilotada baixa pressão

- Corpo de ferro fundido flangeado PN16 (disponível PN25)
- Pressão de entrada 16 bar máx
- Pressão de saída 1 - 12 bar

| Referencia | | | € | Embalaje |
|------------|----------|--------------|-----------|-----------|
| Referência | | | € | Embalagem |
| DR300-50A | DN = 50 | Kvs = 43,0 | 2.000,69 | 1 |
| DR300-65A | DN = 65 | Kvs = 43,0 | 2.257,67 | 1 |
| DR300-80A | DN = 80 | Kvs = 103,0 | 2.690,47 | 1 |
| DR300-100A | DN = 100 | Kvs = 167,0 | 2.984,91 | 1 |
| DR300-150A | DN = 150 | Kvs = 407,0 | 4.975,19 | 1 |
| DR300-200A | DN = 200 | Kvs = 676,0 | 7.351,47 | 1 |
| DR300-250A | DN = 250 | Kvs = 1160,0 | 12.251,75 | 1 |
| DR300-300A | DN = 300 | Kvs = 1600,0 | Consultar | 1 |
| DR300-350A | DN = 350 | Kvs = 1600,0 | Consultar | 1 |
| DR300-400A | DN = 400 | Kvs = 3300,0 | Consultar | 1 |
| DR300-450A | DN = 450 | Kvs = 3300,0 | Consultar | 1 |

Diagrama de riesgo de cavitación - Diagrama de risco de cavitação



- Determinar la presión máxima de la entrada del regulador
- Dibujar una línea horizontal a la presión de entrada deseada
- En el eje X para determinar la presión de salida deseada
- Dibujar una línea vertical a la presión de salida deseada
- La intersección de dos líneas proporciona una indicación sobre el riesgo de cavitación:

Para reductoras de presión de accionamiento directo (de la serie D06, D15, D16, D17)

- Si la intersección se encuentra en la parte amarilla o gris no hay riesgo de cavitación
- Si la intersección se encuentra en la parte roja, hay riesgo de cavitación

Para las válvula reductoras pilotadas (de la serie DR300)

- Si la intersección se encuentra en la parte gris no existe riesgo de cavitación
- Si la intersección se encuentra en la parte roja o amarilla, hay riesgo de cavitación

- Determinar a pressão máxima da temperatura de entrada no regulador
- Desenha uma linha horizontal à pressão de entrada desejada
- No eixo X para determinar a pressão de saída desejada
- Desenha uma linha vertical a pressão de saída desejada
- A interação de duas linhas proporciona uma indicação sobre o risco de cavitação

Para reductoras de pressão de accionamiento directo (da série D06, D15, D16, D17)

- Se a interação encontra-se na parte amarela ou cinza, não há risco de cavitação
- Se a interação encontra-se na parte vermelha, há risco de cavitação

Para reductoras pilotadas (da série DR300)

- Se a interação encontra-se na parte cinza, não existe risco de cavitação
- amarela, há risco de cavitação

1.13 - FILTROS EN "Y" ROSCADOS

1.13 - FILTROS EM "Y" ROSCADOS

Filtros en "Y" - De latón

Filtros em "Y" - De latão

FY30

Filtros en "Y" de latón

- Malla de 0,35 mm
- Rosca interna
- Presión máxima 16 bar (para vapor: 6 bar)
- Temperatura máxima 160 °C

Filtros em "Y" de latão

- Malha de 0,35 mm
- Rosca interna
- Pressão máxima 16 bar (para vapor: 6 bar)
- Temperatura máxima 160 °C

| Referencia | | € | Embalaje |
|------------|-------------------------|--------|-----------|
| Referência | | € | Embalagem |
| FY30-3/8A | R = 3/8" - Kvs = 2,1 | 20,43 | 1 |
| FY30-1/2A | R = 1/2" - Kvs = 3,8 | 22,40 | 1 |
| FY30-3/4A | R = 3/4" - Kvs = 7,1 | 29,16 | 1 |
| FY30-1A | R = 1" - Kvs = 11,6 | 39,18 | 1 |
| FY30-11/4A | R = 1 1/4" - Kvs = 17,2 | 59,11 | 1 |
| FY30-11/2A | R = 1 1/2" - Kvs = 24,0 | 83,87 | 1 |
| FY30-2A | R = 2" - Kvs = 40,0 | 148,55 | 1 |

