

Trabajo Fin de Máster

ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA RED DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CABECERA CANTONAL DEL CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO, ECUADOR.

Intensificación: *HIDRÁULICA URBANA*

Autor:

MARÍA GABRIELA ZÚÑIGA RODRÍGUEZ

Tutor:

DR. F. JAVIER MARTÍNEZ SOLANO

Cotutor:

DR. PEDRO L. IGLESIAS REY

FEBRERO, 2019



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto

Título del TFM en español: Análisis y diagnóstico de la red del sistema de Agua Potable de la cabecera cantonal del Cantón Guano, Provincia de Chimborazo, Ecuador.

Título del TFM en inglés: Analysis and diagnosis of the Drinking Water system network in canton Guano, Province of Chimborazo, Ecuador.

Título del TFM en Valenciano: Anàlisi i diagnòstic de la xarxa del sistema d'aigua potable de la capçalera cantonal de l'Canton Guano, Província de Chimborazo, Equador.

Alumno: MARÍA GABRIELA ZÚÑIGA RODRÍGUEZ.

Tutor: DR. F. JAVIER MARTÍNEZ SOLANO.

Cotutor: DR. PEDRO L. IGLESIAS REY.

Director experimental:

Fecha de Lectura: FEBRERO, 2019

Resumen

En español

El Cantón Guano se localiza en el centro del Altiplano Andino del Ecuador, al norte de la provincia de Chimborazo. La cabecera cantonal se asienta sobre los 2720 m.s.n.m., posee un clima templado con una media de 18°C. Para el año 2018 se determina una población aproximada de 11.500 habitantes en base a los datos obtenidos del catastro urbano del municipio de la localidad.

El sistema actual de agua potable fue construido hace más de 50 años, el mismo que ha sido ampliado y mejorado en varias ocasiones por parte de la jefatura de agua potable de la municipalidad.

El agua de suministro proviene de los glaciares del nevado Chimborazo, es captada desde 3 distintas vertientes superficiales ubicadas a una altura promedio de los 3000 msnm. Debido a la topografía montañosa del sector, la conducción hacia los tanques reservorios y la de distribución del sistema se realiza por gravedad.

Existen dos conducciones, la conducción principal tiene una longitud de 7.84 km y llega hasta el tanque reservorio desde el que se realiza la distribución principal a la ciudad y la conducción secundaria de 6.57 km que abastece a los barrios altos de la ciudad. La conducción del sistema está construida con tubería de PVC entre una gama de diámetros de 110 mm, 160mm, 200 mm y 250mm.

El sistema se compone por 3 tanques reservorios, cada uno de ellos distribuye el agua hacia las partes alta, media y baja de la población, respectivamente.

La red de distribución de agua potable está conformada por 30 km de tubería, con diámetros desde 63 mm, 90mm, 110mm, 160mm y 200mm, el material de la tubería de la red de distribución es de PVC.

El servicio de agua potable en la zona de estudio es continuo, es decir los habitantes tienen disponible las 24 horas del día.

La normativa vigente en el país establece que la presión mínima debe ser mayor a los 10 mca y la presión máxima dinámica no debe ser superior a los 50 mca. Se evidencia en el modelo matemático que un 21% de presiones se encuentran bajo el límite permitido y un 38% superan el límite máximo. Datos que han sido corroborados mediante pruebas de campo realizadas en las zonas afectadas.

Esta problemática de presiones genera graves daños al sistema. Las altas y bajas presiones en el suministro de agua influyen en el deterioro de la red, en la cantidad de agua fugada así como en la calidad de la misma. Se realizará la estimación de fugas de la red para incluirlas en el modelo matemático.

La red cuenta con pocas válvulas de regulación distribuidas a lo largo del sistema, las cuales no se encuentran en funcionamiento. De igual manera las válvulas de seccionamiento debido a su mal estado, provocan que al momento de producirse alguna avería, el servicio de agua sea suspendido en su totalidad para atender las reparaciones de la red.

La tarifa base del servicio de agua potable es de \$ 2.87 mensuales, en tanto el costo promedio de la tarifa mensual que pagan los usuarios por el servicio de agua es de \$3.35, siendo este un valor muy bajo para que el sistema de agua potable sea sostenible.

La metodología que se plantea para la ejecución del trabajo es la siguiente:

- Análisis y diagnóstico usando el modelo matemático del sistema.
- Mejora del modelo matemático.
- Gestión de las presiones del sistema.
- Gestión de las velocidades.
- Sectorización de la red.
- Instalación de valvulería (reductoras y limitadoras)
- Estudio de la conducción del sistema (transitorio).
- Instalación y cambio de elementos del sistema. (tubería y válvulas).

En valenciano

El Cantó Guano es localitza en el centre de l'Altiplano Andino de l'Equador, al nord de la província de Chimborazo. La capçalera cantonal s'assenta sobre els 2720 m.s.n.m., posseeix un clima temperat amb una mitjana de 18 ° C. Per a l'any 2018 es determina una població aproximada de 11.500 habitants en base a les dades obtingudes del cadastre urbà del municipi de la localitat.

El sistema actual d'aigua potable va ser construït fa més de 50 anys, el mateix que ha estat ampliat i millorat en diverses ocasions per part de la prefectura d'aigua potable de la municipalitat.

L'aigua de subministrament prové de les glaceres del nevat Chimborazo, és captada des de 3 diferents vessants superficials situades a una altura mitjana dels 3000 msnm. A causa de la topografia muntanyosa del sector, la conducció cap als tancs reservoris i la de distribució del sistema es realitza per gravetat.

Hi ha dues conduccions, la conducció principal té una longitud de 7.84 km i arriba fins al tanc reservori des del qual es realitza la distribució principal a la ciutat i la conducció secundària de 6.57 km que proveeix als barris alts de la ciutat. La conducció del sistema està construïda amb canonada de PVC entre una gamma de diàmetres de 110 mm, 160mm, 200 mm i 250 mm.

El sistema es compon per 3 tancs reservoris, cadascun d'ells distribueix l'aigua cap a les parts alta, mitjana i baixa de la població, respectivament.

La xarxa de distribució d'aigua potable està conformada per 30 km de canonada, amb diàmetres des de 63 mm, 90 mm, 110mm, 160mm i 200mm, el material de la canonada de la xarxa de distribució és de PVC.

El servei d'aigua potable a la zona d'estudi és continu, és a dir els habitants tenen disponible les 24 hores del dia.

La normativa vigent al país estableix que la pressió mínima ha de ser major als 10 mca i la pressió màxima dinàmica no ha de ser superior als 50 mca. S'evidencia en el model matemàtic que un 21% de pressions es troben sota el límit permès i un 38% superen el límit màxim. Dades que han estat corroborats mitjançant proves de camp realitzades en les zones afectades.

Aquesta problemàtica de pressions genera greus danys al sistema. Les altes i baixes pressions en el subministrament d'aigua influeixen en el deteriorament de la xarxa, en la quantitat d'aigua fugada així com en la qualitat de la mateixa. Es realitzarà l'estimació de fuites de la xarxa per incloure-les al model matemàtic.

La xarxa compta amb poques vàlvules de regulació distribuïdes al llarg del sistema, les quals no es troben en funcionament. De la mateixa manera les vàlvules de seccionament causa del seu mal estat, provoquen que al moment de produir-se alguna avaria, el servei d'aigua sigui suspès en la seva totalitat per atendre les reparacions de la xarxa.

La tarifa base del servei d'aigua potable és de \$ 2.87 mensuals, en tant el cost mitjà de la tarifa mensual que paguen els usuaris pel servei d'aigua és de \$ 3.35, d'aquesta manera un valor molt baix perquè el sistema d'aigua potable sigui sostenible.

La metodologia que es planteja per a l'execució del treball és la següent:

- Anàlisi i diagnòstic usant el model matemàtic del sistema.
- Millora del model matemàtic.
- Gestió de les pressions del sistema.

- Gestió de les velocitats.
- Sectorització de la xarxa.
- Instal·lació de valvuleria (reductores i limitadores)
- Estudi de la conducció del sistema (transitori).
- Instal·lació i canvi d'elements del sistema. (Canonada i vàlvules).

En inglés

Canton Guano is located in the center of the Andean Altiplano of Ecuador, north of the province of Chimborazo. The cantonal head sits on 2720 m.s., has a temperate climate with an average of 18 ° C. For the year 2018, an approximate population of 11,500 inhabitants is determined based on the data obtained from the urban cadastre of the municipality of the town.

The current drinking water system was built more than 50 years ago, the same one that has been extended and improved several times by the municipality's drinking water headquarters.

The supply water comes from the glaciers of the Chimborazo mountain, it is captured from 3 different surface slopes located at an average altitude of 3000 meters above sea level. Due to the mountainous topography of the sector, the conduction towards the reservoir tanks and the distribution of the system is done by gravity.

There are two pipelines, the main conduit has a length of 7.84 km and reaches the reservoir tank from which the main distribution is made to the city and the secondary conduit of 6.57 km that supplies the upper districts of the city. The conduction of the system is constructed with PVC pipe between a range of diameters of 110 mm, 160 mm, 200 mm and 250 mm.

The system consists of 3 reservoir tanks, each of which distributes the water to the upper, middle and lower parts of the population, respectively.

The potable water distribution network is made up of 30 km of pipe, with diameters from 63 mm, 90 mm, 110 mm, 160 mm and 200 mm, the material of the distribution network pipe is made of PVC.

The drinking water service in the study area is continuous, that is, the inhabitants are available 24 hours a day.

The regulations in force in the country establish that the minimum pressure must be greater than 10 mca and the maximum dynamic pressure must not exceed 50 mca. It is evident in the mathematical model that 21% of pressures are below the allowed limit and 38% exceed the maximum limit. Data that have been corroborated by field tests carried out in the affected areas.

This problem of pressures generates serious damage to the system. The high and low pressures in the water supply influence the deterioration of the network, the amount of water leaked as well as the quality of it. The leakage estimation of the network will be carried out to include them in the mathematical model.

The network has few regulation valves distributed throughout the system, which are not in operation. Likewise, the isolating valves due to their poor condition, cause that at the time of any breakdown, the water service is suspended in its entirety to meet the repairs of the network.

The base rate of the potable water service is \$ 2.87 per month, while the average cost of the monthly fee paid by users for water service is \$ 3.35, this being a very low value for the drinking water system to be sustainable.

The methodology that is proposed for the execution of the work is the following:

- Analysis and diagnosis using the mathematical model of the system.
- Improvement of the mathematical model.
- Management of system pressures.
- Speed management.
- Sectorization of the network.
- Installation of valves (reducers and limiters)
- Study of the conduction of the system (transitory).
- Installation and change of system elements. (pipe and valves).

Palabras clave español: Conducción, red de abastecimiento, control de presiones, EPANET.

Palabras clave valenciano: Conducció, xarxa de proveïment, control de pressions, EPANET.

Palabras clave inglés: Conduction, water supply network, pressure control, EPANET.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento por la culminación de este Trabajo de Fin de Máster, en primer lugar a Dios y a la Virgencita Auxiliadora, por la vida y por todo su amor eterno.

A mi familia, que a pesar de la distancia, siempre fueron mi fortaleza y apoyo incondicional en todo momento. Especialmente a mis padres, Moni y Byron, gracias por el ejemplo y todas sus enseñanzas, me han sido de mucha ayuda en toda esta experiencia.

Agradezco de corazón a mis abuelitos Tillita y Papu, por sus consejos y su interminable amor; a mis hermanos, Ma. José y José Gabriel, que siempre han estado presentes; a Paúl, gracias por todo este tiempo compartido y por ser la mejor compañía de vida. Les amo.

Agradezco a la Universidad Politécnica de Valencia y al Máster de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente por haberme abierto las puertas a esta gran oportunidad de aprender junto a grandes profesionales; además me gustaría darles las gracias a mis tutores J. Martínez S. y P. Iglesias Rey, por su valiosa ayuda a lo largo de toda la carrera y en especial en la elaboración del presente trabajo.

Muchas gracias a todos.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	- 1 -
I. INTRODUCCIÓN.....	2
II. ANTECEDENTES	3
III. OBJETIVOS.....	4
CAPÍTULO II: ZONA DE ESTUDIO.....	5
2.1 ZONA DE ESTUDIO	6
2.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	6
2.1.2. TOPOGRAFÍA.....	7
2.1.3. DEMOGRAFÍA.....	7
2.1.4. CLIMATOLOGÍA	8
2.2. DESCRIPCIÓN RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE CANTÓN GUANO ..	9
2.2.1 INTRODUCCIÓN.....	9
2.2.2. ELEMENTOS SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	11
2.3. PROBLEMÁTICA ABASTECIMIENTO DE AGUA	15
2.4. BALANCE HÍDRICO DE LA RED	17
2.4.1. VOLÚMENES DE AGUA INYECTADA	17
2.4.2. VOLÚMENES DE AGUA REGISTRADA	18
2.4.3. VOLUMEN DE AGUA INCONTROLADA	19
2.5. RENDIMIENTOS DE LA RED DE ABASTECIMIENTO	20
2.5.1. RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO DEL SISTEMA	20
2.5.2. RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO SECTORES.....	21
CAPÍTULO III: MODELO MATEMÁTICO.....	23
3. MODELO MATEMÁTICO DE LA RED	24
3.1. INTRODUCCIÓN	24
3.2. PROCEDIMIENTO OBTENCIÓN DE MODELO	24
3.2.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	25
3.2.2. REVISIÓN DE DATOS MODELO ACTUAL	25
3.2.3 MODULACIÓN DE LA DEMANDA	29
3.2.4. ESTIMACIÓN DE VOLUMEN CONSUMIDO NO FACTURADO Y CAUDAL FUGADO.....	31
3.2.2.5. CÁLCULO DEL COEFICIENTE EMISOR – REPRESENTACIÓN DE FUGAS	34
3.2.6. VALIDACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO	36

CAPÍTULO IV: DIAGNÓSTICO SISTEMA ACTUAL, ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	41
4. DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE GUANO.	42
4.1. ESTUDIO DE PRESIONES Y VELOCIDADES.....	42
4.1.1 DIAGNÓSTICO SECTOR BARRIOS ALTOS.....	44
4.1.2 DIAGNÓSTICO SECTOR LLUSHI.....	47
4.1.3 DIAGNÓSTICO SECTOR LA INMACULADA.....	51
4.2 ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN HORARIA DE CAUDALES DURANTE 24 HORAS.....	54
4.3 ANÁLISIS BALANCE HÍDRICO TÉCNICO DE LA RED.....	55
4.3.1 BALANCE HÍDRICO SEGÚN LA IWA.....	57
4.4 ANÁLISIS COSTES DEL AGUA Y TARIFACIÓN.....	59
CAPÍTULO V: MEJORAS AL SISTEMA.....	63
5. PROPUESTA DE MEJORAS AL SISTEMA.....	64
5.1 GESTIÓN DE PRESIONES EN LA RED.....	64
5.1.1. SOLUCIÓN PRESIONES BAJAS EN EL SISTEMA.....	65
5.1.2 SOLUCIÓN PRESIONES ELEVADAS EN EL SISTEMA.....	69
5.2 RESULTADOS DE MEJORAS EN SISTEMA DE AGUA POTABLE.....	74
5.2.1 MEJORAS PRESIONES DEL SISTEMA.....	74
5.2.2 MEJORAS VELOCIDADES DEL SISTEMA.....	75
5.3 GESTIÓN DE FUGAS EN EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.....	76
5.3.1. CONTROL ACTIVO DE FUGAS.....	76
5.4 RESULTADO DEL RENDIMIENTO TRAS GESTIONAR PRESIONES.....	78
5.5 RESULTADO BALANCE HÍDRICO TÉCNICO CON GESTIÓN DE PRESIONES.....	79
5.6 UNIFORMIDAD DE PRESIONES.....	82
5.7 RESULTADO DE EVALUACIÓN ECONÓMICA TRAS GESTIONAR PRESIONES.....	83
CAPÍTULO VI: CÁLCULO IMPULSIÓN.....	87
INTRODUCCIÓN.....	88
6.1 PERFIL LÍNEA DE IMPULSIÓN.....	88
6.2 SELECCIÓN DE LA BOMBA PARA LA INSTALACIÓN.....	88
6.3 CÁLCULO TRANSITORIO DE LA LÍNEA DE IMPULSIÓN.....	93
6.3.1 DETERMINACIÓN DE LA INERCIA Y CELERIDAD.....	93
6.3.2 CÁLCULO DE LA CELERIDAD.....	94
6.4 MODELACIÓN DE LA IMPULSIÓN EN EL SOFTWARE ALLIEVI.....	95
6.4.1 FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN EN RÉGIMEN PERMANENTE.....	96



6.4.2 ANÁLISIS DEL TRANSITORIO ORIGINADO POR LA PARADA DEL GRUPO DE BOMBEO.	97
6.4.3 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA FRENTE A TRANSITORIOS HIDRÁULICOS.....	97
6.5 SELECCIÓN Y DISEÑO DE ELEMENTO DE PROTECCIÓN.....	99
6.6 DIMENSIONAMIENTO DEPÓSITO DE REGULACIÓN.	101
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
7.1 CONCLUSIONES.....	106
7.2 RECOMENDACIONES.....	107
7.3 INDICIOS DE CALIDAD.....	107
CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
ANEXOS.....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cobertura servicios básicos, cantón Guano (INEC, Censo 2010).....	3
Tabla 2: Datos de ubicación geográfica de las fuentes de suministro.	11
Tabla 3: Descripción captaciones de agua.....	11
Tabla 4: Características de las conducciones del sistema.....	12
Tabla 5: Ubicación geográfica y características depósitos de agua.....	13
Tabla 6: Longitud de tubería de distribución por sector.	15
Tabla 7: Longitud de tuberías según el diámetro de instalación, red de distribución. ..	15
Tabla 8: Volúmenes mensuales inyectados.....	18
Tabla 9: Descripción de área, abonados y caudales por sector.	18
Tabla 10: Caudales registrados mensuales del sistema de agua potable.	19
Tabla 11: Caudales por sector.	19
Tabla 12: Rendimiento del sistema de agua potable.	20
Tabla 13: Volúmenes anuales abastecimiento.	20
Tabla 14: Número de usuarios y habitantes ciudad Guano.....	26
Tabla 15: Reporte usuarios, volumen y monto recaudado Septiembre 2018.....	26
Tabla 16: Demanda poblacional cantón Guano.....	26
Tabla 17: Demanda de caudal por sector.....	26
Tabla 18: Dotación media según número de habitantes y clima.	27
Tabla 19: Datos de curva de modulación de la demanda.....	30
Tabla 20: Dotaciones para edificaciones de uso específico (Fuente: NEC-2011).	31
Tabla 21: Volumen no facturado instituciones educativas.....	32
Tabla 22: Volumen no facturado municipio del cantón.	32
Tabla 23: Volumen no facturado cuarteles.	32
Tabla 24: Volumen no facturado hospitales e instituciones de servicio de salud.	32
Tabla 25: Volumen no facturado cementerio municipal.	32
Tabla 26: Volumen no facturado mercados.	33
Tabla 27: Volumen no facturado estadios.....	33
Tabla 28: Datos iniciales de la red.	33
Tabla 29: Iteraciones coeficiente emisor, representación de fugas.....	37
Tabla 30: Cálculo representación de caudal fugado en el sistema.	38
Tabla 31: Evolución horaria de caudales durante 24 horas.....	54
Tabla 32: Datos iniciales para balance hídrico técnico.....	56
Tabla 33: Rendimientos volumétricos red inicial.....	56
Tabla 34: Valoración rendimientos volumétricos.	57
Tabla 35: Datos iniciales balance hídrico IWA.	58
Tabla 36: Cálculo índice de fugas estructurales.....	59
Tabla 37: Montos recaudados por servicio de agua potable Marzo-Septiembre 2018. 59	
Tabla 38: Volúmenes y costes anuales de agua.....	60
Tabla 39: Listado válvulas reductoras de presión.	72
Tabla 40: Resultados red tras gestión de presiones.....	78

Tabla 41: Resultados rendimientos volumétricos.....	78
Tabla 42: Comparación 2 escenarios balance hídrico.	79
Tabla 43: Uniformidad de presiones.....	82
Tabla 44: Evaluación económica con gestión de presiones del sistema.	83
Tabla 45: Nueva tarifación (Jefatura Agua Potable GADMG)	84
Tabla 46: Datos básicos de la instalación.	89
Tabla 47: Resultados cálculo caudal y altura de bombeo.....	89
Tabla 48: Datos básicos de la bomba alternativa 1.....	90
Tabla 49: Datos básicos de la bomba alternativa 2.....	91
Tabla 50: Determinación inercia de la bomba.....	94
Tabla 51: Cálculo celeridad	95
Tabla 52: Características calderín a instalar.	100
Tabla 53: Cálculo calderín.	100
Tabla 54: Parámetros iniciales diseño depósito de regulación.	102
Tabla 55: Diseño depósito de regulación.	103
Tabla 56: Dimensiones depósito de regulación.....	103
Tabla 57: Presupuesto referencial VRP.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 58: Presupuesto referencial línea de impulsión y depósito de regulación. ...	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica cantón Guano.	6
Figura 2: Mapa de contorno de elevaciones en la zona de estudio.	7
Figura 3: Fotografía aérea de Guano, (Fuente: Google Earth).	7
Figura 4: Rama de actividades en la población.....	8
Figura 5: Configuración de los 3 sectores de abastecimiento en la ciudad.	9
Figura 6: Esquema de implantación de sistema de agua potable del cantón Guano. .	10
Figura 7: Esquema de las captaciones del abastecimiento de agua.....	11
Figura 8: Depósito de regulación sector Barrios Altos.	13
Figura 9: Depósito de regulación sector Lluishi.	13
Figura 10: Depósito de regulación La Inmaculada.	14
Figura 11: Sectorización del sistema de agua potable actual.	14
Figura 12: Sectorización de servicio de agua cantón Guano.	18
Figura 13: Volúmenes anuales abastecimiento.	21
Figura 14: Volúmenes anuales por sectores.....	21
Figura 15: Procedimientos para modelo matemático.....	24
Figura 16: Dotación poblacional promedio semestral varias ciudades..	27
Figura 17: Información líneas de la red del sistema de agua potable.	28
Figura 18: Representación líneas software EPANET.	28
Figura 19: Representación válvulas modelo inicial.	29
Figura 20: Representación adecuada válvulas EPANET.....	29
Figura 21: Curva de modulación de la demanda.	30