Filtros en "Y" - De bronce

Filtros em "Y" - De bronze

FY32

Filtros en "Y" de bronce

- Malla de 0,25 mm
- Rosca interna
- Presión máxima 16 bar (para vapor: 4 bar)
- Temperatura máxima 150 °C

Filtros em "Y" de bronze

- Malha de 0,25 mm
- Rosca interna
- Pressão máxima 16 bar (para vapor: 4 bar)
- Temperatura máxima 150 °C

| Referencia | | € | Embalaje |
|------------|-------------------------|--------|-----------|
| Referência | | € | Embalagem |
| FY32-1/4C | R = 1/4" - Kvs = 1,4 | 18,74 | 1 |
| FY32-3/8C | R = 3/8" - Kvs = 1,65 | 19,76 | 1 |
| FY32-1/2C | R = 1/2" - Kvs = 3,8 | 22,74 | 1 |
| FY32-3/4C | R = 3/4" - Kvs = 6,12 | 29,39 | 1 |
| FY32-1C | R = 1" - Kvs = 9,6 | 39,85 | 1 |
| FY32-11/4C | R = 1 1/4" - Kvs = 18,6 | 56,34 | 1 |
| FY32-11/2C | R = 1 1/2" - Kvs = 25,2 | 95,87 | 1 |
| FY32-2C | R = 2" - Kvs = 40 | 103,30 | 1 |



1.14 - FILTROS EN "Y" BRIDAS

1.14 - FILTROS EM "Y" FLANGES

Filtro en "Y" - De hierro fundido

Filtro em "Y" - De ferro fundido

FY69P

Filtros en "Y" de hierro fundido

- Bridas PN16
- Malla de 0,50 mm
- Cubierta de acero con recubrimiento sintético interior y exterior, con filtro de doble malla de acero inoxidable
- Presión máxima 16 bar (para vapor: 4 bar)
- Temperatura máxima 150 °C

Filtros em "Y" de ferro fundido

- Flanges PN16
- Malha de 0,50 mm
- Cobertura de aço com revestimento sintético interior e exterior, com filtro de cobre malha de aço inoxidável
- Pressão máxima 16 bar (para vapor: 4 bar)
- Temperatura máxima 150 °C

| Referencia | | € | Embalaje |
|------------|----------------------|----------|-----------|
| Referência | | € | Embalagem |
| FY69P-65A | DN = 65 - Kvs = 107 | 200,99 | 1 |
| FY69P-80A | DN = 80 - Kvs = 151 | 249,89 | 1 |
| FY69P-100A | DN = 100 - Kvs = 190 | 312,00 | 1 |
| FY69P-125A | DN = 125 - Kvs = 297 | 555,01 | 1 |
| FY69P-150A | DN = 150 - Kvs = 378 | 781,04 | 1 |
| FY69P-200A | DN = 200 | 1.572,71 | 1 |



7.2 PRECIOS MASA tubos y sistemas



2014
2015 **Catálogo y**
Lista de Precios



an *Aliaxis* company

VÁLVULAS Y ACCESORIOS DE FUNDICIÓN



VÁLVULAS DE COMPUERTA DE ASIENTO ELÁSTICO CON BRIDAS PARA ACTUADORES ELÉCTRICOS

■ Serie 14 - PN16

Cuerpo y tapa de fundición dúctil EN-GJS-500-7
DIN EN 1563 (Equiv.GGG 50)
Homologada para Agua Potable según EN 1074- 1 y 2
Revestimiento de compuerta EPDM con marca CE
Recubrimiento epoxi ≥ 250 micras
Brida para acoplamiento de actuador según ISO 5210
Eje de acero inoxidable AISI 420
Disponible en PN10 y PN16
Opcional: Con eje en acero inoxidable AISI 303 +5%
Con eje en acero inoxidable AISI 316 L +10%