Figura 22: Evolución de caudales 24 horas.	34
Figura 23: Cálculo coeficiente emisor, Germanopoulos.....	35
Figura 24: Diagrama de flujo validación modelo matemático.	37
Figura 25: Reporte caudal inyectado Lluishi.....	39
Figura 26: Reporte caudal inyectado Barrios Altos.....	39
Figura 27: Reporte caudal inyectado La Inmaculada.	39
Figura 28: Resultados caudal, modelo matemático.....	42
Figura 29: Normativa utilizada evaluación presiones y velocidades.	43
Figura 30: Implantación red en sector Barrios Altos.....	44
Figura 31: Representación cotas Barrios Altos.....	44
Figura 32: Presiones mínimas y máximas sector Barrios Altos.....	45
Figura 33: Velocidades mínimas y máximas sector Barrios Altos.....	45
Figura 34: Caudal medio diario en sector Barrios Altos.....	46
Figura 35: Caudal inyectado depósito de regulación de los Barrios Altos.....	46
Figura 36: Caudal inyectado por tanque rompe presión de los Barrios Altos.....	46
Figura 37: Pérdidas unitarias Barrios Altos.....	47
Figura 38: Distribución de pérdidas unitarias Barrios Altos.....	47
Figura 39: Implantación red de agua potable, sector Lluishi.....	48
Figura 40: Representación cotas Lluishi.....	48
Figura 41: Presiones mínimas y máximas sector Lluishi.....	49
Figura 42: Velocidades mínimas y máximas sector Lluishi.....	49
Figura 43: Caudal medio diario sector Lluishi.....	50
Figura 44: Caudal inyectado depósito de regulación Lluishi.....	50
Figura 45: Pérdidas unitarias sector Lluishi.....	50
Figura 46: Distribución de pérdidas unitarias sector Lluishi.....	51
Figura 47: Implantación red sector La Inmaculada.....	51
Figura 48: Representación cotas sector La Inmaculada.....	51
Figura 49: Presiones mínimas y máximas sector La Inmaculada.....	52
Figura 50: Velocidades mínimas y máximas sector La Inmaculada.....	52
Figura 51: Caudal medio diario sector La Inmaculada.....	53
Figura 52: Caudal inyectado tanque de regulación La Inmaculada.....	53
Figura 53: Pérdidas unitarias sector La Inmaculada.....	53
Figura 54: Distribución de pérdidas unitarias sector La Inmaculada.....	54
Figura 55: Evolución caudales a lo largo de 24 horas.....	55
Figura 56: Balance hídrico técnico.....	56
Figura 57: Volúmenes anuales de agua.....	60
Figura 58: Costes anuales de agua.....	61
Figura 59: Actividades para la gestión de fugas. (Fuente: IWA).....	64
Figura 60: Acciones a realizar para regular presiones y fugas.....	65
Figura 61: Zonas con presencia de presiones bajas.....	66
Figura 62: Propuesta de sectorización La Inmaculada.....	66
Figura 63: Implantación nuevo depósito de regulación y línea de impulsión.....	67
Figura 64: Implantación línea de conducción y depósito en EPANET.....	67
Figura 65: Perfil línea de impulsión.....	68

Figura 66: Presiones mínimas sector La Inmaculada	68
Figura 67: Válvulas reguladoras de presión (VRP), en un sistema de agua potable.	69
Figura 68: Propuesta de colocación de VRP en la red, ciudad de Guano.	70
Figura 69: Mejora sectorización Barrios Altos.	70
Figura 70: Sectorización por pisos de presión Lluishi.....	71
Figura 71: Ubicación VRP La Inmaculada	72
Figura 72: Ubicación VRP Barrios Altos.	73
Figura 73: Ubicación VRP Lluishi.....	73
Figura 74: Presiones mínimas con VRP instaladas	74
Figura 75: Presiones máximas con VRP instaladas	74
Figura 76: Velocidades mínimas con VRP.....	75
Figura 77: Velocidades máximas con VRP.	75
Figura 78: Correlador acústico.	77
Figura 79: Geófono.....	77
Figura 80: Volúmenes anuales sistema con gestión de presiones.	79
Figura 81: Evolución caudales con gestión de presiones.....	80
Figura 82: Comparación caudales inyectados y fugados tras gestión presiones.....	80
Figura 83: Comparación presiones del sistema.	81
Figura 84: Costes anuales de agua con gestión de presiones.	83
Figura 85: Resultado de volúmenes y costes con gestión de presiones.	85
Figura 86: Resultados mejora en la tarifa.....	85
Figura 87: Perfil línea de impulsión.	88
Figura 88: Selección de la bomba alternativa 1.	90
Figura 89: Curvas características de la bomba alternativa 1.	91
Figura 90: Selección de la bomba alternativa 2.	92
Figura 91: Curvas características de la bomba alternativa 2.	92
Figura 92: Dimensiones equipo de bombeo.....	94
Figura 93: Representación modelo software Allievi.	95
Figura 94: Datos de ingreso representación modelo.	96
Figura 95: Simulación r�dimen permanente.	96
Figura 96: Gráfico de envolventes de presión del sistema.	97
Figura 97: Elemento de protección en la instalación.	99
Figura 98: Nivel de llenado y vaciado calderín.	100
Figura 99: Envolventes de presión con elemento de protección.	101
Figura 100: Volumen útil depósito de regulación.	102
Figura 101: Curva de modulación para diseño.	102
Figura 102: Variación volumen depósito nuevo La Inmaculada.	104
Figura 103. Coste mínimo de un depósito por m3 (Riba Genesca, 2005).....	104
Figura 104: Parámetro de diseño de válvulas.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 105: Catálogo de diseño de válvulas.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 106: Análisis de caliad de agua captación.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 107: Cálculo de calidad de agua en la red.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 108: Análisis de calidad de agua en depósito de regulación.	¡Error! Marcador no definido.



ESTRUCTURA DEL TRABAJO

Se realiza una breve descripción de los capítulos que conforman este trabajo a fin de cumplir los objetivos planteados.

- **CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN:** en este capítulo se encontrará la información introductoria del presente trabajo, se establecerán los objetivos a cumplir, así como una descripción de los antecedentes de la zona en estudio.
- **CAPÍTULO II - ZONA DE ESTUDIO:** es necesario conocer las características principales de la zona donde se realizará el trabajo, de esta manera se logrará obtener una visión clara de los aspectos más relevantes de la población y sus necesidades. Así como, también se recolectarán datos importantes para la elaboración del modelo matemático y balance hídrico.
- **CAPÍTULO III - MODELO MATEMÁTICO:** el municipio cuenta con el modelo matemático de la red de distribución de agua potable con los datos actuales del sistema. Será necesario revisar el modelo matemático existente el cual se encuentra en el software Epanet 2.0.

Una vez revisado el modelo matemático se verificarán los consumos correspondientes a los abonados. Es necesario modelar un patrón de consumo que se asemeje a la variación del consumo de la población.

CÁLCULO DE FUGAS EN EL SISTEMA: se cargará al sistema coeficientes emisores que simulen las fugas dependientes de la presión, esto se debe a que el sistema presenta graves problemas de presiones y es muy útil que éstas se encuentren bien representadas en el modelo.

VALIDACIÓN MODELO MATEMÁTICO: para conseguir que el modelo matemático simule de una manera correcta la realidad es necesario realizar la validación del modelo. Se tienen datos de presiones medidas in situ, así como datos de volúmenes inyectados al sistema de tal manera se realizarán ajustes de los factores que intervienen en el modelo hasta que se llegue a obtener un modelo similar a la realidad.

- **CAPÍTULO IV - DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA:** una vez que el modelo se encuentre calibrado se realizará un diagnóstico del abastecimiento y se identificarán los sectores que presentan problemas y verificar el estado actual

que muestra el sistema en estudio. Se analizarán varias alternativas de solución a los problemas que se identifiquen a lo largo de la elaboración del mismo.

- **CAPÍTULO V - MEJORAS AL SISTEMA:** con la identificación de los problemas principales que se encuentren con el diagnóstico y análisis de la red, se plantearán diversas soluciones a los problemas analizados hasta que se lleguen a cumplir los objetivos establecidos.
- **CAPÍTULO VI – CÁLCULO IMPULSIÓN:** una de las propuestas de mejora se basa en la implantación de un sistema de impulsión a un nuevo tanque de distribución. En este capítulo se detalla cada una de las actuaciones a seguir para la selección del equipo de bombeo así como, el cálculo del transitorio provocado por el paro de la bomba y el dimensionado del equipo de protección para dicho problema.
- **CAPÍTULO VII - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:** en este apartado se recopilarán las conclusiones obtenidas a lo largo de la realización del trabajo y cada una de las recomendaciones que mejorar en el sistema de abastecimiento en la actualidad.
- **CAPÍTULO VIII – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:** este capítulo contendrá las referencias que se citan a lo largo de todo el trabajo, siendo un resumen de interés para futuras investigaciones.

CAPÍTULO I:

INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un bien de primera necesidad, el servicio público de agua potable se basa en la distribución de agua apta para el consumo humano, incluyendo su conexión, medición, captación, tratamiento, almacenamiento, conducción y distribución a todos los usuarios.

Es innegable la gran importancia que reviste para una población, el contar con un eficiente y adecuado servicio de agua potable, que contribuya al bienestar de la población y desarrollo integral. Dentro del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Guano, la Jefatura de Agua Potable y Alcantarillado es la responsable de proveer los servicios básicos de agua potable y alcantarillado al cantón.

El número de cartas de pago emitidos al mes de septiembre del 2018 es de 4,302 abonados, el cantón cuenta con 15,616 habitantes; obteniéndose un promedio de persona por hogar de 3.63 habitantes/vivienda correspondiente a la provincia de Chimborazo, según el censo realizado por INEC (año 2010).

El sistema de abastecimiento de la ciudad se encuentra sectorizado en tres zonas diferentes: zona alta, media y baja, cada una de éstas zonas cuenta con su propio depósito de regulación. El servicio de agua potable en la zona de estudio es continuo, es decir, los habitantes disponen de este servicio las 24 horas del día.

El abastecimiento de agua potable del cantón funciona por gravedad, es decir que en base a la topografía de la ciudad y la ubicación de sus fuentes y depósitos de regulación es posible que el agua llegue a cada uno de los usuarios.

Hasta el año 2017, la red del sistema de agua potable presentaba un sin número de deficiencias, debido a que la red no había recibido ningún tipo de mantenimiento desde 50 años atrás, siendo esta la fecha de construcción del sistema de agua potable.

La conducción del sistema se encontraba conformada por tuberías de asbesto cemento, teniendo conocimiento que es un material perjudicial para la salud, mientras que en varios sectores de la red de distribución se componía por tubería negra de polietileno, la cual se encontraba en estado inaceptable para la distribución de agua a los usuarios.

Razón por la cual la municipalidad realiza el cambio de tubería de asbesto cemento y tubería negra de polietileno a tubería de PVC a lo largo de todo el sistema, a la presente fecha el sistema actual presenta deficiencias como son el funcionamiento de contadores y una mala gestión de presiones en varias zonas de la ciudad.

La realización del presente trabajo beneficiará a la población del cantón Guano, a la administración encargada del abastecimiento y a la municipalidad del cantón, se conocerá el diagnóstico del estado actual y se realizará el análisis del sistema con la finalidad de plantear posibles mejoras al abastecimiento de agua de la ciudad.

II. ANTECEDENTES

La ciudad de Guano es conocida como la "Capital Artesanal del Ecuador" y con importantes lugares de interés turístico y de esparcimiento, la apariencia física de la ciudad, corresponde a la fisonomía típica de la "Región Interandina".

El Cantón Guano posee un clima templado con estaciones marcadas: seca, lluviosa, y verano frío; presentando una temperatura media de 16°C. Se constituye por dos parroquias urbanas: La Matriz y El Rosario; que están divididas por el río Guano y nueve parroquias rurales: Guanando, Ilapo, La Providencia, San Andrés, San Gerardo, San Isidro, San José de Chazo, Santa Fe de Galán y Valparaíso.

Las dos parroquias urbanas (La Matriz y El Rosario) se subdividen en 10 barrios: Espíritu Santo, La Dolorosa, La Inmaculada, La Magdalena, San Roque, Miraflores, San Pablo, San Pedro, Santa Ana, Santa Teresita y El Rosario.

En la ciudad de Guano, el uso del suelo está destinado en gran porcentaje a la vivienda urbana y a la producción agrícola, comercial y artesanal. En unos casos el otro destino es mixto, es decir para el uso en vivienda y producción agrícola y/o artesanal (vivienda productiva).

La actividad principal del cantón es básicamente la agricultura, luego la manufactura y el comercio, el resto de actividades son servicios y construcción. La ciudad de Guano se encuentra en continuo crecimiento, debido a que en los últimos años se han trasladado muchas personas de localidades vecinas.

El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), categoriza en el último censo de la ciudad (2010) el estado de los servicios básicos de agua potable y alcantarillado. Como resultado se obtuvo que la infraestructura se encuentra en estado "Regular", los sistemas han cumplido su periodo de vida útil. Esta se ha convertido en la justificación principal para la realización del trabajo de fin de máster.

En base a la información de infraestructura existente en el cantón, a continuación se detalla un cuadro resumen (Tabla 1), sobre la cobertura de los diferentes servicios básicos que tiene la ciudad de Guano.

Tabla 1: Cobertura servicios básicos, cantón Guano (INEC, Censo 2010).

SERVICIO	COBERTURA SECTOR URBANO (%)	COBERTURA SECTOR RURAL (%)	ESTADO
Agua potable	88.86	51.73	Regular, ha cumplido vida útil.
Alcantarillado	90.65	14.04	Regular, ha cumplido vida útil.
Residuos sólidos	89.17	13.39	Regular
Energía eléctrica	89.60	75.00	Muy bueno

III. OBJETIVOS

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Máster es realizar la evaluación del diagnóstico y análisis del funcionamiento de la red mediante el uso del modelo matemático. De esta manera se podrá obtener un sistema de agua potable con una presión de red óptima, que se encuentre dentro de los rangos que se establecen en normativa nacional y que la presión sea la necesaria para realizar una distribución por gravedad a todos los sectores del sistema.

Se detallan a continuación los objetivos específicos que se cumplirán para la realización del trabajo.

- Revisar el modelo matemático de la red de estudio y verificar el comportamiento del sistema actual.
- Realizar las mejoras necesarias para que el modelo simule la realidad del funcionamiento de la red.
- Validar el modelo matemático para que el modelo se asemeje a la realidad física de la infraestructura.
- Realizar el diagnóstico de la red del sistema de agua potable de la cabecera cantonal de Guano, con el fin de identificar problemas y deficiencias que se presenten en la red.
- Efectuar el análisis de la red con cada uno de los factores que intervienen en su funcionamiento.
- Identificar los sectores críticos y problemáticos del sistema actual.
- Verificar la sectorización actual del sistema y comprobar si éstas se encuentran planteadas de una manera adecuada de tal manera se facilitará la gestión de la zona.
- Plantear soluciones a las diferentes problemáticas que se encuentren en el análisis del modelo matemático y realizar un análisis económico de las mejoras que se proponen para el sistema.

CAPÍTULO II:

ZONA DE ESTUDIO

2.1 ZONA DE ESTUDIO

El presente trabajo se realizará sobre la red de abastecimiento de agua potable de la cabecera cantonal del cantón Guano. Uno de los aspectos de mayor importancia es conocer el lugar donde se va a trabajar, a continuación se describen las principales características demográficas y geográficas de la zona de estudio.

2.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El cantón Guano se localiza en el centro del Altiplano Andino del Ecuador, al norte de la provincia de Chimborazo. La cabecera cantonal se asienta sobre los 2720 m.s.n.m, se encuentra a 8 km de la ciudad Riobamba; ciudad con una población de 260,000 habitantes. La vía de acceso principal es la carretera Riobamba – Guano.

Los límites del Cantón son:

- Al norte, la provincia del Tungurahua, la montaña del Igualata, el río Huahua Yacu y el río Mocha.
- Al este, el río Chambo y el cantón Penipe.
- Al sur, el cantón Riobamba y la quebrada las Abras.
- Al oeste, la provincia de Bolívar y el cantón Riobamba.

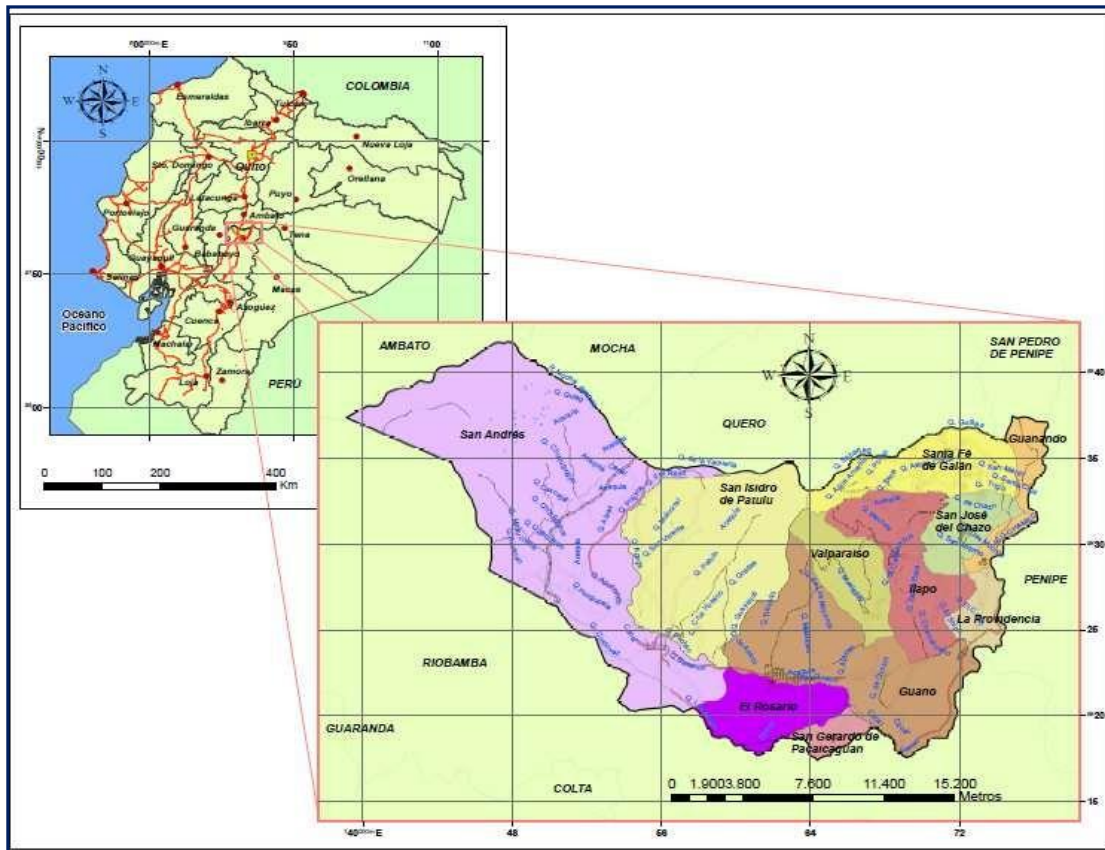


Figura 1: Ubicación geográfica cantón Guano.

2.1.2. TOPOGRAFÍA

La topografía del cantón Guano es montañosa, la ciudad del mismo nombre se asienta sobre un valle interandino. Se encuentra cubierto por pendientes muy altas, medias y bajas moderadas en una extensión de 525 ha, con inclinaciones que van de 0% a 50%.

Debido a su topografía montañosa la evacuación de aguas lluvias se realiza hacia las quebradas; garantizándose una evacuación de aguas lluvias en su totalidad. Guano tiene una superficie de 15 km². La ciudad se extiende longitudinalmente sobre el valle con una longitud de 7 km de largo por 1 km de ancho.

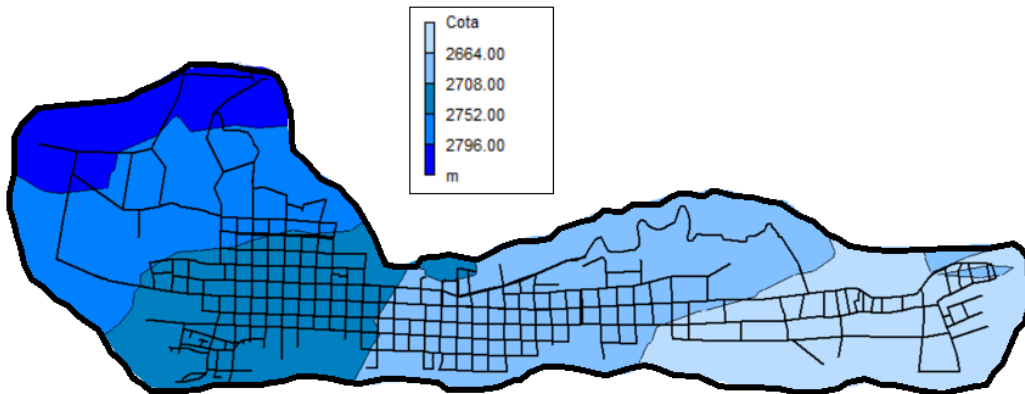


Figura 2: Mapa de contorno de elevaciones en la zona de estudio.

Al analizar la topografía del cantón, se concluye que se considera pendientes altas y muy altas a aquellas laderas comprendidas entre 50% y mayores de 100%, que se encuentran en las faldas del volcán Chimborazo y montañas aledañas a la población.



Figura 3: Fotografía aérea de Guano, (Fuente: Google Earth).

2.1.3. DEMOGRAFÍA

Según datos oficiales del INEC, en el censo poblacional del 2010 el cantón Guano registra 42,851 habitantes. La cabecera cantonal correspondiente a la zona urbana del cantón presenta una población de 15,616 habitantes a la fecha del último censo nacional.

La Jefatura de Agua Potable registra al mes de septiembre del 2018 la cantidad de 4,302 conexiones domiciliarias activas. Acorde crece la población se evidencia el consumo de agua debido al aumento de las necesidades de agua en usos públicos, comerciales e industriales.

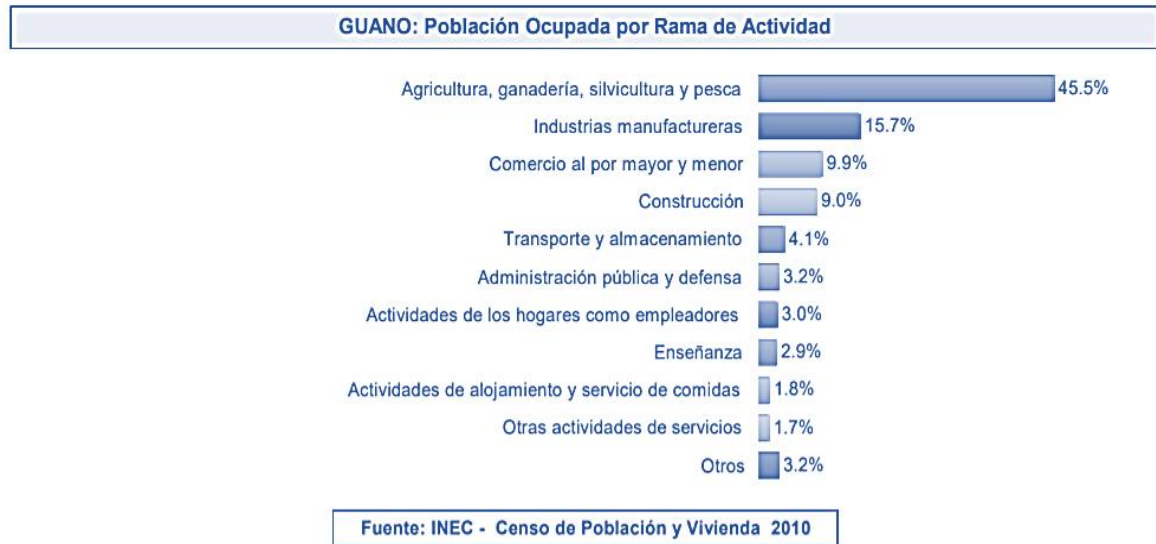


Figura 4: Rama de actividades en la población.

2.1.4. CLIMATOLOGÍA

El clima del cantón es templado y varía debido a que las altitudes se encuentran sobre los 2,500 msnm hasta los 6,310 msnm correspondiente al nevado Chimborazo. La temperatura varía desde los 6 °C a los 18°C, posee una precipitación promedio anual de 500 mm hasta 1000 mm.