| Referencia | DN | €/Ud |
|--------------|-----|----------|
| 666040000005 | 40 | 164,03 |
| 666050000005 | 50 | 164,03 |
| 666060000005 | 60 | 209,74 |
| 666065000005 | 65 | 209,74 |
| 666080000005 | 80 | 222,70 |
| 666100000005 | 100 | 277,75 |
| 666125000005 | 125 | 382,49 |
| 666150000005 | 150 | 396,94 |
| 666200000005 | 200 | 729,61 |
| 666250000005 | 250 | 1.148,10 |
| 666300000005 | 300 | 1.677,81 |
| 666350000005 | 350 | 3.287,37 |
| 666400000005 | 400 | 4.304,82 |
| 666450000005 | 450 | 7.206,34 |
| 666500000005 | 500 | 7.808,54 |

También disponible en color rojo para saneamiento y aguas residuales
Cuerpo en fundición dúctil EN-GJS-500-7
DIN EN 1563 (Equiv.GGG 50)
Recubrimiento epoxi ≥ 250 micras
Eje en acero inoxidable AISI 316 L
Disponible en PN10 y PN16
Junta NBR con marca CE
PN10 y PN 16
Precio: +10% sobre tabla adjunta



■ Serie 14 - PN 16 CON ACTUADOR AUMA

Válvula con eje en acero inoxidable AISI 420 con Actuador Eléctrico Auma Norm Actuador Auma Trifásico CA, clase de aislamiento F, con tres termostatos, IP68
Opcional:
Con eje de acero inoxidable AISI 303 + 3%
Con eje de acero inoxidable AISI 316 + 6%
Disponible en PN10 y PN16



| Referencia | DN | CON ACTUADOR AUMA | |
|------------|-----|-------------------|-----------|
| | | €/Ud | €/Ud |
| 10725500A | 40 | 2.560,70 | 4.373,30 |
| 10725510A | 50 | 2.560,70 | 4.373,30 |
| 10725520A | 60 | 2.587,20 | 4.399,80 |
| 10725530A | 65 | 2.587,20 | 4.399,80 |
| 10725540A | 80 | 3.260,30 | 5.072,90 |
| 10725550A | 100 | 3.299,25 | 5.111,85 |
| 10725560A | 125 | 3.380,61 | 5.193,21 |
| 10725570A | 150 | 3.387,76 | 5.200,36 |
| CONSULTAR | 200 | 4.896,94 | 6.987,79 |
| CONSULTAR | 250 | 5.229,25 | 7.320,10 |
| CONSULTAR | 300 | 5.791,84 | 7.882,69 |
| CONSULTAR | 350 | 7.697,46 | 9.788,31 |
| CONSULTAR | 400 | 8.358,37 | 10.449,22 |
| CONSULTAR | 450 | 10.662,28 | 12.753,13 |
| CONSULTAR | 500 | 11.143,52 | 13.234,37 |

También disponible en color rojo para saneamiento y aguas residuales
Cuerpo en fundición dúctil EN-GJS-500-7
DIN EN 1563 (Equiv.GGG 50)
Recubrimiento epoxi ≥ 250 micras
Eje en acero inoxidable AISI 316 L
Disponible en PN10 y PN16
Junta NBR con marca CE
PN10 y PN 16
Precio: +10% sobre tabla adjunta



■ Serie 14 - PN 16 CON ACTUADOR DREHMO

Válvula con eje en acero inoxidable AISI 420 con Actuador Eléctrico Drehmo Standard Actuador Drehmo Trifásico CA, clase de aislamiento F, con tres termostatos, IP67
Opcional:
Con eje de acero inoxidable AISI 303 + 3%
Con eje de acero inoxidable AISI 316 + 6%
Disponible en PN10 y PN16