Guano posee un clima templado con estaciones marcadas: seca, lluviosa y verano frío. La temperatura más alta es de 28.3°C y se presenta generalmente en el mes de diciembre, la temperatura media es de 13.8 °C, y la mínima es de 3.6 °C.

Las precipitaciones de mayor intensidad corresponden al mes de abril con 104.5 mm, y la menor intensidad se presenta en los meses de agosto con 4.9 mm. La humedad atmosférica relativa existente en la zona es de 72% anual y es casi constante a lo largo todo el año con variaciones entre el 69% y 77%.

El cantón Guano, cuenta con un amplio entorno natural, es de gran importancia proteger las fuentes de agua, las microcuencas, los páramos, los ríos, las vertientes, las quebradas, las montañas, los arenales, el suelo, los bosques, las laderas, el volcán y los pastizales, con respecto a la vegetación nativa.

2.2. DESCRIPCIÓN RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE CANTÓN GUANO

2.2.1 INTRODUCCIÓN

El Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guano por medio de la Jefatura de Agua Potable y Alcantarillado, son los encargados de la administración, manejo y operación del abastecimiento de agua potable de la ciudad.

La distribución de agua se realiza a tres diferentes sectores, cada uno de ellos se regula mediante un tanque de regulación y almacenamiento independiente como se evidencia en la Figura 5. El consumo promedio mensual es de 139,060.80 m³/mes, correspondiente a un caudal consumido de 53.65 l/s.

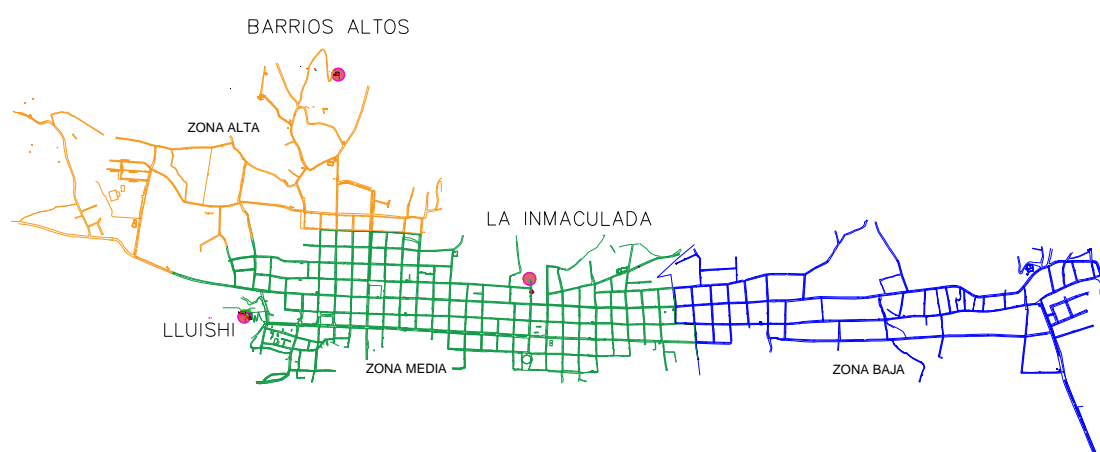


Figura 5: Configuración de los 3 sectores de abastecimiento en la ciudad.

El sistema de agua potable de la cabecera cantonal fue construido hace más de 50 años, el mismo que ha sido ampliado en múltiples ocasiones, la más importante se realizó a finales del año 2017 y consistió en el cambio de tubería de asbesto cemento por tubería de PVC.

Dentro del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Guano, la Jefatura de Agua Potable y Alcantarillado es la encargada y responsable de proveer los servicios básicos de agua potable y alcantarillado a todo el cantón. Actualmente 4,302 usuarios tienen las cuentas activas, es decir este número de acometidas se encuentran consumiendo el agua suministrada por el sistema de abastecimiento de la ciudad.

La Jefatura de Agua Potable suministrará la información necesaria para realizar el presente trabajo; a continuación se presenta una breve descripción de los elementos que conforman el sistema de agua potable de la ciudad Guano.

2.2.1.1 ESQUEMATIZACIÓN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

Para una mejor interpretación acerca de la conformación del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad y sus elementos, se presenta un esquema que servirá de guía para una mejor interpretación de las descripciones en los siguientes apartados.

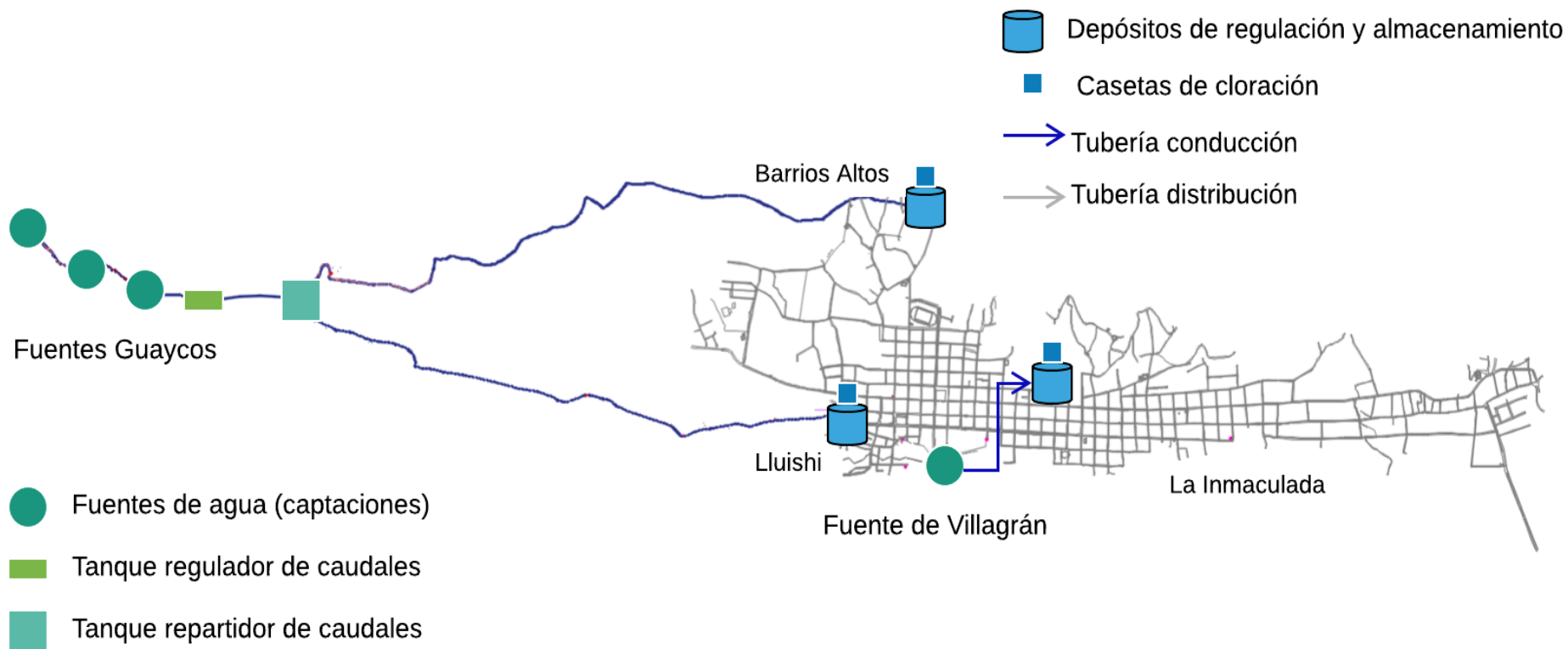


Figura 6: Esquema de implantación de sistema de agua potable del cantón Guano.

2.2.2. ELEMENTOS SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

2.2.2.1. FUENTES DE ABASTECIMIENTO - CAPTACIONES

El sistema se conforma por tres distintas fuentes, son vertientes naturales superficiales provenientes de glaciares del nevado Chimborazo, se asientan sobre los 3000 msnm. Cada una de éstas posee un tanque de hormigón armado como obra de captación del agua.

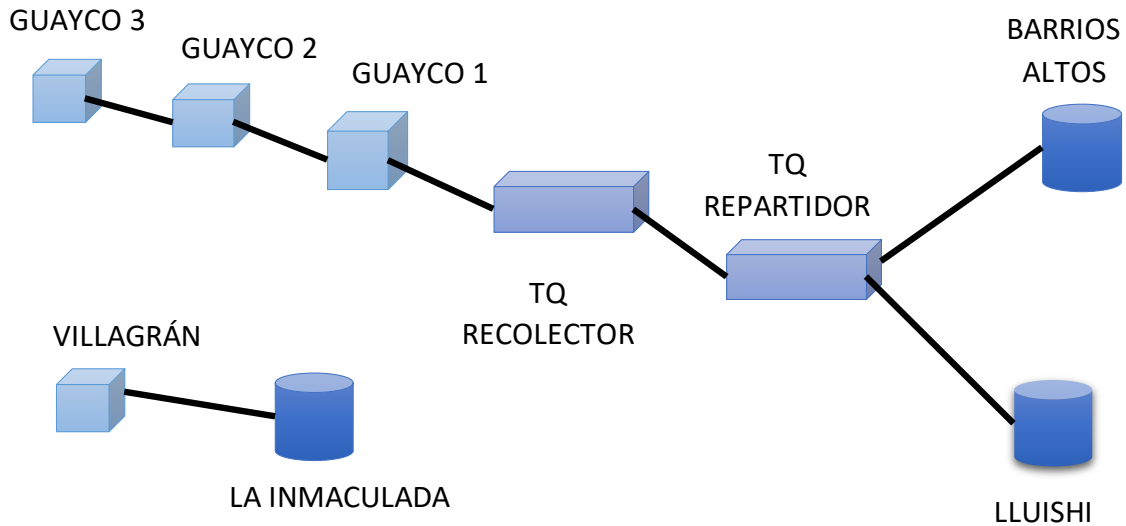


Figura 7: Esquema de las captaciones del abastecimiento de agua.

Debido a la topografía del sector, las captaciones se conducen por gravedad. En la siguiente Tabla, se detallan los datos de cada una de las captaciones existentes.

Tabla 2: Datos de ubicación geográfica de las fuentes de suministro.

NOMBRE FUENTE	SISTEMA WGS84 COORDENADAS UTM ZONA 17S	ALTURA
Guayco 1	755973E-9824769N	2,982.0 m
Guayco 2	755354E-9825048N	3,020.0 m
Guayco 3	755287E-9825114N	3,026.0 m
Fuentes de Villagrán	762081E-9821996N	2,719.0 m

De los Guaycos 1,2 y 3 se obtiene un caudal total medio de 68.36 l/s, mientras que de Villagrán se obtiene 26.90 l/s, estos datos han sido medidos por la Jefatura de Agua Potable.

Tabla 3: Descripción captaciones de agua.

FUENTE	TIPO	CAUDAL	SUMINISTRO
Guayco 1	Vertiente Superficial	68.36 l/s	Zona Alta y Media
Guayco 2	Vertiente Superficial		
Guayco 3	Vertiente Superficial		
Fuentes de Villagrán	Vertiente Superficial	26.90 l/s	Zona Baja

A una distancia de 3,839.41 se encuentra un tanque recolector - repartidor, el cual se encarga de recolectar el agua y repartir diferentes caudales hacia los distintos sectores.

2.2.2.2. CONDUCCIONES

El sistema de agua potable se encuentra conformado por dos líneas de conducción principales, la primera conduce el agua captada por las fuentes de los Guaycos hacia los depósitos de Lluishi y Barrios Altos y la segunda conducción transporta el agua desde la Fuente de Villagrán hacia el depósito de La Inmaculada.

El sistema de agua potable fue construido en el año 1963, las tuberías que conformaban la conducción eran de asbesto cemento. A finales del año 2017 se realizó una intervención por parte de la municipalidad. Ésta consistió en el remplazo de la tubería de asbesto cemento por tubería de PVC. En la siguiente tabla se detallan las características actuales de la conducción.

Tabla 4: Características de las conducciones del sistema.

FUENTE	CARACTERÍSTICAS CONDUCCIÓN	
	MATERIAL – DIÁMETRO TUBERÍA	LONGITUD
Guayco 3 - Guayco 2	PVC - 110 mm	95.90 m
Guayco 2 - Guayco 1	PVC - 160 mm	743.51 m
Guayco 1 - Tq Recolector	PVC - 250 mm	185.59 m
Tq Recolector - Tq Repartidor	PVC - 200 mm	2810.00 m
Tq Repartidor - Barrios Altos	PVC - 110 mm	1372.50 m
	PVC - 160 mm	3280.00 m
Tq Repartidor - Lluishi	PVC - 200 mm	1944.00 m
	PVC - 160 mm	1946.00 m
Villagrán - La Inmaculada	PVC - 160 mm	1474.12 m

2.2.2.3. TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN

El tratamiento que se aplica al sistema de agua potable de la ciudad es la utilización de cloro gas, tratamiento que se aplica a partir del año 2018, anteriormente se aplicaba cloro de manera manual, causando problemas de dosificaciones, lo que generaba inconvenientes debido a que el mezclado no se realizaba de manera uniforme.

Actualmente el tratamiento de cloro gas se aplica antes de que el agua ingrese a los depósitos de regulación. Cada uno de los depósitos contiene una caseta de cloración previo el agua ingrese a cada uno de los tanques de regulación.

La jefatura de agua potable del cantón, cuenta con un laboratorio para la realización de análisis químicos, físicos y bacteriológicos. Los ensayos se realizan una vez por semana, se adjuntan los resultados de calidad de agua del sistema analizados en distintos puntos de la ciudad y en los depósitos de regulación (Anexos).

2.2.2.4. DEPÓSITOS DE REGULACIÓN - TANQUES DE RESERVA

El sistema de abastecimiento se conforma de cuatro depósitos de regulación, los cuales cumplen la función de regulación y suministro de agua a la población. Cada uno de los depósitos abastecen a la zona alta, media y baja respectivamente.

Todos los depósitos poseen obras de protección perimetral como cerramientos. Su sección es circular y su material es de hormigón armado. A continuación se detalla las características de cada uno de los depósitos.

Tabla 5: Ubicación geográfica y características depósitos de agua.

DEPÓSITO	VOLUMEN	SIST. WGS84 COORDENADAS UTM ZONA 17S	ALTURA	SECTOR
Barrios Altos	250 m ³	762099.66E - 9823469.57N	2859.33 m	Zona alta
Lluishi	300 m ³	761600.00E - 9822174.85N	2784.14 m	Zona media
	300 m ³	761615.57E - 9822177.99N	2784.14 m	Zona media
La Inmaculada	300 m ³	763138.31E - 9822362.17N	2704.50 m	Zona baja

- Depósito Barrios Altos.



Figura 8: Depósito de regulación sector Barrios Altos.

- Depósito Lluishi



Figura 9: Depósito de regulación sector Lluishi.

- Depósito La Inmaculada



Figura 10: Depósito de regulación La Inmaculada.

2.2.2.5. SECTORIZACIÓN ACTUAL

En la actualidad el abastecimiento de agua potable ha distribuido el suministro del servicio de agua potable en tres zonas. Cada una de las zonas cuenta con un tanque independiente de regulación, de esta manera se obtiene una mejor gestión y operación del sistema; a continuación se muestra la sectorización de la ciudad.



Figura 11: Sectorización del sistema de agua potable actual.

2.2.2.6. REDES DE DISTRIBUCIÓN

A inicios del año 2018 se realizó el remplazo de tubería de la red, debido a que el sistema de distribución anterior era de material de asbesto cemento, fue instalada tubería de PVC. La red de distribución está conformada por 52.12 km de tubería, la cual abastece a todos los sectores de la ciudad. La cobertura del servicio es al 100% de la población y continuidad de 24 horas.

Tabla 6: Longitud de tubería de distribución por sector.

SECTOR	LONGITUD TUBERÍA
Zona alta - Barrios altos	17.62 km
Zona media - Lluishi	22.00 km
Zona baja - La Inmaculada	12.50 km

Tabla 7: Longitud de tuberías según el diámetro de instalación, red de distribución.

DIÁMETROS TUBERÍA PVC 1.0 MPA	LONGITUD
63 mm	41.7 km
90 mm	3.66 km
110 mm	1.99 km
160 mm	4.63 km
200 mm	0.1 km

La red de agua actual cuenta con varias válvulas reductoras de presión VRP, las cuales no se encuentran en funcionamiento debido a la falta de mantenimiento, esta es una de las razones por las que el abastecimiento presenta graves problemas en la gestión de presiones a lo largo de toda la ciudad.

2.2.2.7. ACOMETIDAS DOMICILIARIAS

Las acometidas domiciliarias se encontraban en mal estado y los contadores no proporcionaban un valor real del consumo, hasta la intervención de inicios del 2018, donde se colocaron contadores nuevos a los usuarios del sistema, a partir de la sustitución del parque de contadores se tiene un registro de volúmenes consumidos.

2.3. PROBLEMÁTICA ABASTECIMIENTO DE AGUA

En la actualidad, debido al aumento de la población, urbanización del territorio, superficie cultivada, envejecimiento de la infraestructura; los sistemas de abastecimiento empiezan a presentar deficiencias en su operación debido a los problemas ante mencionados.

Existe poca preocupación e inversión en mantenimiento por parte de los gobernantes, debido a que no se comprende la importancia de una buena gestión por parte de las municipalidades. No se aplica mantenimiento preventivo en las infraestructuras, por lo que se termina aplicando mantenimiento correctivo en la mayoría de los casos.

Por parte de la ciudadanía no existe educación ambiental, se piensa que el agua no cuesta, no se evidencia una política de ahorro del consumo en la población y no se llega a concientizar acerca del uso, esto se debe a que la tarifa que se aplica por el uso no representa un valor representativo en los usuarios.

A continuación se describen los problemas principales que se presentan en el sistema de abastecimiento de agua potable del cantón Guano:

– **Presiones**

El problema principal que presenta el abastecimiento de agua potable de la ciudad es la variación de presiones (superando límites máximos y mínimos permitidos) que se generan en distintos sectores, esto produce un malestar a la población debido a que un sistema de agua potable óptimo debe garantizar presiones máximas y mínimas adecuadas a todos los consumidores de la red.

Las presiones altas generan problemas de fugas en las conexiones interiores de los domicilios como en la red de distribución, mientras que las presiones mínimas causan malestar en los usuarios del sistema, debido a que no se genera un suministro óptimo a la población.

– **Desperdicio de agua - exceso de consumo**

Debido a la mala gestión que ha tenido el abastecimiento a lo largo del tiempo y sin tener una tarifa apropiada que compense el costo del servicio hacia los usuarios, existe desperdicio de agua en un gran porcentaje. Se emplea el agua como regadío para huertos o simplemente se evidencian grifos abiertos o dañados.

En un estudio reciente, Arellano (2018) menciona que el Consumo Promedio Semestral Ponderado (CPC/ps) para la población de Guano es un valor sobre los 390 lt/hab*día, correspondiente a un valor demasiado alto, considerando que la Jefatura de Agua Potable de la ciudad, trabaja una dotación de 195 lt/hab/día para la realización de ampliaciones del sistema.

– **Tarifación**

La tarifa mensual establecida para los abonados, corresponde a una tarifa fija; es decir el valor facturado mensualmente para cada uno de los usuarios es igual y equivalente a un monto de 2.75 \$/mes. Los volúmenes medidos por los contadores no son considerados debido al nivel económico bajo de la población, por esta razón el sistema de abastecimiento de agua potable no es sustentable. En la ciudad han dominado los precios políticos, siendo estos insuficientes para la recuperación de costes.

– **Fugas**

El principal problema que se genera en un abastecimiento, cuando no se tiene una buena gestión de las presiones en un sistema, es la existencia de un gran porcentaje de fugas y los problemas que éstas pueden generar.

Las fugas son consumos dependientes de la presión y la mala gestión de esta problemática produce una gran pérdida económica, debido que es agua que se está inyectando al sistema, pero no es agua que se está facturando.

En la ciudad de Guano no existía información acerca del consumo de agua así como no se realizaba un seguimiento periódico de medición de consumos y pérdidas de agua, por lo que no existían registros que permitan realizar una estimación real del consumo de agua y el uso de la misma hasta el año 2017.

A partir de inicios del año 2018 se han incorporado una serie de caudalímetros en puntos clave para realizar mediciones de agua inyectada al sistema, razón por la cual, existen datos reales de volúmenes inyectados y facturados a partir de enero del 2018.

La edad de la red de agua potable, la calidad de la tubería, el tipo de material con el cual está fabricada y el mantenimiento que se realiza, influyen en la cantidad de agua que se fuga, la cantidad de agua desperdiciada depende en gran parte del nivel cultural y costumbres de los usuarios.

2.4. BALANCE HÍDRICO DE LA RED

Mediante la realización del balance hídrico, se determinará la relación existente entre la totalidad de agua inyectada al sistema y la cantidad de recursos que se consumen por la población en un periodo de tiempo establecido.

Se conocerá el porcentaje de agua consumida y el porcentaje de agua fugada del sistema. Una vez que se conozcan tales valores se podrá determinar el rendimiento volumétrico de la red de agua potable de la ciudad.

Los datos para la realización del balance se entregaron por parte de la Jefatura de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad, los datos corresponden al año 2018. A continuación se detalla un análisis de los datos obtenidos.

2.4.1. VOLÚMENES DE AGUA INYECTADA

La Jefatura de Agua Potable es la encargada de la operación y manejo del sistema actual, realiza la medición del volumen de agua inyectado con la ayuda de caudalímetros. Estos se encuentran ubicados a la salida de los depósitos de regulación de cada una de las zonas de distribución.

El control por medio de caudalímetros se ha establecido a partir de inicios del 2018, los valores obtenidos de volúmenes inyectados se presentan desde enero de 2018, hasta octubre de 2018. Cada uno de los sectores de distribución cuenta con su propio depósito de regulación y reserva, así como de un caudalímetro.

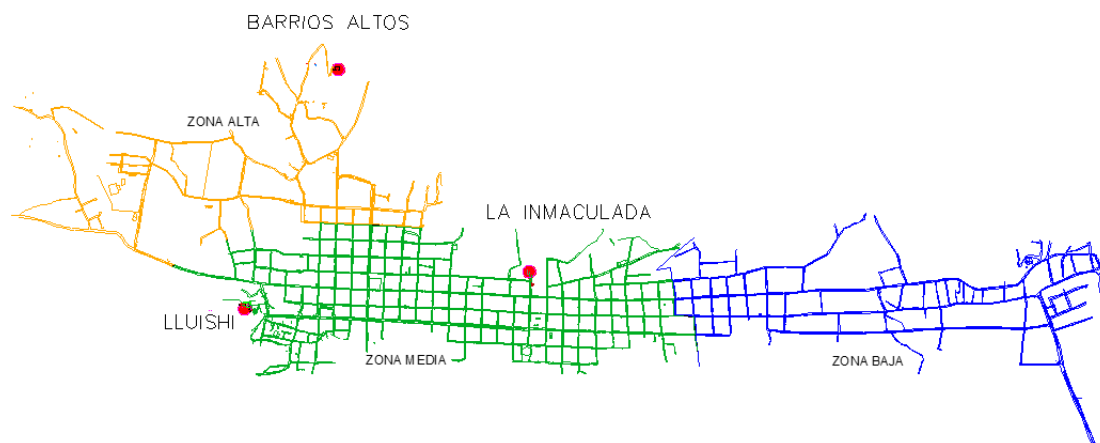


Figura 12: Sectorización de servicio de agua cantón Guano.

Tabla 8: Volúmenes mensuales inyectados.

FECHA	Q INYECTADO (l/s)	Q INYECTADO (m3/mes)
ene-18	75.15	194,789
feb-18	79.80	206,844
mar-18	75.57	195,888
abr-18	75.67	196,147
may-18	76.81	199,092
jun-18	80.16	207,785
jul-18	80.94	209,796
ago-18	78.67	203,871
sep-18	81.42	211,248
Q Medio	78.25	202,811

En la Tabla 9 se detalla el volumen inyectado a cada uno de los sectores de la ciudad. Estos corresponden a la zona alta, media y baja, los datos demuestran que el caudal inyectado total corresponde al valor medio de los caudales registrados mensualmente (Tabla 8). Los valores han sido extraídos por parte de las lecturas de los caudalímetros ubicados a la salida de los tanques de regulación.

Tabla 9: Descripción de área, abonados y caudales por sector.

SECTOR	AREA SECTORES (km2)	Nº DE ABONADOS	Q INYECTADO (l/s)
Barrios altos	1.281	1334	30.35
Centro -Lluisi	1.900	1807	30.65
La Inmaculada	2.050	1162	17.24
Totales	5.231	4302	78.25

2.4.2. VOLÚMENES DE AGUA REGISTRADA

El agua en el cantón Guano se factura mensualmente, es decir; cada mes se contabiliza el consumo de contadores que poseen cada uno de los abonados. Los datos que se muestran a continuación se han obtenido de las planillas mensuales que genera la municipalidad como resumen de los volúmenes de agua facturados.

Cabe recalcar que las instituciones públicas como el municipio, escuelas, colegios, mercados, espacios públicos, consumen agua pero no es facturada por la carencia de contadores. Además, se tiene conocimiento de la existencia de acometidas no permitidas (ilegales).

Todas estas anomalías mencionadas anteriormente, así como también el error que existe al tomar la lectura de los contadores y el funcionamiento y precisión de los mismos; genera un porcentaje de error en los valores de facturación emitidos por el municipio.

Tabla 10: Caudales registrados mensuales del sistema de agua potable.

FECHA	Q FACTURADO (l/s)	Q FACTURADO (m3/mes)
ene-18	43.77	113,444
feb-18	46.98	121,772
mar-18	44.10	114,297
abr-18	43.85	113,659
may-18	44.74	115,969
jun-18	48.31	125,220
jul-18	47.10	122,083
ago-18	47.58	123,327
sep-18	48.41	125,479
Q Medio	46.09	119,472

Tabla 11: Caudales por sector.

SECTOR	AREA SECTORES (km2)	N° DE ABONADOS	Q FACTURADO (l/s)	Q INYECTADO (l/s)
Barrios altos	1.281	1334	17.06	30.35
Centro -Lluishi	1.900	1807	19.82	30.65
La Inmaculada	2.050	1162	9.22	17.24
Totales	5.231	4302	46.09	78.25

2.4.3. VOLUMEN DE AGUA INCONTROLADA

El volumen de agua incontrolada, corresponde al agua no registrada o facturada. En esta categoría se encuentra el agua no registrada, las pérdidas reales y pérdidas aparentes del sistema.

Las pérdidas reales se deben a defectos físicos de la red como fisuras y roturas, es decir son fugas de agua; éstas se localizan en tuberías y acometidas principalmente. Las pérdidas aparentes se consideran a los errores de contabilización del consumo de agua y consumos no autorizados (robos), las pérdidas aparentes se definen como agua consumida, pero no controlada.

El valor del volumen de agua incontrolada necesario para realizar el análisis del abastecimiento se obtendrá a partir de las ecuaciones a continuación a partir de los datos presentados en los apartados anteriores.

$$Vol. inyectado = Vol. Registrado + Vol. incontrolado$$

$$Vol. incontrolado = 78.25 \frac{l}{s} - 46.09 \frac{l}{s} = 32.16 \frac{l}{s}$$

Al valor obtenido de 32.16 l/s de volumen de agua incontrolada, se tendrá que restar el valor de agua consumida no registrada, de esta manera se conocerá la cantidad de agua fugada del sistema. El valor de agua consumida no registrada se calculará más adelante.

2.5. RENDIMIENTOS DE LA RED DE ABASTECIMIENTO

Para realizarse un diagnóstico de un sistema real de distribución, es necesario evaluar varios parámetros que nos permitan conocer el estado actual de la red y su eficacia, en función de ratios - indicadores.

Es importante conocer cuál es la eficiencia que presenta el sistema de agua potable, de esta manera se contará con una referencia de cómo se encuentra funcionando la red, nos referimos a su funcionamiento integral, mas no a su estado físico debido a que los rendimientos que se definen a partir de volúmenes que intervienen en los balances hídricos, no reflejan el estado físico del sistema.

2.5.1. RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO DEL SISTEMA

Uno de los indicadores de eficiencia más importantes es el rendimiento volumétrico, se basa en la relación existente entre volumen registrado y volumen inyectado al sistema. El cociente de la operación es un porcentaje que muestra el rendimiento volumétrico global del sistema. El rendimiento volumétrico nos permite evaluar las fugas de la red.

$$\eta_{global\ sistema} = \frac{volumen\ registrado}{volumen\ inyectado}$$

Tabla 12: Rendimiento del sistema de agua potable.

FECHA	VOL INYECTADO (m3/mes)	VOL REGISTRADO (m3/mes)	RENDIMIENTO (%)
Enero 2018 a septiembre 2018	202,811	119,472	58.91%

Tabla 13: Volúmenes anuales abastecimiento.

VOL INYECTADO (m3/año)	VOL REGISTRADO (m3/año)	VOL NO REGISTRADO + FUGADO (m3/año)
2'433,736	1'433,663	1'000,073

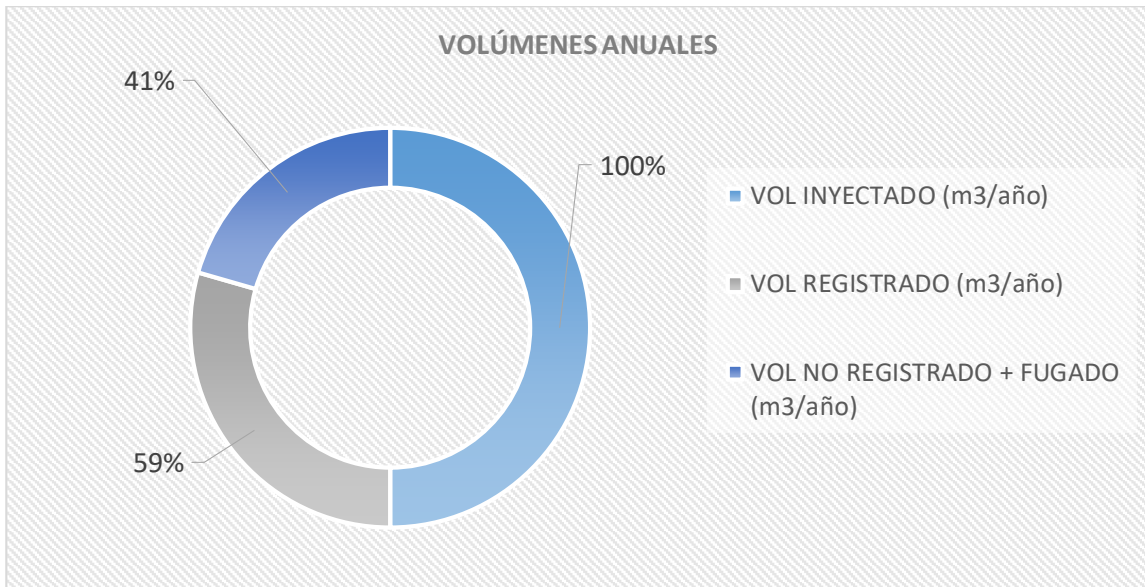


Figura 13: Volúmenes anuales abastecimiento.

2.5.2. RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO SECTORES

Se calculará el rendimiento volumétrico de cada uno de los sectores del sistema, en la Figura 14, se muestra la diferencia existente entre el volumen inyectado y volumen registrado en cada una de las zonas de la ciudad.

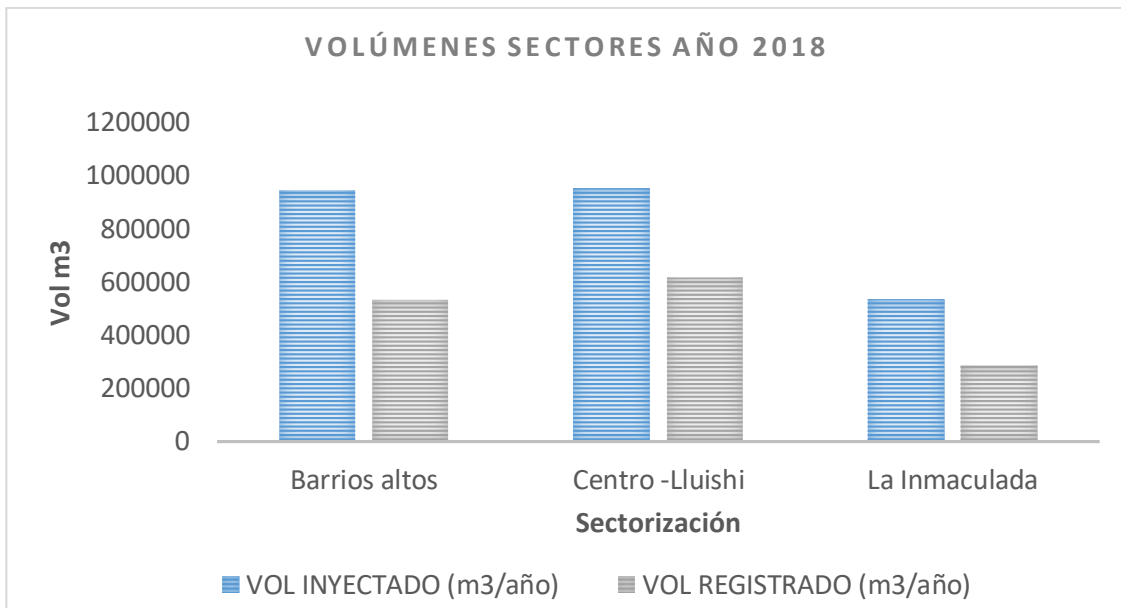


Figura 14: Volúmenes anuales por sectores.

Los valores de volúmenes inyectados y registrados corresponden a los datos obtenidos del año 2018, se evidencia que existe una gran cantidad de agua no registrada; en esta categoría se engloban las fugas reales y fugas aparentes del sistema.

En la Figura 14, se muestra la diferencia existente entre el volumen inyectado y registrado en cada una de las zonas, cada una de estas presenta un rendimiento diferente, esto depende de la demografía de cada sector así como del uso que se le dé al servicio.

CAPÍTULO III:

MODELO MATEMÁTICO

3. MODELO MATEMÁTICO DE LA RED

3.1. INTRODUCCIÓN

En un sistema de abastecimiento de agua potable es necesario contar con un modelo matemático de la red, la función de los modelos matemáticos es simular de manera simplificada el funcionamiento y poder comprobar el comportamiento real de los elementos del sistema; son una herramienta de planificación a futuro, siendo útiles para diseño, análisis de calidad de agua y ayuda en la operación del sistema. Los modelos hidráulicos de sistemas de distribución de agua en la actualidad son ampliamente utilizados para la resolución de problemas y mejorar la operación de los sistemas.

Para la elaboración de un modelo matemático de la red son necesarios varios datos de tipo: hidráulicos, geométricos, de los elementos que conforman la red, estos datos se simplifican al final en un modelo que simula el funcionamiento de la red.

El sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Guano, cuenta con un modelo matemático que fue elaborado por la Jefatura de Agua Potable al mes de mayo del año 2018, el mismo que se encuentra incompleto debido a la falta de tiempo e información que se le ha dado por parte de la administración.

El modelo matemático realizado por la institución servirá de base para la realización del presente Trabajo de Fin de Máster, se analizarán los datos ingresados al modelo como: datos de tuberías correspondientes a diámetros, rugosidades y longitudes; datos de nudos como: cotas y demandas de los usuarios. De igual manera se completará el modelo incorporando la simulación de fugas al sistema.

El modelo ha sido realizado en el software Epanet, en este software, el modelo se representa por un conjunto de nudos y líneas los cuales simulan de manera simplificada cada uno de los elementos que conforman el modelo hidráulico.

En el capítulo anterior se realizó una descripción de los elementos de la red de abastecimiento en estudio, su funcionamiento y balance hídrico del sistema; con esta información el siguiente paso es la realización del modelo matemático hidráulico.

3.2. PROCEDIMIENTO OBTENCIÓN DE MODELO

A continuación se describe el procedimiento a realizar para obtener la representación de la red de abastecimiento de agua potable del cantón Guano en un modelo matemático que simule la realidad del sistema.

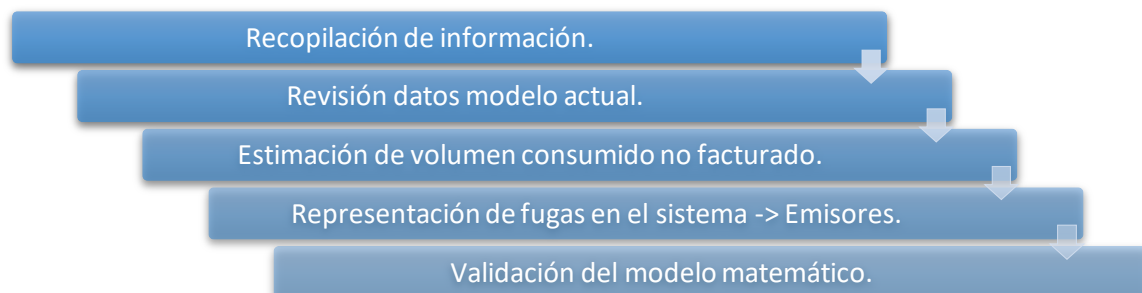


Figura 15: Procedimientos para modelo matemático.

3.2.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

La Jefatura de Agua Potable de la municipalidad como ente administrador del servicio de agua en la ciudad de Guano, ha elaborado un modelo inicial a partir de la intervención realizada a inicio del año 2018, a partir de la instalación de tubería nueva y contadores, se conocen diámetros, material y longitudes de tuberías, y consumos de los últimos meses.

La institución no posee datos en relación a porcentajes de agua fugada del sistema, debido a que nunca antes se había llevado un control de agua inyectada y consumida en la ciudad. Por tales motivos la tarifa que se aplica a los usuarios es una tarifa fija de consumo.

Fueron entregados los siguientes archivos por parte de la institución:

- Plano del sistema de agua potable en formato DWG.
- Modelo de la red de agua potable en formato NET.
- Fotografías de tarifas cobradas en los últimos 6 meses.
- Datos de caudales inyectados y registrados mes de septiembre 2018.
- Análisis de calidad de agua en fuentes y depósitos.
- Registro de presiones tomadas in situ.
- Plan de ordenamiento territorial del cantón.

La recopilación de datos ha conllevado su tiempo, como la institución forma parte del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guano, ha sido un tanto complicado.

El modelo se verificará a partir de los datos suministrados por la Jefatura de Agua Potable y de los datos estimados para la realización del presente trabajo.

3.2.2. REVISIÓN DE DATOS MODELO ACTUAL

Una vez que se ha revisado la información entregada por parte de la institución, se cuenta como información inicial como el plano actual de la red de agua potable, en el documento facilitado por la administración se tiene la información de nudos, tuberías, accesorios, depósitos de regulación y almacenamiento con la respectiva sectorización del sistema actual.

El plano base entregado como información inicial ha sido georreferenciado, comprobándose que las coordenadas corresponden a las que se indican en cada uno de los elementos y tablas del presente trabajo, correspondientes al sistema WGS 84, Coordenadas UTM, Zona 17.

3.2.2.1. VERIFICACIÓN NUDOS

La Jefatura de Agua Potable mencionó que la asignación de demandas a cada uno de los nudos fue realizada en base a mediciones de contadores manuales a cada una de las acometidas y en función del catastro de usuarios que maneja la institución, la medición

real de la demanda se convirtió en una tarea ardua para los técnicos, debido a la falta de contadores geo referenciados en el sistema.

La Jefatura de Agua Potable al mes de septiembre del año 2018, registra en su base de datos un total de 4,302 abonados. El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), ha establecido un total de 15,616 habitantes, obteniéndose un valor de 3.63 promedio de personas por hogar.

Tabla 14: Número de usuarios y habitantes ciudad Guano.

USUARIOS (SEP -2018) JEFATURA DE AGUA POTABLE GADMC-G	PROMEDIO PERSONAS POR HOGAR	HABITANTES SERVICIO AGUA POTABLE
4,302	3.63	15,616

Tabla 15: Reporte usuarios, volumen y monto recaudado Septiembre 2018.

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DEL CANTÓN GUANO	
JEFATURA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO	
ORDEN DE INGRESO N°6087	
FECHA: 19-OCT-2018	Emisión mensual septiembre
Cartas emitidas:	4,302
Volumen total consumido (m3)	119,473
Monto recaudado agua potable:	\$ 15,923.92

Tabla 16: Demanda poblacional cantón Guano.

DEMANDA POBLACIONAL	
Volumen demandado	119473 m3/mes
Caudal demandado	46.09 l/s
Habitantes servicio agua potable	15,616 habitantes
Dotación	255 l/habitante/día

Tabla 17: Demanda de caudal por sector.

SECTOR	N° DE ABONADOS	Q FACTURADO (l/s)	DOTACIÓN (l/hab/día)
Barrios altos	1,334	17.06	304.42
Centro -Lluishi	1,807	19.82	261.07
La Inmaculada	1,162	9.22	188.90

Según la norma nacional CPE INEN 005-9-1 determina datos de dotación media futura, en función de la población y el clima de la zona. A la ciudad de Guano, le correspondería una dotación entre 180 y 200 (l/hab/día) por encontrarse en un clima frío, según las características que muestra la Tabla 18.

Tabla 18: Dotación media según número de habitantes y clima. (Fuente CPE INEN 005-9-1).

POBLACIÓN (habitantes)	CLIMA	DOTACIÓN MEDIA FUTURA (l/hab/día)
Hasta 5000	Frío	120 – 150
	Templado	130 – 160
	Cálido	170 – 200
5000 a 50000	Frío	180 – 200
	Templado	190 – 220
	Cálido	200 – 230
Más de 50000	Frío	> 200
	Templado	> 220
	Cálido	> 230

En el mes de julio del año 2018, fue publicado un artículo científico denominado “Los consumos y las dotaciones de agua potable en poblaciones ecuatorianas con menos de 150 000 habitantes” (Arellano, 2018), dentro de este estudio se encuentra contemplado el análisis de la ciudad de Guano.

El estudio fue realizado en el año 2015, se determinó un consumo promedio semestral para la ciudad de Guano correspondiente a 393.83 l/hab/día. Dicho valor confirma el uso excesivo de agua que es generado por la población en análisis.

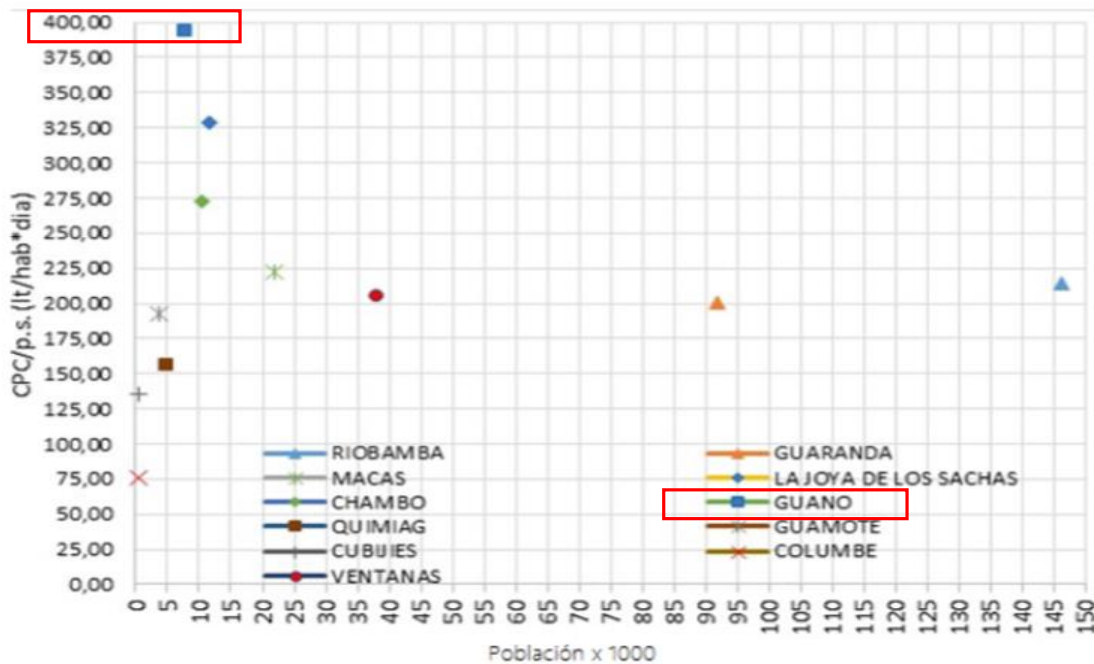


Figura 4: Tamaño de la población vs CPC/p.s.

Figura 16: Dotación poblacional promedio semestral varias ciudades. (Arellano, 2018).

En la Figura 16, se verifica que el consumo de la ciudad es sumamente alto en comparación con el resto de poblaciones en análisis. Se demuestra que a pesar de que es una población pequeña en comparación con las demás ciudades, existe un grave problema en el consumo excesivo de agua en la ciudad.

3.2.2.2. VERIFICACIÓN LÍNEAS

Los datos que se han introducido en las líneas corresponden a datos de diámetros, rugosidades y longitudes. Las longitudes se verifican en relación al plano del sistema en formato DWG.

La Figura 17, corresponde al plano as built del sistema de agua potable, en la Figura 18 se verifica que los datos que se han introducido en las líneas del modelo como: longitudes, diámetros y rugosidades matemático se han ingresado correctamente.

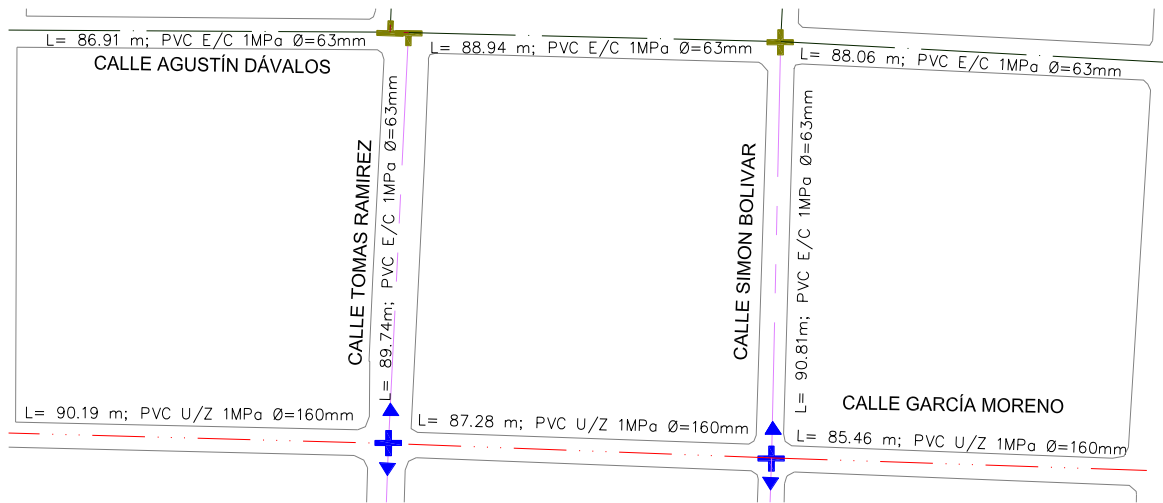


Figura 17: Información líneas de la red del sistema de agua potable.