| Referencia | DN | CON ACTUADOR DREHMO | |
|------------|-----|---------------------|-----------|
| | | €/Ud | €/Ud |
| 10725500D | 40 | 2.741,35 | 5.020,61 |
| 10725510D | 50 | 2.741,35 | 5.020,61 |
| 10725520D | 60 | 2.787,43 | 5.066,69 |
| 10725530D | 65 | 2.787,43 | 5.066,69 |
| 10725540D | 80 | 3.593,27 | 5.872,53 |
| 10725550D | 100 | 3.648,07 | 5.927,33 |
| 10725560D | 125 | 3.752,69 | 6.031,96 |
| 10725570D | 150 | 3.767,64 | 6.046,90 |
| CONSULTAR | 200 | 5.376,82 | 7.867,82 |
| CONSULTAR | 250 | 5.822,71 | 8.313,71 |
| CONSULTAR | 300 | 6.352,05 | 8.843,05 |
| CONSULTAR | 350 | 8.628,82 | 11.119,82 |
| CONSULTAR | 400 | 9.673,80 | 12.164,80 |
| CONSULTAR | 450 | 12.575,81 | 15.066,81 |
| CONSULTAR | 500 | 13.177,39 | 15.668,39 |

También disponible en color rojo para saneamiento y aguas residuales
Cuerpo en fundición dúctil EN-GJS-500-7
DIN EN 1563 (Equiv.GGG 50)
Recubrimiento epoxi ≥ 250 micras
Eje en acero inoxidable AISI 316 L
Disponible en PN10 y PN16
Junta NBR con marca CE
PN10 y PN 16
Precio: +10% sobre tabla adjunta



Válvulas y Accesorios de Fundición

7.3 PRECIOS DANIELCOM

7.3.1 VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN DN 100



DANIELCOM EQUIPMENT SUPPLY S.A.

INTEGRANDO SOLUCIONES PARA EL FUTURO

DANIELCOM EQUIPMENT SUPPLY S.A.

RUC:179128877001

DIARIO EL TIEMPO N37-265 Y EL TELEGRAFO

Telf: 593-2-258425 - Fax: 593-2-258421

QUITO - ECUADOR

OFERTA ECONOMICA No.- ING-15-484-3

PARA: ING. SANTIAGO CHUQUIN

ATTN.: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA HIDRÁULICA Y MEDIO AMBIENTE

Fecha: 22-dic.-2015

VN.75.FR.09

Ene 06 Rev: 02

SIRVASE ENCONTRAR A CONTINUACION LA COTIZACION DE LO SIGUIENTE:

| ITEM | CANT. | UNID | DESCRIPCION | PRECIO UNIT. | VALOR TOTAL |
|--|-------|----------------|---|-----------------|-------------------|
| INSTALACION DE UNA (1) VALVULA VRP DN 100 | | | | | |
| 1 | 1,5 | DIA | CUADRILLA CIVIL Consta de: - Un (1) capataz civil. - Un (1) albañil. - Un (1) carpintero. - Un (1) fierro. - Un (1) plomero. - Un (3) obreros. | \$ 1.250,00 | \$ 1.875,00 |
| 2 | 1,5 | DIA | CUADRILLA MECANICA Consta de: - Un (1) tubero. - Un (1) Esmerilador. - Un (1) Ayudante. | \$ 1.200,00 | \$ 1.800,00 |
| 3 | 3 | DIA | SUPERVISOR MECANICO / CIVIL | \$ 270,00 | \$ 810,00 |
| 4 | 2 | EA | HAWLE SYNOFLEX BRIDA UNIVERSAL DN 100 Conexión autoblocante Ref. 7994 | \$ 798,07 | \$ 1.596,14 |
| 5 | 2 | EA | VALSUM JUNTA DIN-2690 PN-10/16 KLINGERSIL C-4430 - DN 100 | \$ 5,53 | \$ 11,05 |
| 6 | 16 | EA | STUD BOLT 5/8" x 3-3/4", W/2NUTS - FLUOROCARBON COATED, ASTM-A193 GR B7 / ASTM-A194 GR 2H | \$ 2,94 | \$ 47,00 |
| | | | | SUBTOTAL | \$6.139,19 |
| | | | | IVA 12% | \$736,70 |
| | | | | TOTAL | \$6.875,89 |
| 7 | 1 | m ³ | HORMIGON ARMADO (OPCIONAL SI EL CLIENTE LO REQUIERE) RESISTENCIA: 21 Mpa | \$ 900,00 | \$ 900,00 |
| 8 | 1 | EA | PRUEBA HIDROSTATICA (OPCIONAL SI EL CLIENTE LO REQUIERE) | \$ 5.000,00 | \$ 5.000,00 |
| 9 | 1 | DIA | CAMION GRUA 10 TONELADAS (OPCIONAL SI EL CLIENTE LO REQUIERE) | \$ 480,00 | \$ 480,00 |
| 10 | 1 | DIA | RETRO-EXCADADORA (OPCIONAL SI EL CLIENTE LO REQUIERE) | \$ 470,00 | \$ 470,00 |
| <p>VALIDEZ OFERTA: 30 Dias</p> <p>PLAZO ENTREGA: 3 Dias de trabajo en condiciones ideales (Nota 1). El lugar de trabajo debe brindar las mejores condiciones para iniciar los trabajos sin retrasos. No se considera el tiempo de importacion de los materiales. Si el cliente lo desea puede suministrar el material.</p> <p>FORMA DE PAGO: 50% Con la firma del contrato. 50% Con la liberacion de fiscalizacion del cliente.</p> | | | | | |