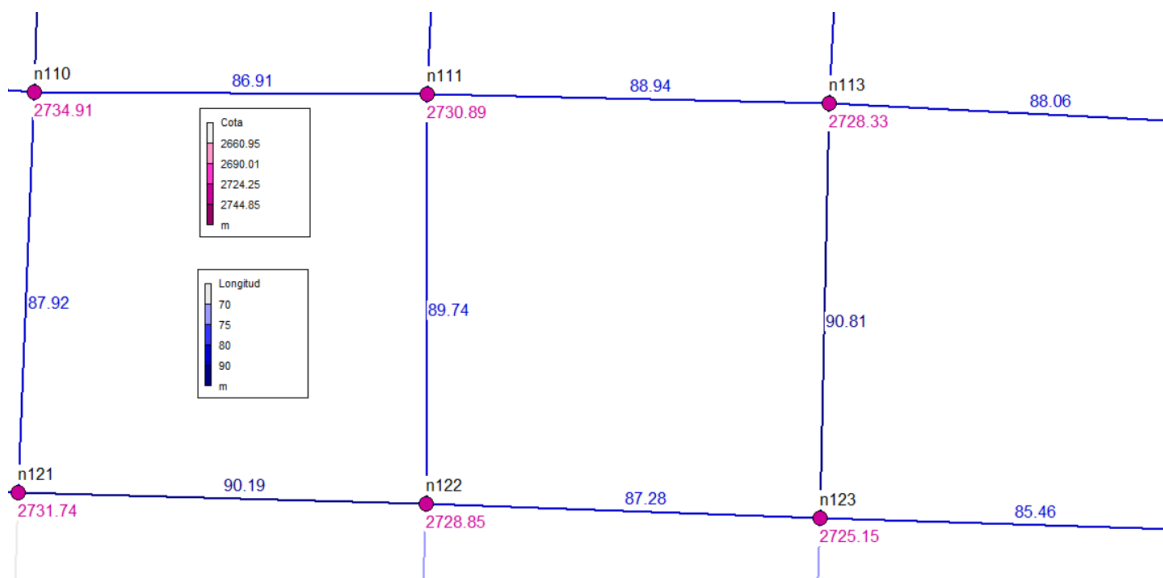


Figura 18: Representación líneas software EPANET.

Se realizaron varias mejoras al modelo matemático entregado por la Jefatura de Agua Potable, ya que presentaban varios errores en la conexión de elementos, como válvulas. Las longitudes faltantes de tuberías correspondientes a los tramos de válvulas conectados, se ingresaron a partir del plano de construcción.

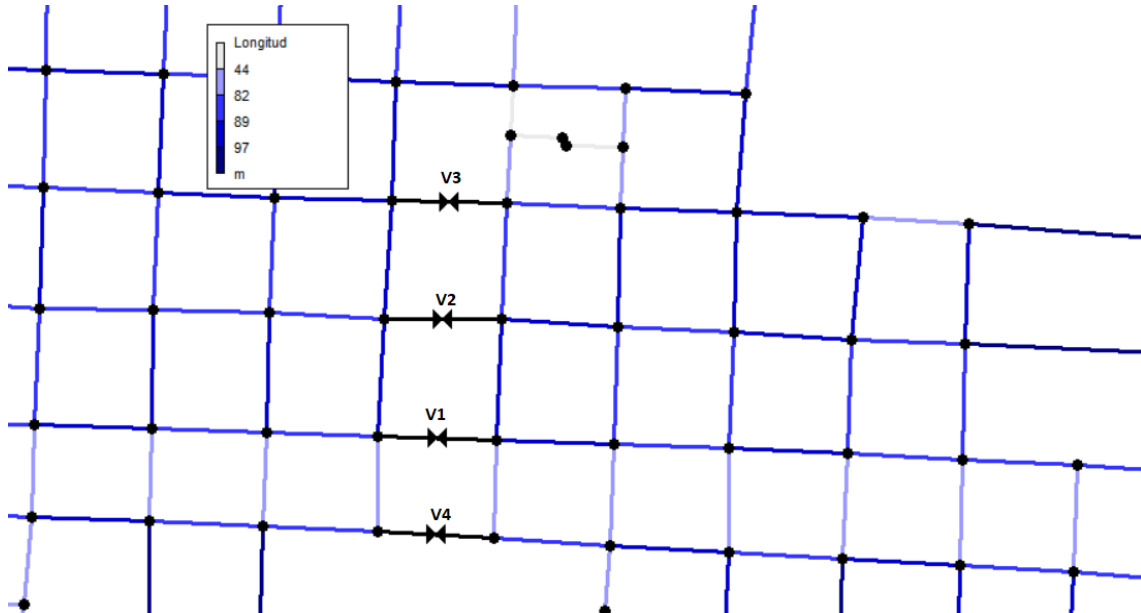


Figura 19: Representación válvulas modelo inicial.

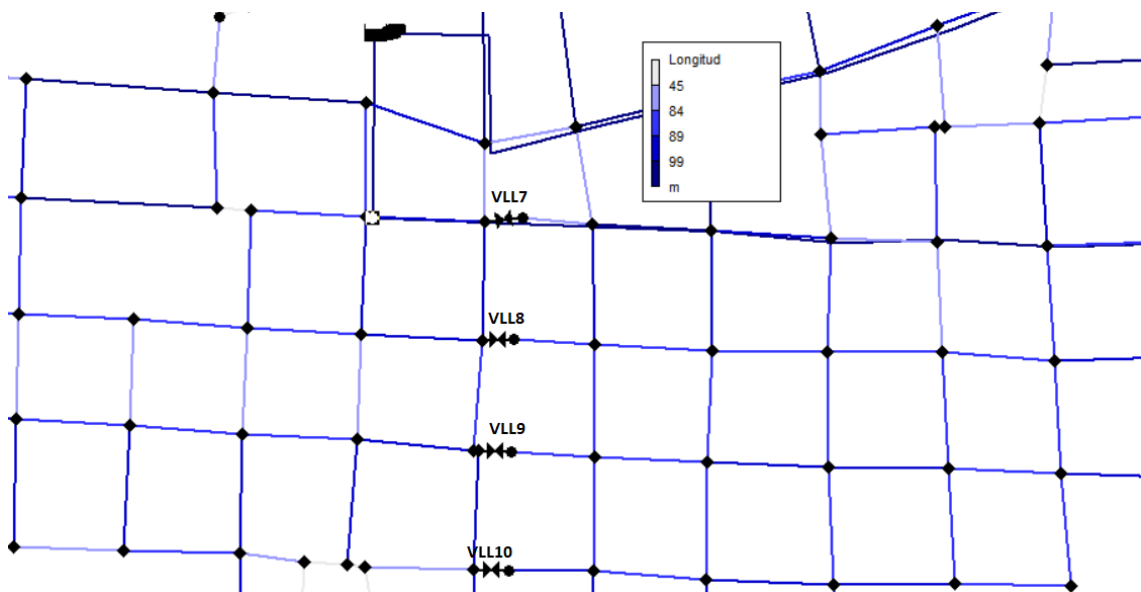


Figura 20: Representación adecuada válvulas EPANET.

3.2.3 MODULACIÓN DE LA DEMANDA

Es necesario conocer el nivel promedio de consumo diario de la población para poder realizar la modelación matemática de la red. La Jefatura de Agua Potable trabaja con

coeficientes máximos horarios, se realizó una curva de modulación obtenida en base a mediciones realizadas en domicilios considerándose el consumo diario de los usuarios y se ha validado con los datos obtenidos a la salida de los depósitos de regulación.

Las horas de mayor consumo de agua, es decir, las horas pico, corresponden a las 12:00 y 13:00 horas de la tarde, las horas valle se encuentran comprendidas desde 0:00 a 04:00 horas. Los coeficientes obtenidos corresponden al estilo de vida que tiene la población.

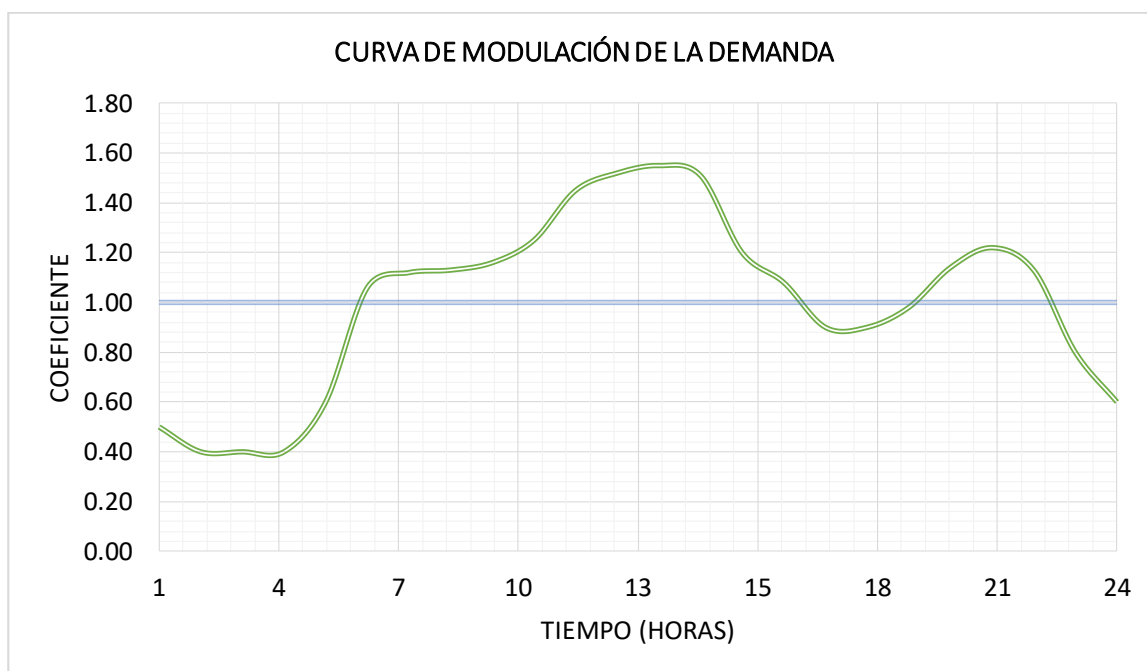


Figura 21: Curva de modulación de la demanda.

Tabla 19: Datos de curva de modulación de la demanda.

HORAS	COEFICIENTE	HORAS	COEFICIENTE
0-1	0.50	12-13	1.55
1-2	0.40	13-14	1.51
2-3	0.40	14-15	1.20
3-4	0.40	15-16	1.08
4-5	0.60	16-17	0.90
5-6	1.06	17-18	0.90
6-7	1.12	18-19	0.98
7-8	1.13	19-20	1.14
8-9	1.16	20-21	1.22
9-10	1.25	21-22	1.13
10-11	1.45	22-23	0.80
11-12	1.52	23-24	0.60

3.2.4. ESTIMACIÓN DE VOLUMEN CONSUMIDO NO FACTURADO Y CAUDAL FUGADO.

Al momento de realizarse el balance hídrico del sistema de abastecimiento, se determinó que existe un volumen de agua consumida no registrada, este valor corresponde a un 9.7% del volumen de agua inyectada al sistema.

El volumen de agua consumida no facturada se deriva del uso de agua por parte de instituciones públicas, educativas, mercados, cuarteles, estadios. Es necesario estimar el valor de consumo, para realizar la comprobación del valor de demandas en cada uno de los nudos.

De acuerdo a las dotaciones para edificaciones de uso específico del manual de instalaciones hidrosanitarias de la NEC – 2011, según normativa nacional, se ha obtenido un valor de dotación para cada uno de los usos específicos. En la Tabla 20, se muestra la dotación correspondiente para cada uno de los usos de agua.

Se realizó un inventario de todas las instituciones que no realizan el pago del servicio de agua potable en la ciudad y han sido clasificadas dentro de cada una de sus categorías correspondientes.

Tabla 20: Dotaciones para edificaciones de uso específico (Fuente: NEC-2011).

DOTACIONES PARA EDIFICACIONES DE USO ESPECÍFICO		
TIPO DE EDIFICACIÓN	UNIDAD	DOTACIÓN
Escuelas y colegios	l/estudiante/día	20 a 50
Hospitales	l/cama/día	800 a 1300
Mercados	l/puesto/día	100 a 500
Oficinas	l/personas/día	50 a 90
Cementerio y mausoleos	l/visitante/día	3 a 5
Cuarteles	l/personas/día	150 a 350
Jardines - estadios	l/m2/día	2 a 8

Se realiza un cálculo tipo del cálculo de caudal y volumen demandado para cada uno de los usos específicos, haciendo uso de la normativa nacional de instalaciones hidrosanitarias.

1) N° de estudiantes: 1,101

2) $Dotación = 50 \frac{l}{estudiante \cdot día}$

3) $Q \text{ demandado} = \frac{1,101 \cdot 50}{86,400} = 0.64 \frac{l}{s}$

4) $Volumen \text{ demandado} = 50 * 1,101 * 0.03 = 1,651.5 \frac{m^3}{mes}$

Tabla 21: Volumen no facturado instituciones educativas.

N°	NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN	N° ESTUDIANTES	Q CONSUMIDO, AUTORIZADO NO FACTURADO		
			DOTACIÓN (l/estudiante/día)	Q DEMANDADO (l/s)	V (m3/mes)
1	U.E. Alfredo Pérez Guerrero	1,101	50	0.64	1,652
2	U.E. del Milenio	784	50	0.45	1,176
3	U.E. Medalla Milagrosa	387	50	0.22	581
4	U.E. Gabriel García Moreno	445	50	0.26	668
<u>TOTAL</u>		<u>2,717</u>		<u>1.57</u>	<u>4,076</u>

Tabla 22: Volumen no facturado municipio del cantón.

N°	NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN	N° FUNCIONARIOS	Q CONSUMIDO, AUTORIZADO NO FACTURADO		
			DOTACIÓN (l/persona/día)	Q DEMANDADO (l/s)	V (m3/mes)
1	Municipio GAMC-GUANO	345	90	0.36	932
<u>TOTAL</u>		<u>345</u>		<u>0.36</u>	<u>932</u>

Tabla 23: Volumen no facturado cuarteles.

N°	NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN	N° PERSONAS	Q CONSUMIDO, AUTORIZADO NO FACTURADO		
			DOTACIÓN (l/persona/día)	Q DEMANDADO (l/s)	V (m3/mes)
1	GOE	250	300	0.87	2,250
2	Bomberos Guano	30	300	0.10	270
<u>TOTAL</u>		<u>280</u>		<u>0.97</u>	<u>2,520</u>

Tabla 24: Volumen no facturado hospitales e instituciones de servicio de salud.

N°	NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN	N° CAMAS	Q CONSUMIDO, AUTORIZADO NO FACTURADO		
			DOTACIÓN (l/cama/día)	Q DEMANDADO (l/s)	V(m3/mes)
1	Subcentro de Salud Guano - Penipe	60	800	0.56	1,440
2	Centro Gerontológico	50	800	0.46	1,200
<u>TOTAL</u>		<u>110</u>		<u>1.02</u>	<u>2,640</u>

Tabla 25: Volumen no facturado cementerio municipal.

N°	NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN	N° VISITANTES	Q CONSUMIDO, AUTORIZADO NO FACTURADO		
			DOTACIÓN (l/visitante/día)	Q DEMANDADO (l/s)	V (m3/mes)
1	Cementerio Municipal	125	5	0.01	19
<u>TOTAL</u>		<u>125</u>		<u>0.01</u>	<u>19</u>

Tabla 26: Volumen no facturado mercados.

N°	NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN	N° PUESTOS	Q CONSUMIDO, AUTORIZADO NO FACTURADO		
			DOTACIÓN (l/Puesto/día)	Q DEMANDADO (l/s)	V(m3/mes)
1	Mercado Central	250	420	1.22	3,150
2	Plaza El Rosario	75	420	0.36	945
3	Plaza Santa Teresita	30	420	0.15	378
<u>TOTAL</u>		<u>355</u>		<u>1.73</u>	<u>4,473</u>

Tabla 27: Volumen no facturado estadios.

N°	NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN	ÁREA (m ²)	Q CONSUMIDO, AUTORIZADO NO FACTURADO		
			DOTACIÓN (l/m ² /día)	Q DEMANDADO (l/s)	V(m3/mes)
1	Estadio La Magdalena	7,214.7	8	0.67	1,732
2	Estadio La Inmaculada	6,254	8	0.58	1,501
3	Estadio Santa Teresita	7,066	8	0.65	1,696
<u>TOTAL</u>		<u>20,534.7</u>		<u>1.90</u>	<u>4,928</u>

Una vez que se ha realizado la estimación de caudales consumidos autorizados no facturados, se determina el caudal de agua fugada del sistema, este valor de agua no consumida fugada, corresponde a la cantidad de agua proveniente de: averías, roturas, variaciones de presiones en el sistema.

Tabla 28: Datos iniciales de la red.

DATOS DE LA RED INICIAL		
Q inyectado (a)	78.25	l/s
Q consumido, autorizado y facturado (b)	46.09	l/s
Q consumido, autorizado y no facturado (c)	7.557	l/s
Q de fugas (d)= a-(b+c)	24.60	l/s
% Fugas (f)= d/a*100	31.43	%

Se ha calculado un valor de agua incontrolada fugada correspondiente a **24.60 l/s**, el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Guano posee un porcentaje de 31.43% de agua fugada. Éste valor se representará en el modelo matemático por medio de emisores.

Con la curva de consumo obtenida (Figura 21), se realiza la variación de caudales a lo largo del tiempo, en la Figura 22, se ha representado el caudal inyectado, consumido, facturado y fugado. El valor del caudal de agua fugada es mayor en las horas valle, esto se debe al incremento de presiones que existe por la baja demanda del sistema en dicho intervalo de tiempo.

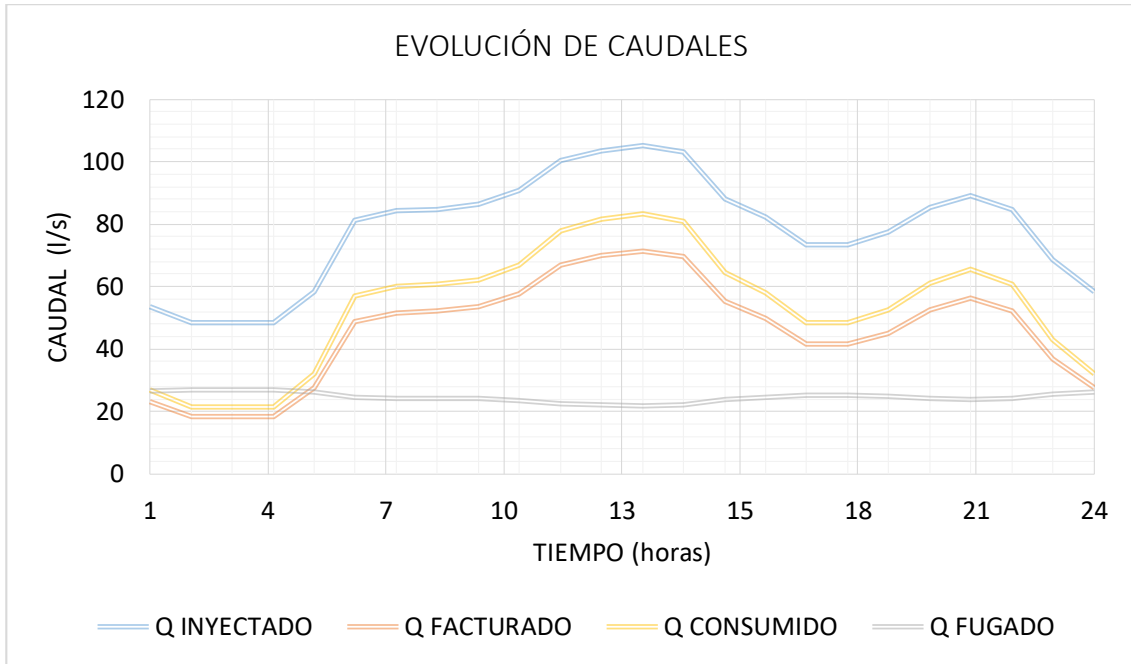


Figura 22: Evolución de caudales 24 horas.

La diferencia existente entre las curvas de caudal inyectado y caudal consumido, corresponde al caudal incontrolado no autorizado del sistema. El objetivo del presente trabajo es reducir el valor entre dichas curvas.

3.2.2.5. CÁLCULO DEL COEFICIENTE EMISOR – REPRESENTACIÓN DE FUGAS

En la realización del presente trabajo es necesario incorporar la representación de fugas del sistema en el modelo matemático, de esta manera la simulación del modelo será más cercano a la realidad. Se considerarán las fugas como consumos dependientes de presión a diferencia de la demanda de cada nudo, éstas corresponden a consumos independientes de la presión.

La representación de caudal de fugas en el software Epanet se realizarán mediante el término de *coeficiente emisor*, de esta manera se generará un consumo dependiente de la presión, representando la definición de fuga a cada nudo del sistema.

En este caso se representarán las fugas como coeficientes emisores, se determinará un coeficiente emisor para cada nudo del modelo a partir de un coeficiente global de todo el sistema.

Para la obtención del coeficiente emisor se parte de las siguientes hipótesis:

- Se conoce el volumen de agua inyectado al sistema, al igual que el volumen de agua no registrada correspondiente a volumen de agua fugada.
- Las fugas se consideran demandas dependientes de la presión de la red.
- La curva de modulación de la red, simula la variación temporal del consumo en la red.

Para comprender la simulación del caudal fugado en el modelo matemático se partirá de la siguiente ecuación:

$$q_{fuga} = K * P^n$$

Donde:

Q= Caudal de fuga.

K= Coeficiente emisor de la fuga.

P=Presión media.

n= Exponente de fugas.

Germanopoulos y Jowitt (1989) suponen que las fugas se distribuyen de manera uniforme a lo largo de la tubería y proponen la siguiente ecuación para modelar las fugas en una red de distribución de agua

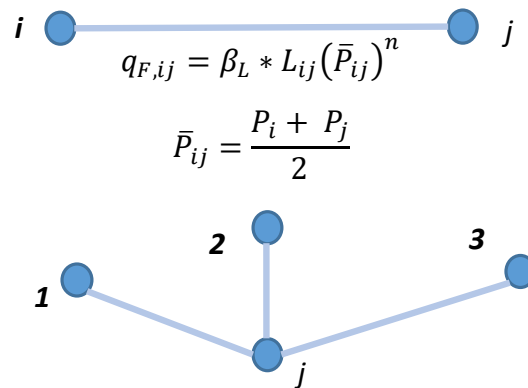


Figura 23: Cálculo coeficiente emisor, Germanopoulos.

$$K = \frac{\beta}{2} * \sum_{i=1}^{Nj} L_i$$

Para la modelación de fugas es necesario conocer el valor de presión en la tubería, debido a que esto se convierte en un problema para la modelación de fugas en EPANET, ya que cada coeficiente emisor se asigna a cada nudo de consumo, y estos dependen de la presión que se genera en cada nudo; Iglesias – Rey et al. (2014), han realizado una simplificación a la expresión de Germanopoulos obteniéndose la siguiente ecuación:

$$q_{F,ij} = \beta_L * L_{ij} (P_i^n + P_j^n)$$

Para el presente proyecto, se ha calculado un valor de 7.176 x10-5 como coeficiente emisor el cual se ha obtenido calculando mediante simulaciones al modelo comparando el volumen inyectado que se obtiene de resultado en Epanet, en comparación con el volumen inyectado que se registra por parte de la Jefatura de Agua Potable de la municipalidad.