7.3.2 VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN DN 200



DANIELCOM EQUIPMENT SUPPLY S.A.
INTEGRANDO SOLUCIONES PARA EL FUTURO

DANIELCOM EQUIPMENT SUPPLY S.A.

RUC:179128877001

DIARIO EL TIEMPO N37-265 Y EL TELEGRAFO

Telf: 593-2-258425 - Fax: 593-2-258421

QUITO - ECUADOR

OFERTA ECONOMICA No.- ING-15-484-5

PARA: ING. SANTIAGO CHUQUIN

ATTN.: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA HIDRÁULICA Y MEDIO AMBIENTE

Fecha: 22-dic.-2015

VN.75.FR.09

Ene 06 Rev:02

SIRVASE ENCONTRAR A CONTINUACION LA COTIZACION DE LO SIGUIENTE:

| ITEM | CANT. | UNID | DESCRIPCION | PRECIO UNIT. | VALOR TOTAL |
|--|-------|----------------|---|-----------------|-------------------|
| INSTALACION DE UNA (1) VALVULA VRP DN 200 | | | | | |
| 1 | 1,5 | DIA | CUADRILLA CIVIL Consta de: - Un (1) capataz civil. - Un (1) albañil. - Un (1) carpintero. - Un (1) fierro. - Un (1) plomero. - Un (3) obreros. | \$ 1.250,00 | \$ 1.875,00 |
| 2 | 1,5 | DIA | CUADRILLA MECANICA Consta de: - Un (1) tubero. - Un (1) Esmerilador. - Un (1) Ayudante. | \$ 1.200,00 | \$ 1.800,00 |
| 3 | 3 | DIA | SUPERVISOR MECANICO / CIVIL | \$ 270,00 | \$ 810,00 |
| 4 | 2 | EA | HAWLE SYNOFLEX BRIDA UNIVERSAL DN 200 Conexión autoblocante Ref. 7994 | \$ 1.320,51 | \$ 2.641,03 |
| 5 | 2 | EA | VALSUM JUNTA DIN-2690 PN-10/16 KLINGERSIL C-4430 - DN 200 | \$ 14,66 | \$ 29,33 |
| 6 | 16 | EA | STUD BOLT 3/4" x 4-1/2", W/2NUTS - FLUOROCARBON COATED, ASTM-A193 GR B7 / ASTM-A194 GR 2H | \$ 4,48 | \$ 71,60 |
| | | | | SUBTOTAL | \$7.226,95 |
| | | | | IVA 12% | \$867,23 |
| | | | | TOTAL | \$8.094,19 |
| 7 | 1 | m ³ | HORMIGON ARMADO (OPCIONAL SI EL CLIENTE LO REQUIERE) RESISTENCIA: 21 Mpa | \$ 900,00 | \$ 900,00 |
| 8 | 1 | EA | PRUEBA HIDROSTATICA (OPCIONAL SI EL CLIENTE LO REQUIERE) | \$ 5.000,00 | \$ 5.000,00 |
| 9 | 1 | DIA | CAMION GRUA 10 TONELADAS (OPCIONAL SI EL CLIENTE LO REQUIERE) | \$ 480,00 | \$ 480,00 |
| 10 | 1 | DIA | RETRO-EXCABADORA (OPCIONAL SI EL CLIENTE LO REQUIERE) | \$ 470,00 | \$ 470,00 |
| <p>VALIDEZ OFERTA: 30 Dias</p> <p>PLAZO ENTREGA: 3 Dias de trabajo en condiciones ideales (Nota 1). El lugar de trabajo debe brindar las mejores condiciones para iniciar los trabajos sin retrasos. No se considera el tiempo de importacion de los materiales. Si el cliente lo desea puede suministrar el material.</p> <p>FORMA DE PAGO: 50% Con la firma del contrato. 50% Con la liberacion de fiscalizacion del cliente.</p> | | | | | |

7.3.3 VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN DN 300



DANIELCOM EQUIPMENT SUPPLY S.A.

INTEGRANDO SOLUCIONES PARA EL FUTURO

DANIELCOM EQUIPMENT SUPPLY S.A.

RUC:179128877001

DIARIO EL TIEMPO N37-265 Y EL TELEGRAFO

Telf: 593-2-258425 - Fax: 593-2-258421

QUITO - ECUADOR

OFERTA ECONOMICA No.- ING-15-484-7

PARA: ING. SANTIAGO CHUQUIN

ATTN.: UNIVERSIDAD POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA HIDRÁULICA Y MEDIO AMBIENTE

Fecha: 22-dic.-2015

VN.75 FR.09

Ene 06 Rev: 02

SIRVASE ENCONTRAR A CONTINUACION LA COTIZACION DE LO SIGUIENTE:

| ITEM | CANT. | UNID | DESCRIPCION | PRECIO UNIT. | VALOR TOTAL |
|--|-------|----------------|---|-----------------|-------------------|
| INSTALACION DE UNA (1) VALVULA VRP DN 300 | | | | | |
| 1 | 1,5 | DIA | CUADRILLA CIVIL Consta de: - Un (1) capataz civil. - Un (1) albañil. - Un (1) carpintero. - Un (1) fierrero. - Un (1) plomero. - Un (3) obreros. | \$ 1.250,00 | \$ 1.875,00 |
| 2 | 1,5 | DIA | CUADRILLA MECANICA Consta de: - Un (1) tubero. - Un (1) Esmerilador. - Un (1) Ayudante. | \$ 1.200,00 | \$ 1.800,00 |
| 3 | 3 | DIA | SUPERVISOR MECANICO / CIVIL | \$ 270,00 | \$ 810,00 |
| 4 | 2 | EA | HAWLE SYNOFLEX BRIDA UNIVERSAL DN 300 Conexión autoblocante Ref. 7994 | \$ 1.896,44 | \$ 3.792,88 |
| 5 | 2 | EA | VALSUM JUNTA DIN-2690 PN-10/16 KLINGERSIL C-4430 - DN 300 | \$ 24,44 | \$ 48,88 |
| 6 | 24 | EA | STUD BOLT 7/8" x 5", W/2NUTS - FLUOROCARBON COATED, ASTM-A193 GR B7 / ASTM-A194 GR 2H | \$ 6,26 | \$ 150,30 |
| | | | | SUBTOTAL | \$8.477,05 |
| | | | | IVA 12% | \$1.017,25 |
| | | | | TOTAL | \$9.494,30 |
| 7 | 1 | m ³ | HORMIGON ARMADO (OPCIONAL SI EL CLIENTE LO REQUIERE) RESISTENCIA: 21 Mpa | \$ 900,00 | \$ 900,00 |
| 8 | 1 | EA | PRUEBA HIDROSTATICA (OPCIONAL SI EL CLIENTE LO REQUIERE) | \$ 5.000,00 | \$ 5.000,00 |
| 9 | 1 | DIA | CAMION GRUA 10 TONELADAS (OPCIONAL SI EL CLIENTE LO REQUIERE) | \$ 480,00 | \$ 480,00 |
| 10 | 1 | DIA | RETRO-EXCADORA (OPCIONAL SI EL CLIENTE LO REQUIERE) | \$ 470,00 | \$ 470,00 |
| <p>VALIDEZ OFERTA: 30 Dias</p> <p>PLAZO ENTREGA: 3 Dias de trabajo en condiciones ideales (Nota 1). El lugar de trabajo debe brindar las mejores condiciones para iniciar los trabajos sin retrasos. No se considera el tiempo de importacion de los materiales. Si el cliente lo desea puede suministrar el material.</p> <p>FORMA DE PAGO: 50% Con la firma del contrato. 50% Con la liberacion de fiscalizacion del cliente.</p> | | | | | |



7.3.4 VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN DN 450



DANIELCOM EQUIPMENT SUPPLY S.A.