3.2.6. VALIDACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

La validación del modelo matemático es fundamental para probar la bondad del modelo realizado, mientras más preciso sea el modelo hidráulico, este se convierte en una herramienta de gran confiabilidad a la hora de tomar decisiones importantes, es indispensable para la gestión del abastecimiento.

La American Water Works Association (AWWA) asegura que para la validación del modelo matemático es necesario comparar los resultados del modelo con medidas tomadas en campo sobre un rango de condiciones, si las predicciones del modelo se encuentran acorde a los datos físicos proporcionados, el modelo puede ser usado de una manera confiable.

La mayoría de los modelos hidráulicos requieren alguna calibración, incluso para usos básicos; requieren de numerosos ajustes (Walski, 1986). Es importante validar el modelo hidráulico con los datos físicos existentes y en futuro se recomienda realizar la calibración del modelo, de esta manera se garantizaría el uso de un modelo hidráulico.

3.2.6.1 PROCEDIMIENTO VALIDACIÓN

A continuación se resumen el procedimiento de validación utilizado en el presente modelo de estudio y su respectivo diagrama de flujo, especificándose los pasos a seguir hasta la obtención de la validación del modelo matemático.

1. Realizar la carga de los datos correspondientes al modelo haciendo uso del software Epanet, los datos que han sido cargados, se ha asignado a cada nudo las demandas independientes de la presión y a las líneas, los valores de diámetros, longitudes, rugosidades.
2. Obtención del valor del agua no registrada del sistema, mediante la realización del balance hídrico de la red y cálculo de volúmenes de agua consumidos no registrados, obteniéndose únicamente el valor de agua fugada.
3. Cargar el patrón de consumo al modelo matemático.
4. Realizar la estimación inicial del coeficiente emisor de fugas, para esto es necesario calcular el valor de las longitudes aportantes a cada nudo de la red.
5. Se realiza la primera simulación del modelo matemático y de esta manera se obtiene un valor promedio inicial de las presiones del sistema. El tiempo de simulación se lo realiza durante la hora 0:00 hasta las 24:00h.
6. Se obtienen los reportes de caudales medios inyectados en el sistema de cada una de las fuentes de suministro para comparar el valor de caudales inyectados al sistema.
7. Se evalúa la precisión de la estimación del caudal de fugas simulado vs los caudales inyectados al sistema y si estos no son iguales, se realiza una nueva simulación del coeficiente emisor de fugas hasta que el error sea inferior al 0.01%.
8. Una vez que se haya repetido el paso anterior hasta que el error de los volúmenes inyectados sean admitidos, se ha validado el modelo matemático en estudio.

Siguiendo el procedimiento antes mencionado para la validación del modelo matemático, se presenta un resumen de los resultados de las diferentes iteraciones, aplicando los diferentes coeficientes emisores simulados y su respectivo porcentaje de error.

Tabla 29: Iteraciones coeficiente emisor, representación de fugas.

ITERACIONES REALIZADAS	COEFICIENTE SIMULADO	Q MEDIO INYECTADO DATOS JEF. AGUA GUANO (l/s)	Q MEDIO RESULTADO MODELO (l/s)	% DE ERROR
ITERACION 1	6.65E-05	78.25	76.60	2.10%
ITERACION 2	6.68E-05	78.25	78.00	0.31%
ITERACION 3	6.70E-05	78.25	78.16	0.11%
ITERACION 4	7.16E-05	78.25	78.20	0.06%
ITERACION 5	7.17E-05	78.25	78.24	0.01%
ITERACION 6	7.18E-05	78.25	78.25	0.00%

Se realizaron 6 iteraciones hasta que el porcentaje % de error sea el admitido, se realizó la evaluación de los caudales con el patrón de consumo del sistema. Se obtuvo el mismo valor de caudal fugado simulado que el calculado mediante el balance hídrico de la red.

3.2.6.2 DIAGRAMA DE FLUJO PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN DEL MODELO

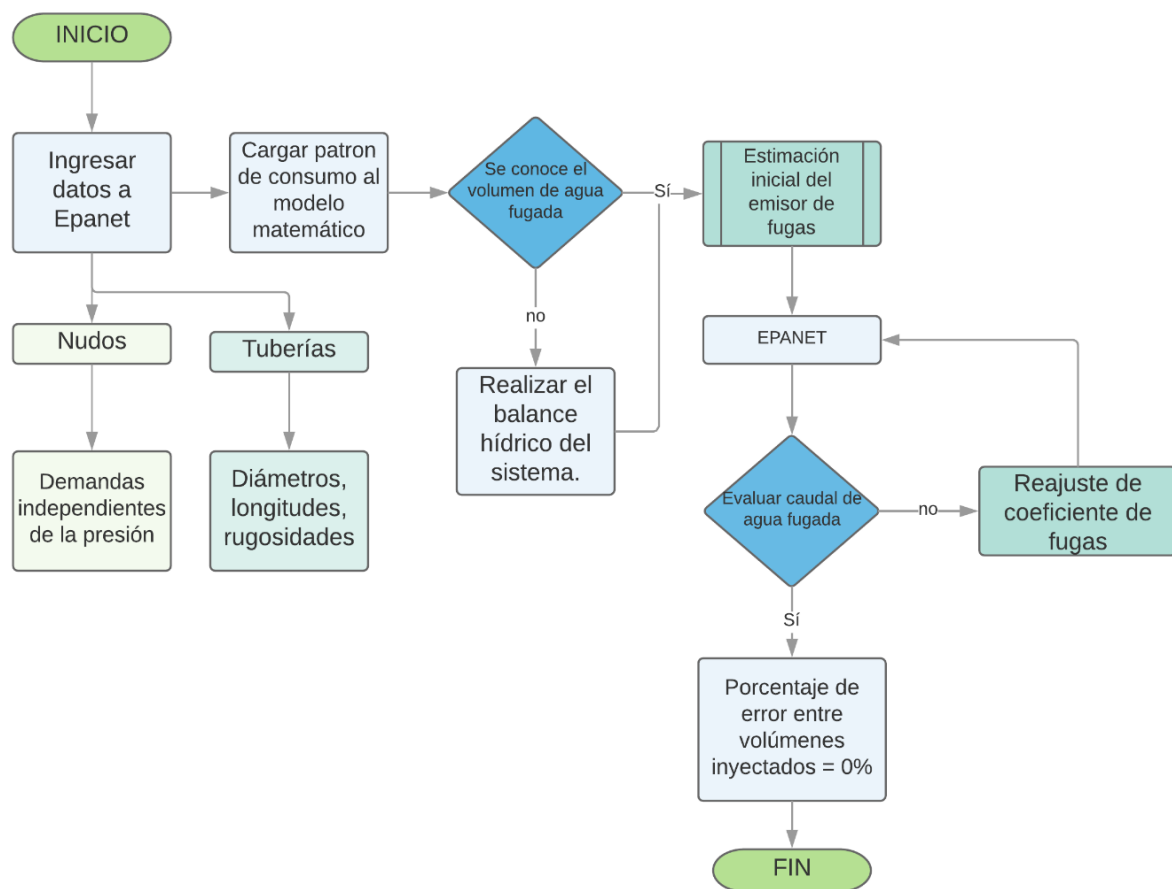


Figura 24: Diagrama de flujo validación modelo matemático.

Tabla 30: Cálculo representación de caudal fugado en el sistema.

INTERVALO HORARIO	CAUDAL MEDIO DEMANDADO (l/s)	CAUDAL INYECTADO EPANET (l/s)	P MEDIA (mca)	PATRON CONSUMO	CAUDAL FACTURADO (l/s)	CAUDAL NO FACTURADO (l/s)	CAUDAL CONSUMIDO (l/s)	CAUDAL FUGADO (l/s)
0-1	53.65	53.41	55.86	0.50	23.05	3.78	26.83	26.59
1-2	53.65	48.32	55.86	0.40	18.44	3.02	21.46	26.86
2-3	53.65	48.32	56.27	0.40	18.44	3.02	21.46	26.86
3-4	53.65	48.32	56.27	0.40	18.44	3.02	21.46	26.86
4-5	53.65	58.47	55.35	0.60	27.66	4.53	32.19	26.28
5-6	53.65	81.39	51.21	1.06	48.86	8.01	56.87	24.52
6-7	53.65	84.34	50.47	1.12	51.62	8.46	60.09	24.25
7-8	53.65	84.82	50.35	1.13	52.09	8.54	60.62	24.20
8-9	53.65	86.28	49.96	1.16	53.47	8.77	62.23	24.05
9-10	53.65	90.68	48.73	1.25	57.62	9.45	67.06	23.62
10-11	53.65	100.31	45.68	1.45	66.83	10.96	77.79	22.52
11-12	53.65	103.65	44.51	1.52	70.06	11.49	81.55	22.10
12-13	53.65	105.08	43.99	1.55	71.44	11.71	83.16	21.92
13-14	53.65	103.17	44.68	1.51	69.60	11.41	81.01	22.16
14-15	53.65	88.25	49.42	1.20	55.31	9.07	64.38	23.87
15-16	53.65	82.37	50.97	1.08	49.78	8.16	57.94	24.43
16-17	53.65	73.49	52.96	0.90	41.48	6.80	48.29	25.21
17-18	53.65	73.49	52.96	0.90	41.48	6.80	48.29	25.21
18-19	53.65	77.44	50.22	0.98	45.17	7.41	52.58	24.86
19-20	53.65	85.31	50.22	1.14	52.55	8.61	61.16	24.15
20-21	53.65	89.21	49.15	1.22	56.23	9.22	65.45	23.76
21-22	53.65	84.83	50.35	1.13	52.09	8.54	60.62	24.21
22-23	53.65	68.51	53.89	0.80	36.87	6.05	42.92	25.59
23-24	53.65	58.46	55.35	0.60	27.66	4.53	32.19	26.27
TOTALES		78.25	51.03	1.00	46.09	7.56	53.65	24.60

Una vez que se obtuvo un porcentaje de 0.00% de error en los caudales simulados e inyectados, se muestra los caudales inyectados por cada uno de los depósitos a la red, como se conoce cada depósito distribuye a una zona independiente de la ciudad.

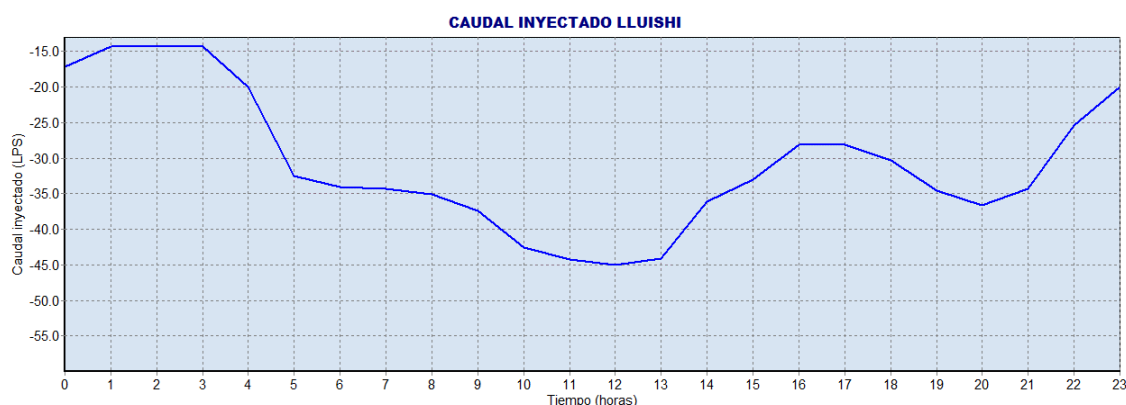


Figura 25: Reporte caudal inyectado Lluishi.

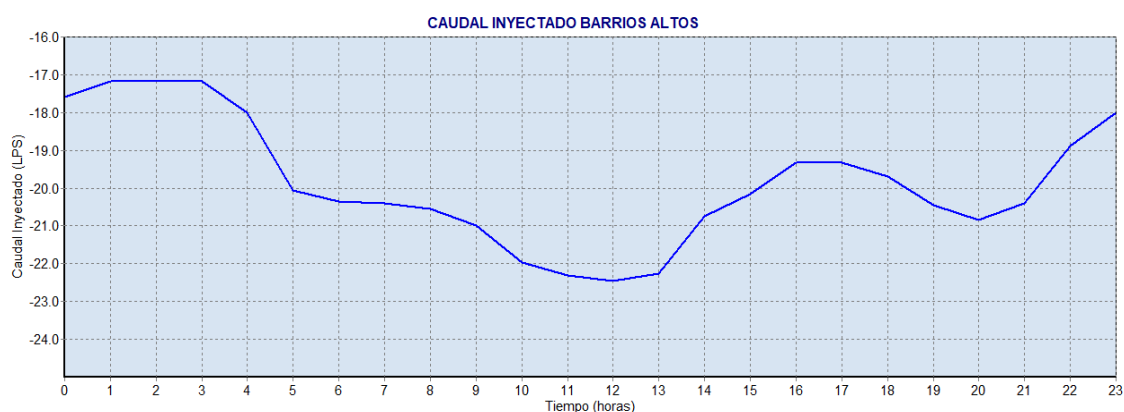


Figura 26: Reporte caudal inyectado Barrios Altos.

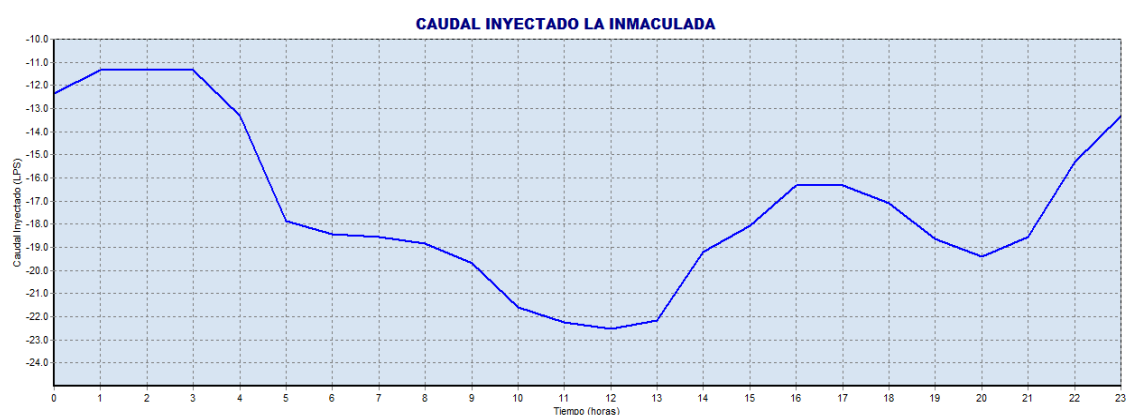


Figura 27: Reporte caudal inyectado La Inmaculada.

Con el modelo matemático validado, es necesario verificar la bondad del modelo realizando la comparación de datos tomados en campo como por ejemplo presiones, una vez que el modelo haya sido verificado se puede mejorar su eficiencia corrigiendo el valor de rugosidades, longitudes, diámetros verificados in situ.

CAPÍTULO IV:

DIAGNÓSTICO SISTEMA ACTUAL, ANÁLISIS Y RESULTADOS

4. DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE GUANO.

Es importante conocer el estado actual del sistema de agua potable, en este capítulo se determinará cual es el diagnóstico de la red, identificando posibles falencias y sectores críticos en el funcionamiento del sistema y de esta manera mejorar la gestión del abastecimiento.

Los datos entregados por parte de la Jefatura de Agua Potable se usarán para realizar la evaluación del sistema, aunque han sido datos insuficientes se los ha considerado para realizar el análisis respectivo.

Una vez verificado el modelo matemático, se procede a realizar el diagnóstico del sistema de agua potable actual del cantón Guano, el análisis se basará en el estudio de presiones, velocidades, caudales y pérdidas unitarias en el sistema; para una mejor interpretación de resultados se describirá la problemática en cada uno de los sectores del sistema.

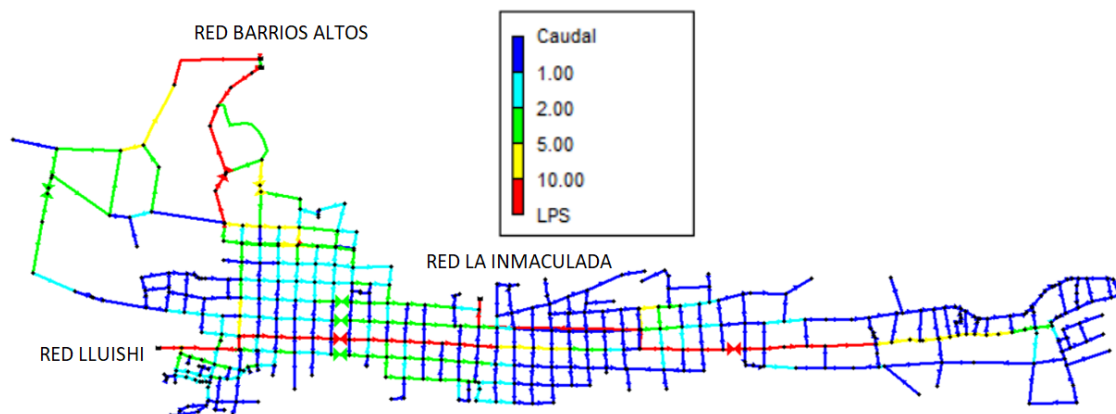


Figura 28: Resultados caudal, modelo matemático.

4.1. ESTUDIO DE PRESIONES Y VELOCIDADES

Todo sistema de agua potable debe garantizar un servicio óptimo a los usuarios, por tal razón es importante analizar la variación de parámetros como la presión y la velocidad, siendo estos indicadores del funcionamiento hidráulico del sistema de abastecimiento de agua potable. La presión, velocidad, pérdidas unitarias deben encontrarse siempre dentro de un rango permisible que refleje el buen funcionamiento del sistema.

Las presiones altas pueden generar fisuras en la red y así el incremento de caudal fugado del sistema; las presiones altas producen daños a los aparatos hidrosanitarios de las viviendas ocasionando fugas interiores en los domicilios.

Al igual que las presiones máximas generan problemas, **las presiones bajas** producen problemas de índole social debido a que un sistema de agua potable debe garantizar un servicio eficiente a sus usuarios, en el caso de tener presiones mínimas no se puede hacer un correcto uso de electrodomésticos y realizar de manera adecuada las actividades cotidianas.

La velocidad es un parámetro importante a la hora de evaluar un abastecimiento de agua potable, **las velocidades altas** generan desgaste en las paredes de la tubería debido a la fricción reduciendo así su vida útil; mientras que **las velocidades bajas** afectan a la calidad del agua del sistema de distribución y pueden provocar problemas de sedimentación en tuberías.

Se evaluarán las fluctuaciones de presiones y velocidades que presenta el sistema en los dos escenarios más desfavorables del sistema correspondientes a hora valle y hora punta.

Se tomará como base para el análisis la normativa vigente nacional e internacional, de esta manera se verificará el cumplimiento de los parámetros de presión y velocidad en el sistema; de igual manera se analizará el caudal inyectado al sistema, como las pérdidas unitarias que se generen en las tuberías.

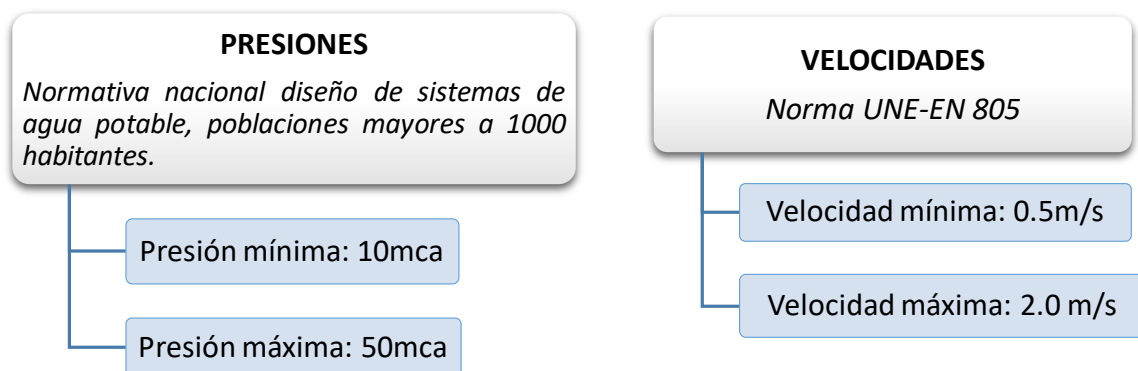


Figura 29: Normativa utilizada evaluación presiones y velocidades.

La evaluación de presiones se realizará con un valor mínimo de 15 mca, debido a que el valor estipulado en la normativa de 10 mca es un valor poco restrictivo, se tiene conocimiento que en la ciudad existen viviendas de 1,2 y 3 niveles en su gran mayoría, y siendo necesaria una presión adecuada para el uso de los aparatos hidrosanitarios, se ha establecido trabajar con una presión adecuada que garantice el buen uso de los mismos sin inconvenientes a los usuarios.

4.1.1 DIAGNÓSTICO SECTOR BARRIOS ALTOS

El sector de los barrios altos se encuentra ubicado en la zona Norte - Oeste de la ciudad, abastece a 1,334 abonados, aproximadamente a una cantidad de 4,840 habitantes, posee un tanque de regulación y reserva de 250 m³.



Figura 30: Implantación red en sector Barrios Altos.

La zona de los barrios altos, se encuentra comprendida entre las cotas 2836 msnm y 2760 msnm, es un sector que presenta grandes desniveles, en el mapa de cotas se observa la variación de alturas a lo largo de la zona de estudio.

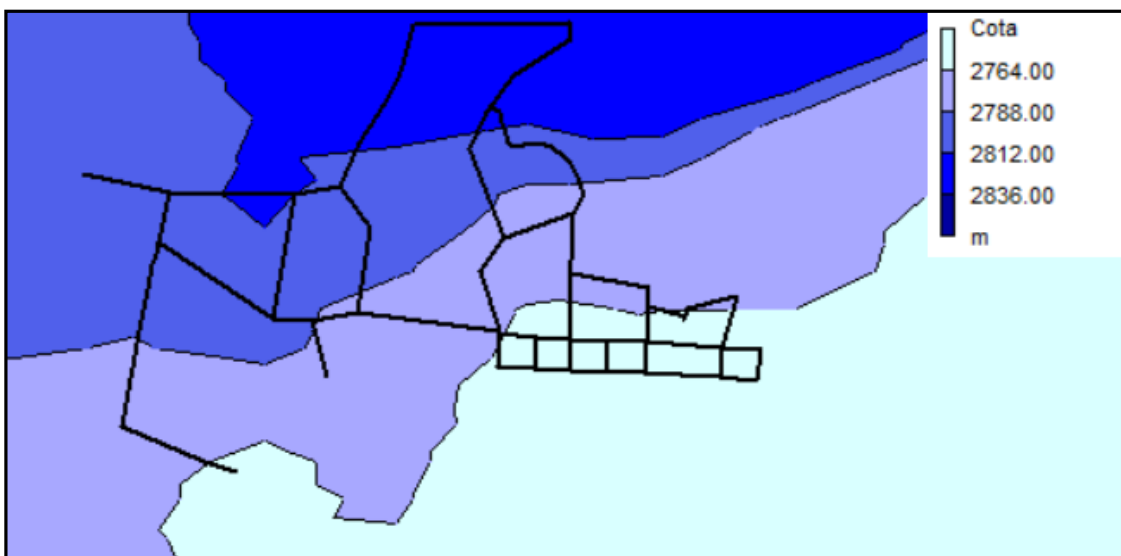


Figura 31: Representación cotas Barrios Altos.