INTEGRANDO SOLUCIONES PARA EL FUTURO

DANIELCOM EQUIPMENT SUPPLY S.A.

RUC:179128877001

DIARIO EL TIEMPO N37-265 Y EL TELEGRAFO

Telf: 593-2-258425 - Fax: 593-2-258421

QUITO - ECUADOR

OFERTA ECONOMICA No.- ING-15-484-8

PARA: ING. SANTIAGO CHUQUIN

ATTN.: UNIVERSIDAD POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA HIDRÁULICA Y MEDIO AMBIENTE

Fecha: 22-dic.-2015

VN.75.FR.09

Ene 06 Rev: 02

SIRVASE ENCONTRAR A CONTINUACION LA COTIZACION DE LO SIGUIENTE:

| ITEM | CANT. | UNID | DESCRIPCION | PRECIO UNIT. | VALOR TOTAL |
|--|-------|----------------|---|-----------------|--------------------|
| INSTALACION DE UNA (1) VALVULA VRP DN 450 | | | | | |
| 1 | 1,5 | DIA | CUADRILLA CIVIL Consta de: - Un (1) capataz civil. - Un (1) albañil. - Un (1) carpintero. - Un (1) fierro. - Un (1) plomero. - Un (3) obreros. | \$ 1.250,00 | \$ 1.875,00 |
| 2 | 1,5 | DIA | CUADRILLA MECANICA Consta de: - Un (1) tubero. - Un (1) Esmerilador. - Un (1) Ayudante. | \$ 1.200,00 | \$ 1.800,00 |
| 3 | 3 | DIA | SUPERVISOR MECANICO / CIVIL | \$ 270,00 | \$ 810,00 |
| 4 | 2 | EA | HAWLE SYNOFLEX BRIDA UNIVERSAL DN 450 Conexión autoblocante Ref. 7994 | \$ 3.564,56 | \$ 7.129,13 |
| 5 | 2 | EA | VALSUM JUNTA DIN-2690 PN-10/16 KLINGERSIL C-4430 - DN 450 | \$ 42,25 | \$ 84,50 |
| 6 | 32 | EA | STUD BOLT 1-1/8" x 6", W/2NUTS - FLUOROCARBON COATED, ASTM-A193 GR B7 / ASTM-A194 GR 2H | \$ 11,76 | \$ 376,40 |
| | | | | SUBTOTAL | \$12.075,03 |
| | | | | IVA 12% | \$1.449,00 |
| | | | | TOTAL | \$13.524,03 |
| 7 | 1 | m ³ | HORMIGON ARMADO (OPCIONAL SI EL CLIENTE LO REQUIERE) RESISTENCIA: 21 Mpa | \$ 900,00 | \$ 900,00 |
| 8 | 1 | EA | PRUEBA HIDROSTATICA (OPCIONAL SI EL CLIENTE LO REQUIERE) | \$ 5.000,00 | \$ 5.000,00 |
| 9 | 1 | DIA | CAMION GRUA 10 TONELADAS (OPCIONAL SI EL CLIENTE LO REQUIERE) | \$ 480,00 | \$ 480,00 |
| 10 | 1 | DIA | RETRO-EXCABADORA (OPCIONAL SI EL CLIENTE LO REQUIERE) | \$ 470,00 | \$ 470,00 |
| <p>VALIDEZ OFERTA: 30 Dias</p> <p>PLAZO ENTREGA: 3 Dias de trabajo en condiciones ideales (Nota 1). El lugar de trabajo debe brindar las mejores condiciones para iniciar los trabajos sin retrasos. No se considera el tiempo de importacion de los materiales. Si el cliente lo desea puede suministrar el material.</p> <p>FORMA DE PAGO: 50% Con la firma del contrato. 50% Con la liberacion de fiscalizacion del cliente.</p> | | | | | |