4.1.1.1 PRESIONES DEL SISTEMA

En este sector se localizan zonas de presiones elevadas fuera de lo establecido en la normativa, esto se debe a que las cotas en este sector son mucho menores que el depósito de regulación, además de contar con válvulas reductoras de presión que no se encuentran cumpliendo su función.

Las presiones mínimas se localizan en zonas cercanas al tanque de almacenamiento y regulación.

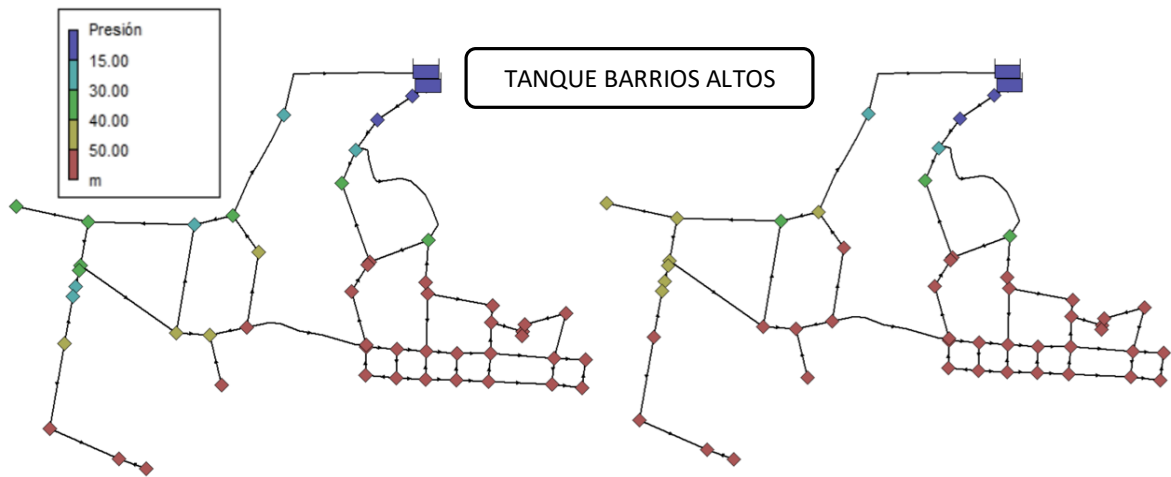


Figura 32: Presiones mínimas y máximas sector Barrios Altos.

4.1.1.2 VELOCIDADES

Existen tuberías que reflejan velocidades fuera del funcionamiento normal, en las zonas que presentan problemas de velocidades altas existe una gran variación de nivel en las cotas, de igual manera se debe verificar in situ el diámetro de la tubería colocada. Si no se interviene en los sectores problema, a futuro se producirán problemas producto del exceso de velocidades.

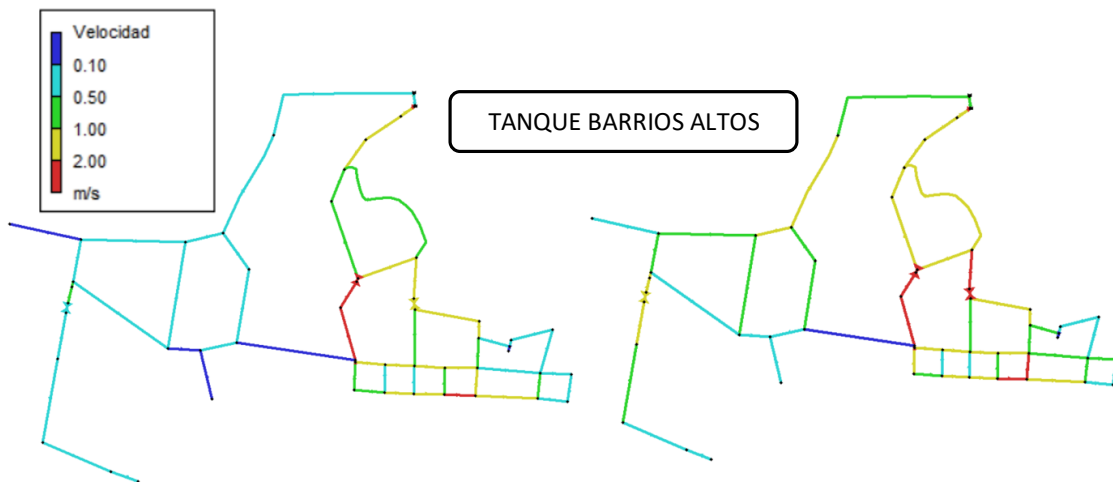


Figura 33: Velocidades mínimas y máximas sector Barrios Altos.

4.1.1.3 CAUDALES

Las tuberías correspondientes a las líneas principales de distribución son las que transportan los mayores caudales en el sector, ya que el tanque de los barrios altos abastece a la zona alta de la ciudad y da servicio a un barrio de la zona media (Lluishi).

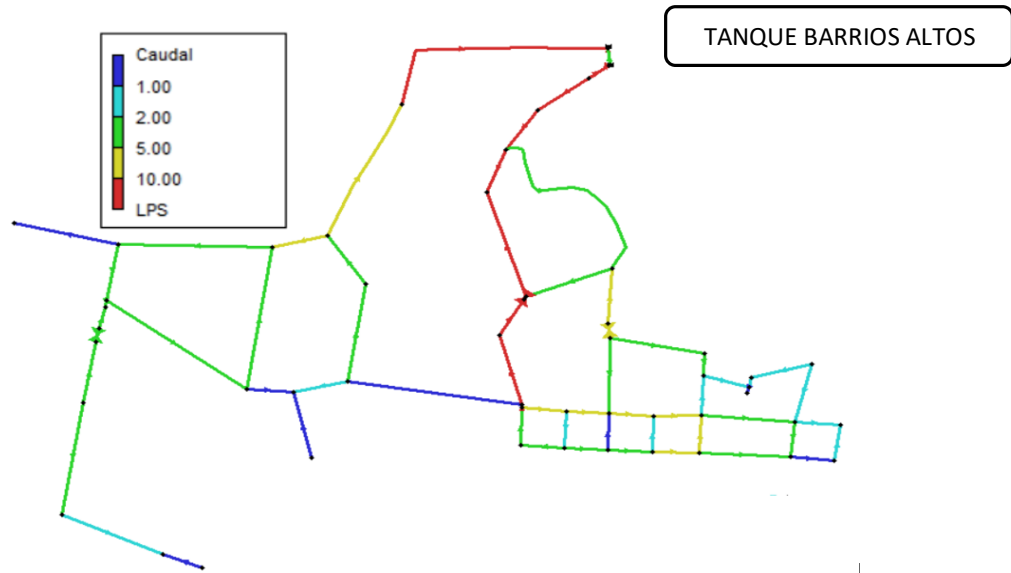


Figura 34: Caudal medio diario en sector Barrios Altos.

Como se verifica en el patrón de consumo, los caudales máximos se registran a las 12:00, el caudal máximo corresponde un valor de 37.50 l/s

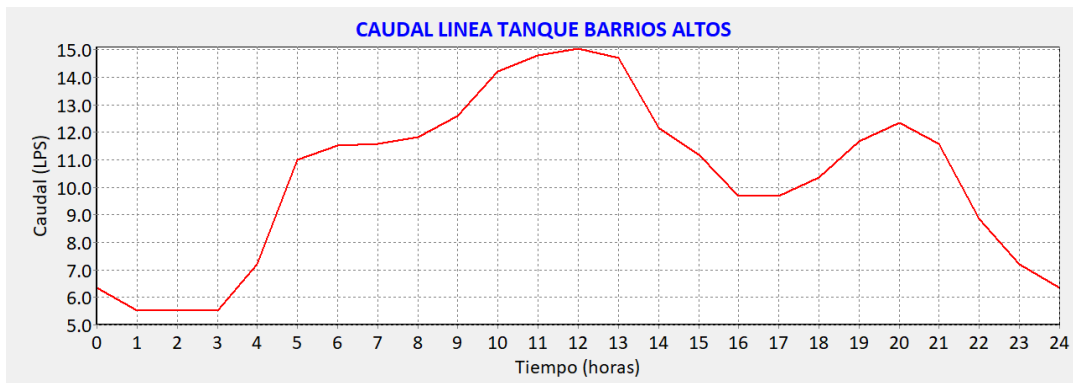


Figura 35: Caudal inyectado depósito de regulación de los Barrios Altos.

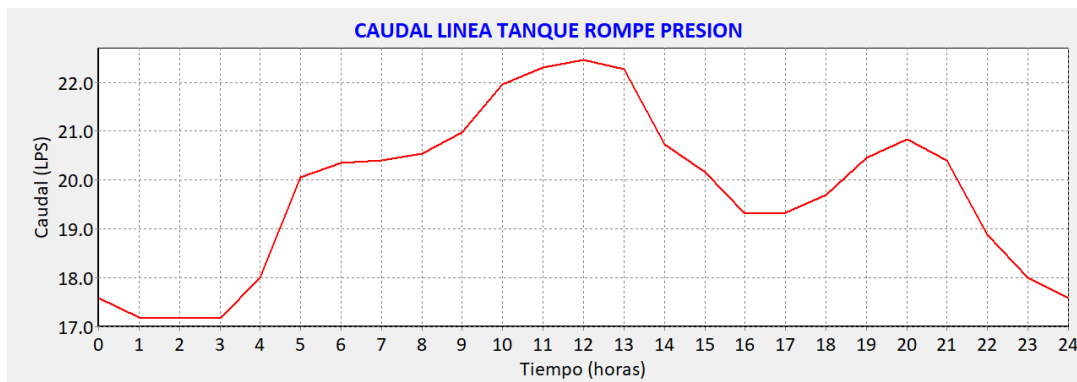


Figura 36: Caudal inyectado por tanque rompe presión de los Barrios Altos.

4.1.1.4 PÉRDIDAS UNITARIAS

Se puede verificar que varias tuberías presentan altas pérdidas de carga en las tuberías.

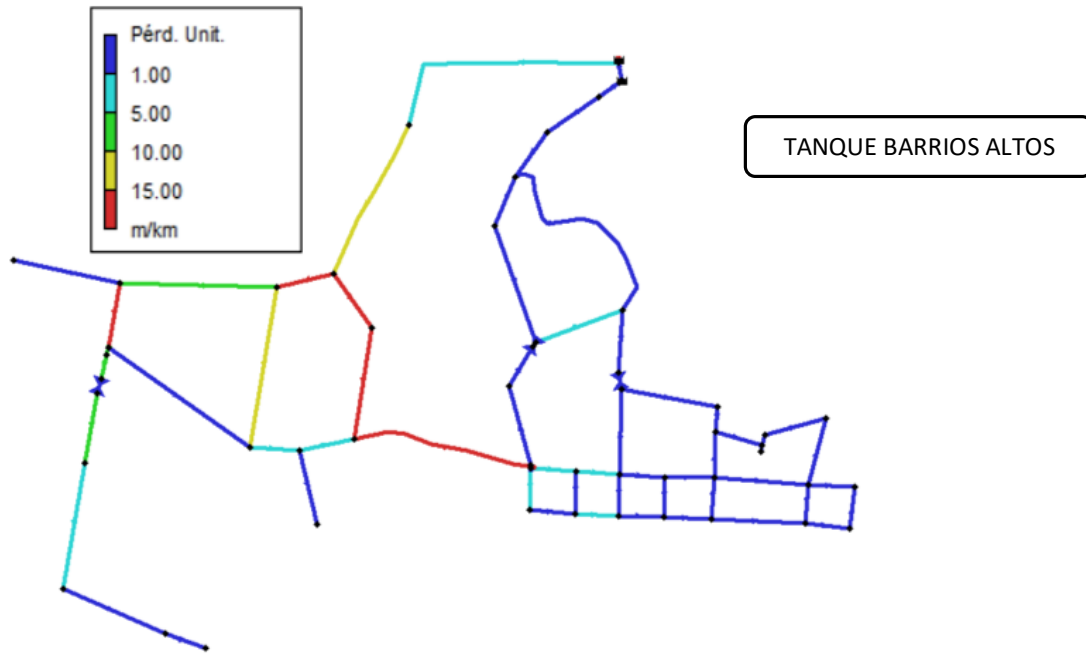


Figura 37: Pérdidas unitarias Barrios Altos.

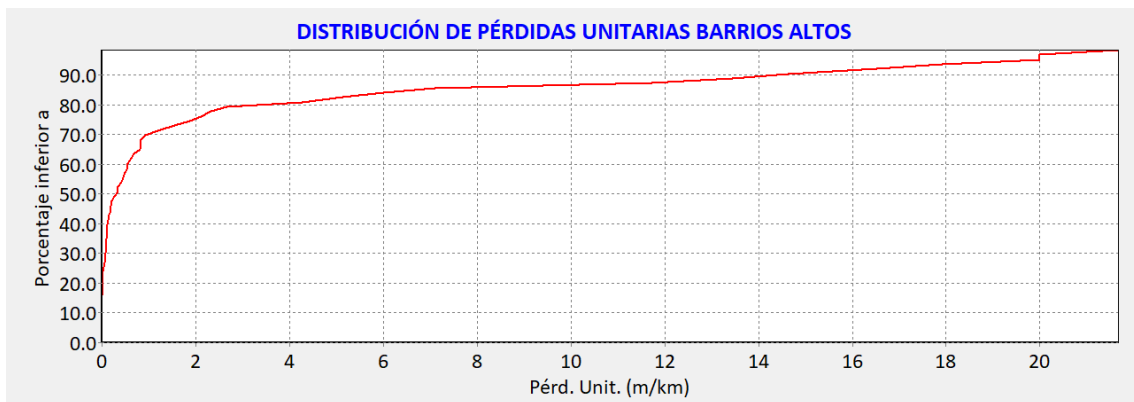


Figura 38: Distribución de pérdidas unitarias Barrios Altos.

4.1.2 DIAGNÓSTICO SECTOR LLUSHI

La zona media se encuentra en el centro de la ciudad, los tanques de regulación se ubican sobre la colina de Lluishi, son los encargados del suministro de agua a este sector, poseen un volumen de 300 m³ cada uno.

La red de Lluishi se extiende sobre un área de 1.90 km², en esta zona se desarrollan las principales actividades comerciales de la ciudad al igual que es la zona con mayor densidad poblacional; en este sector se abastece a un total de 1,807 abonados, siendo esta la red con más cantidad de usuarios del cantón.



Figura 39: Implantación red de agua potable, sector Lluishi.

Existe un desnivel de 80 m entre la zona Este y Oeste del sector como se puede observar en la Figura 40, la ciudad mantiene una pendiente constante en esta zona, favoreciendo el diseño por gravedad del sistema de agua potable.

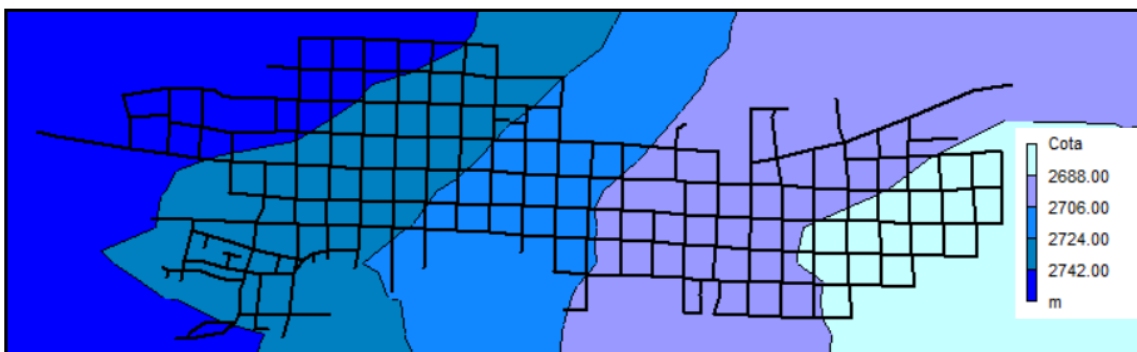


Figura 40: Representación cotas Lluishi.

4.1.2.1 PRESIONES DEL SISTEMA

En esta zona se observan problemas de presiones que superan los límites superiores e inferiores permitidos. El problema de presiones mínimas ocurre en la zona alta del sector debido a las pérdidas que se ocasionan en el trayecto de distribución del agua y tienen lugar a las horas punta correspondiente al medio día.

Las presiones máximas ocurren a las horas de menor consumo y este es el mayor problema que se evidencia en el sistema, a más de ser una causa de fugas de agua en la red, genera problemas en los aparatos sanitarios de los usuarios; en esta zona se ubican 4 válvulas reductoras de presión las mismas que por la falta de mantenimiento se encuentran inhabilitadas.

En el siguiente capítulo se plantearán soluciones para los problemas detectados en el diagnóstico de la red.

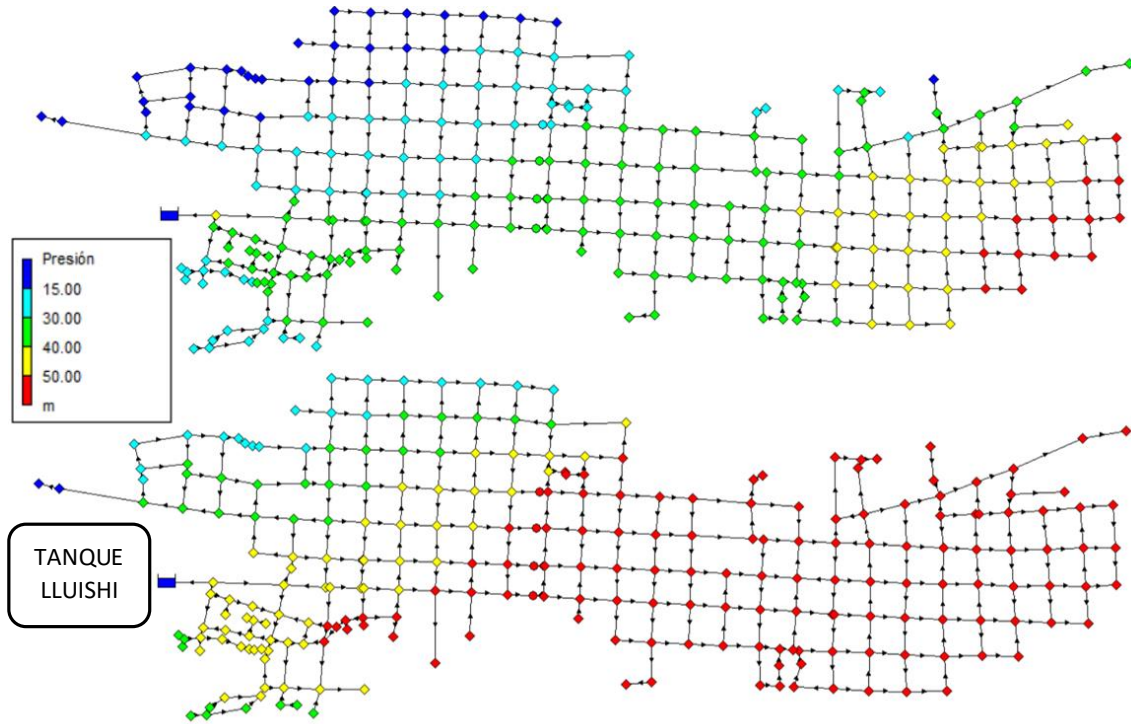


Figura 41: Presiones mínimas y máximas sector Lluishi.

4.1.2.2 VELOCIDADES

El único problema de velocidades máximas se produce en la tubería de distribución principal que sale desde el tanque de regulación, correspondiente a tubería de 200mm de diámetro y PVC. Se debe comprobar in situ el diámetro instalado para verificar la simulación del modelo matemático.

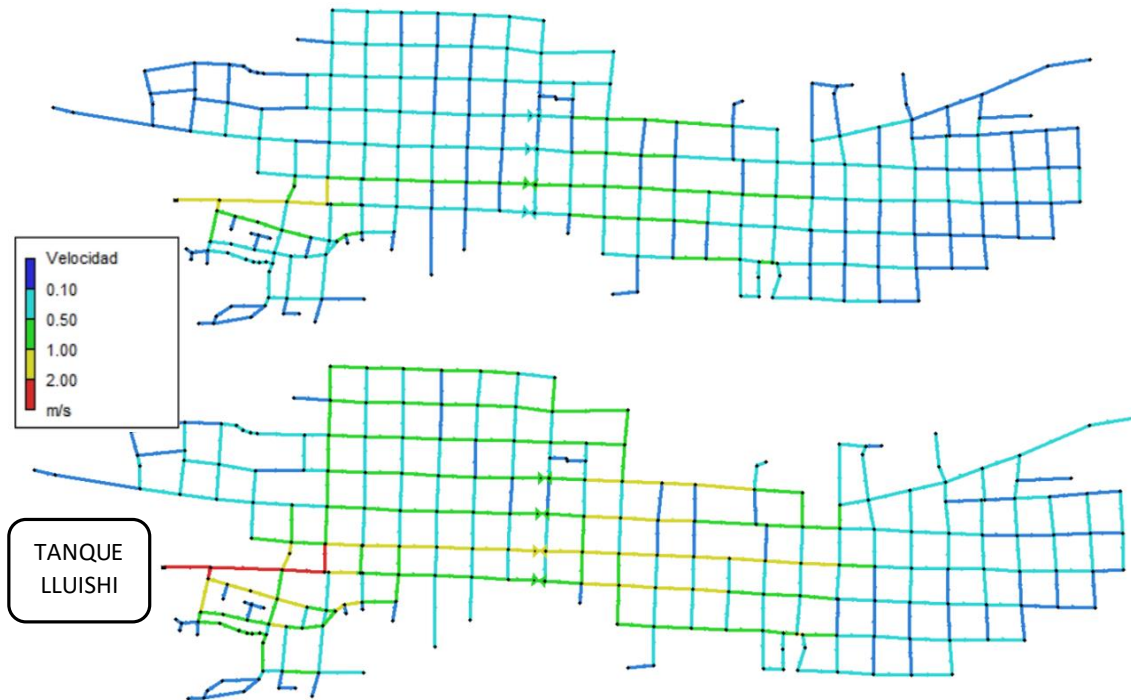


Figura 42: Velocidades mínimas y máximas sector Lluishi.

4.1.2.3 CAUDALES

Se evidencia el recorrido de mayor caudal por la tubería principal de distribución, el caudal máximo se registra a las 12:00 horas, correspondiente a la hora punta del patrón de consumo de la ciudad.

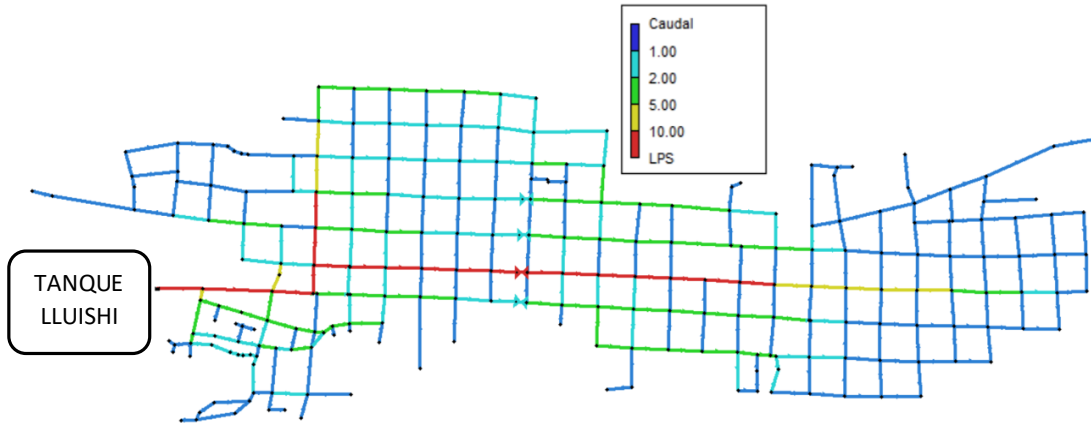


Figura 43: Caudal medio diario sector Lluishi.

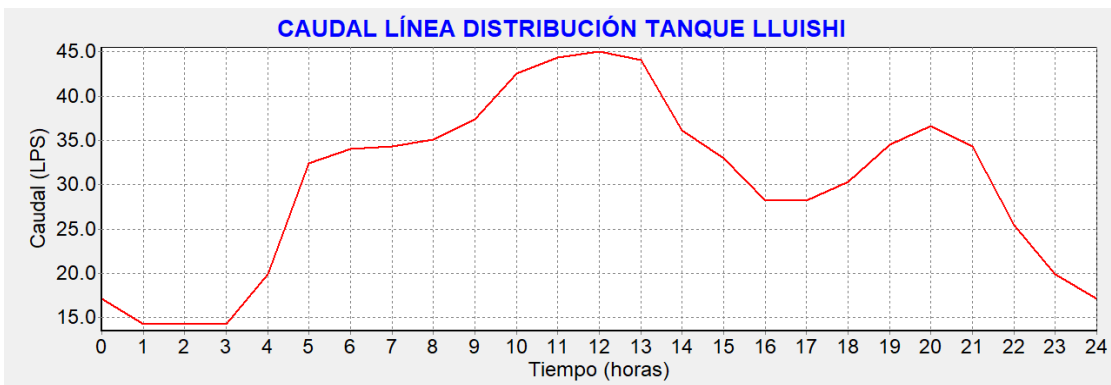


Figura 44: Caudal inyectado depósito de regulación Lluishi.

4.1.2.4 PÉRDIDAS UNITARIAS

La red tiene tuberías con pérdidas superiores a los 15mca/km, las pérdidas se presentan en zonas donde los diámetros se encuentran probablemente subdimensionados.

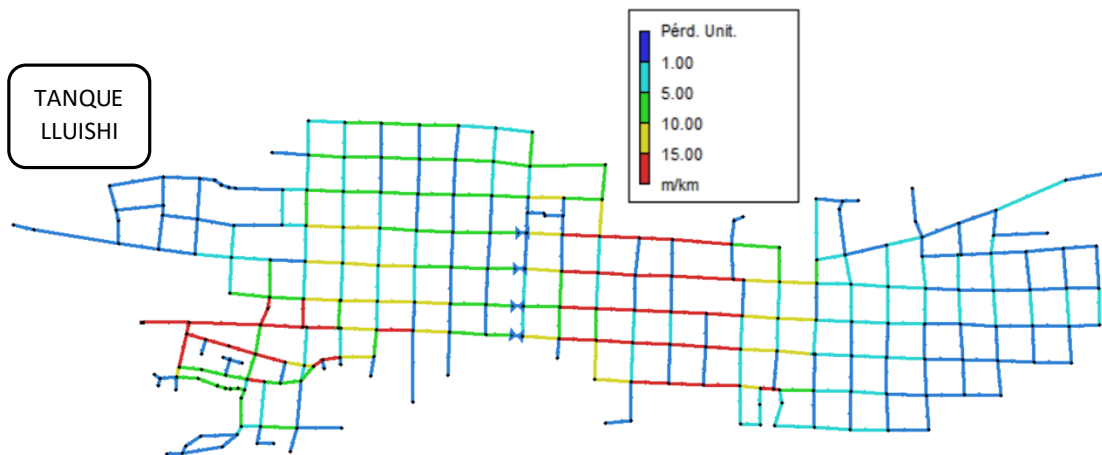


Figura 45: Pérdidas unitarias sector Lluishi.

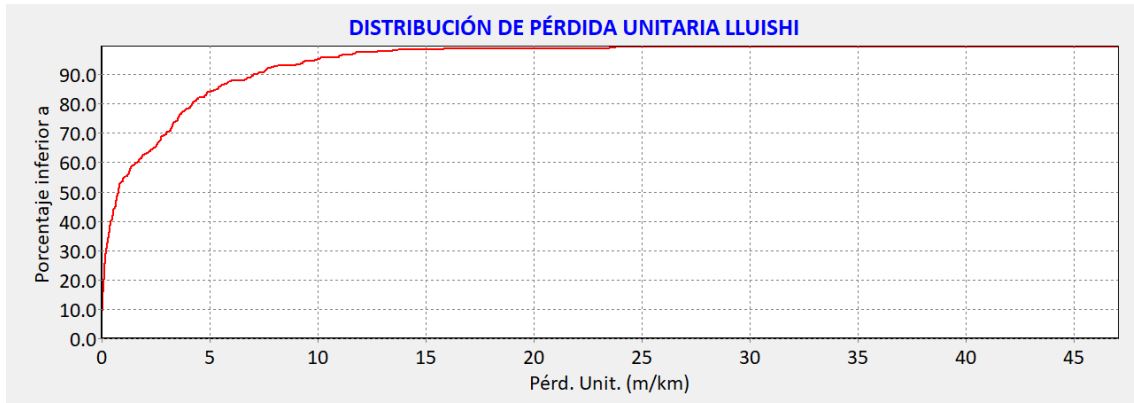


Figura 46: Distribución de pérdidas unitarias sector Lluishi.

4.1.3 DIAGNÓSTICO SECTOR LA INMACULADA

El sector La Inmaculada se ubica en la zona Este de la ciudad, tiene un área de influencia de 2.05 km², en esta zona se brinda el servicio de agua potable a 1,162 usuarios, el uso de suelo en este sector es mixto, quiere decir se combina entre residencial y agricultura.

El tanque denominado La Inmaculada es el que distribuye de agua a toda la población del sector, su capacidad es de 300m³.

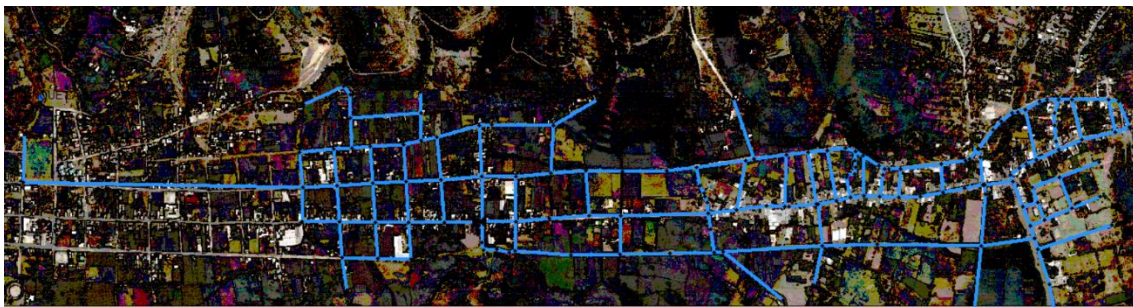


Figura 47: Implantación red sector La Inmaculada.

Esta zona se asienta sobre la parte más baja de la ciudad, en la parte norte colinda con una superficie montañosa, mientras que al sur se encuentra adyacente al Río Guano y pantanos.

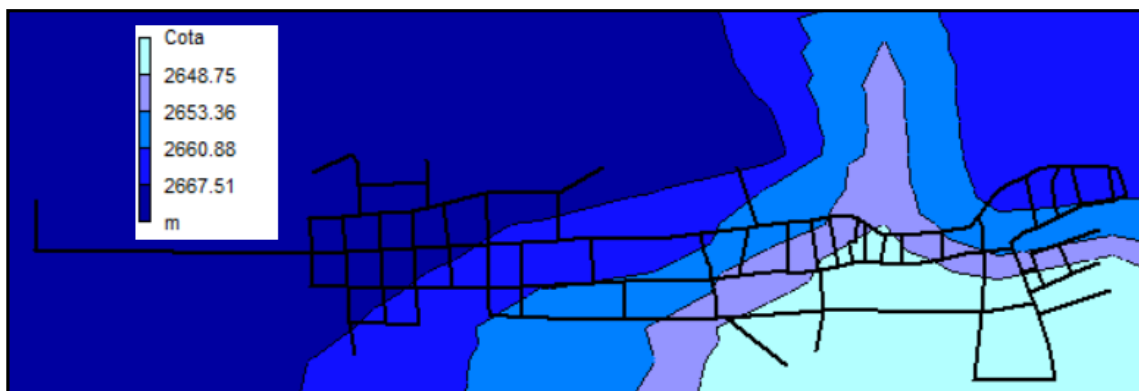


Figura 48: Representación cotas sector La Inmaculada.

4.1.3.1 PRESIONES DEL SISTEMA

El tanque La Inmaculada se encuentra a una cota menor en comparación al tanque ubicado sobre la colina de LLuishi, debido a esta razón en esta zona se evidencia el problema de presiones mínimas en las zonas altas. Existen puntos donde se ha comprobado en campo que la presión del agua en horas punta es mínima.

Las presiones máximas se producen en los puntos más bajos de la red a las horas de menor demanda de agua; existe actualmente una válvula reductora de presión en la red.

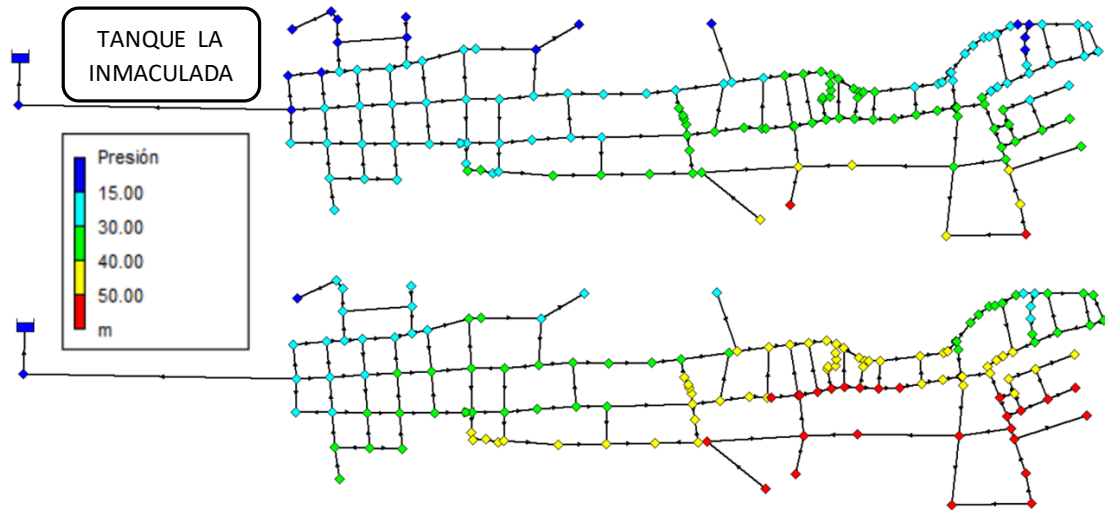


Figura 49: Presiones mínimas y máximas sector La Inmaculada.

4.1.3.2 VELOCIDADES

El rango de velocidades de esta red, se encuentran dentro de los límites permitidos, teniéndose una velocidad máxima de 1.29 m/s en la tubería de distribución principal del tanque la inmaculada. Se debe verificar las presiones mínimas para evitar problemas de calidad del agua.

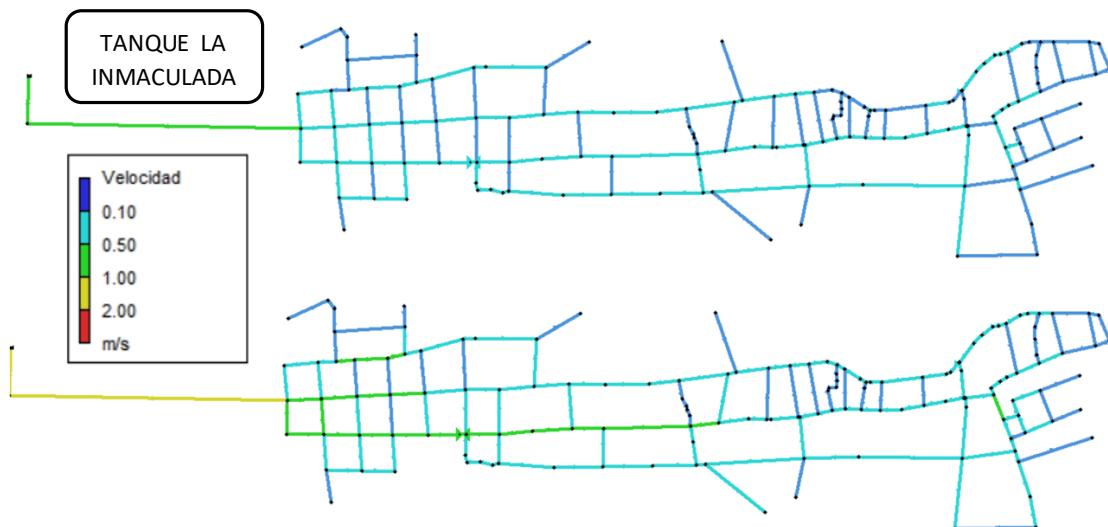


Figura 50: Velocidades mínimas y máximas sector La Inmaculada.

4.1.3.3 CAUDALES

Se observa que el ramal principal es el que lleva el caudal máximo de la red, esto nos permite verificar que tuberías son las que se encuentran sobrecargadas, el caudal máximo de la red en este sector es de 22.52 l/s a la hora punta correspondiente a las 12:00 horas.

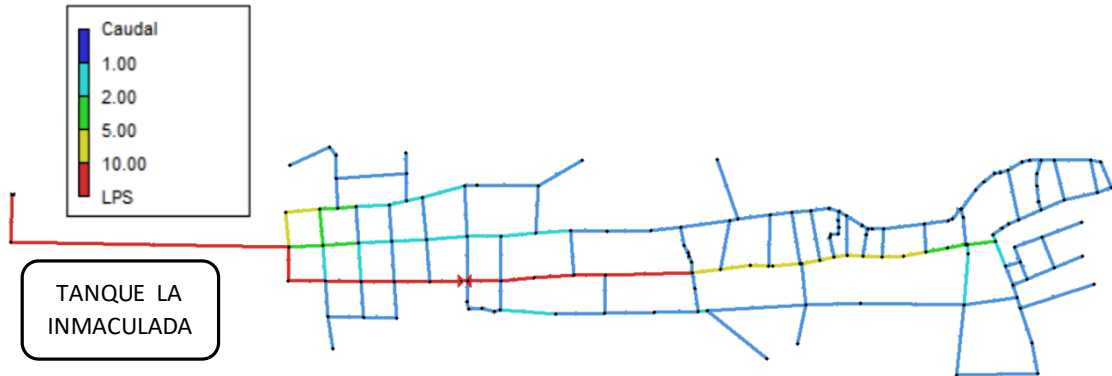


Figura 51: Cadual medio diario sector La Inmaculada.

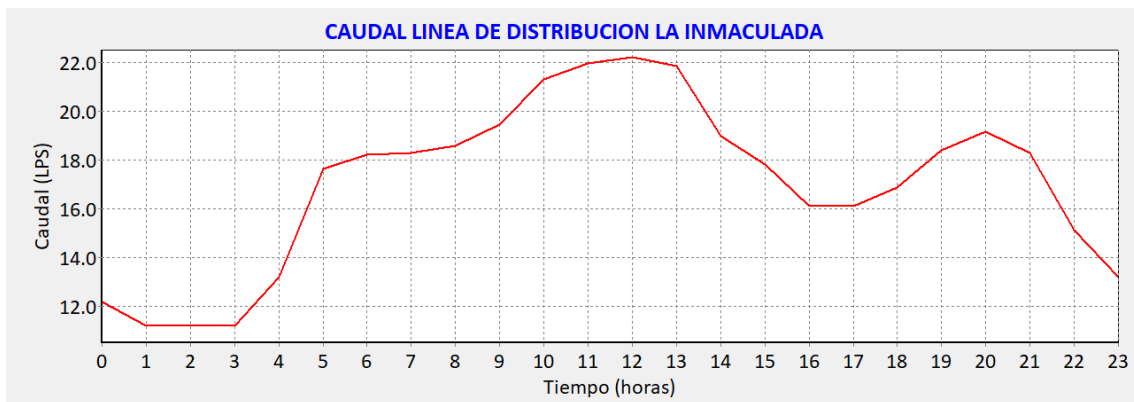


Figura 52: Caudal inyectado tanque de regulación La Inmaculada.

4.1.3.4. PÉRDIDAS UNITARIAS

Según los resultados del modelo matemático en esta zona no se verifican problemas por pérdidas unitarias en el sistema, se debería a que en la zona las tuberías se encuentran sobredimensionadas para la demanda actual.

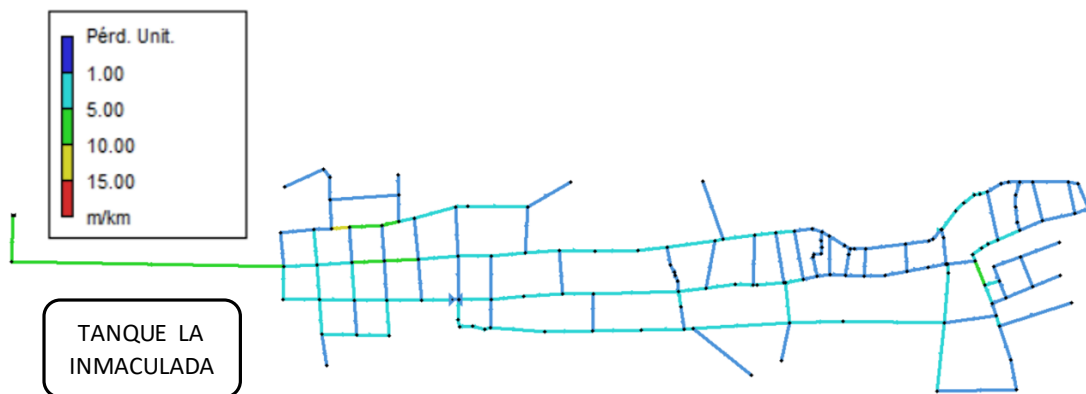


Figura 53: Pérdidas unitarias sector La Inmaculada.

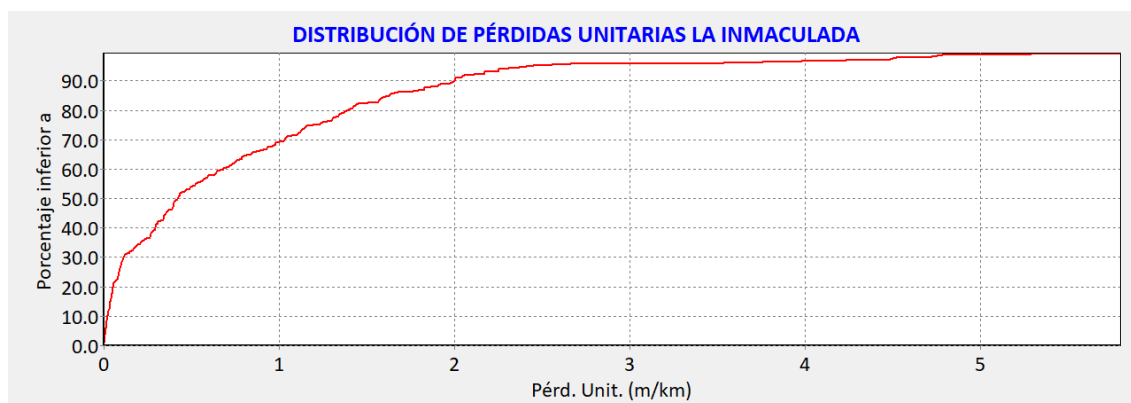


Figura 54: Distribución de pérdidas unitarias sector La Inmaculada.

4.2 ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN HORARIA DE CAUDALES DURANTE 24 HORAS

El modelo matemático se encuentra representando el funcionamiento diario de la red de agua potable, una vez que se ha ingresado la curva de modulación horaria de la ciudad, la representación de fugas por medio de los coeficientes emisores, diámetros internos de las tuberías; se cuenta con el valor de las demandas registradas y no registradas en los nudos de consumo, de esta manera se obtuvo la evolución de los caudales a lo largo del día, reflejándose los resultados en la Tabla 31 y Figura 55.

Tabla 31: Evolución horaria de caudales durante 24 horas.

	A		B	C	D=B+C	E=A-D
INTERVALO HORARIO	Q INYECTADO (l/s)	PATRON DE CONSUMO	Q CONSUMIDO FACTURADO (l/s)	Q CONSUMIDO NO FACTURADO (l/s)	Q CONSUMIDO (l/s)	Q FUGADO (l/s)
0-1	53.41	0.50	23.05	3.78	26.83	26.59
1-2	48.32	0.40	18.44	3.02	21.46	26.86
2-3	48.32	0.40	18.44	3.02	21.46	26.86
3-4	48.32	0.40	18.44	3.02	21.46	26.86
4-5	58.47	0.60	27.66	4.53	32.19	26.28
5-6	81.39	1.06	48.86	8.01	56.87	24.52
6-7	84.34	1.12	51.62	8.46	60.09	24.25
7-8	84.82	1.13	52.09	8.54	60.62	24.20
8-9	86.28	1.16	53.47	8.77	62.23	24.05
9-10	90.68	1.25	57.62	9.45	67.06	23.62
10-11	100.31	1.45	66.83	10.96	77.79	22.52
11-12	103.65	1.52	70.06	11.49	81.55	22.10
12-13	105.08	1.55	71.44	11.71	83.16	21.92
13-14	103.17	1.51	69.60	11.41	81.01	22.16

14-15	88.25	1.20	55.31	9.07	64.38	23.87
15-16	82.37	1.08	49.78	8.16	57.94	24.43
16-17	73.49	0.90	41.48	6.80	48.29	25.21
17-18	73.49	0.90	41.48	6.80	48.29	25.21
18-19	77.44	0.98	45.17	7.41	52.58	24.86
19-20	85.31	1.14	52.55	8.61	61.16	24.15
20-21	89.21	1.22	56.23	9.22	65.45	23.76
21-22	84.83	1.13	52.09	8.54	60.62	24.21
22-23	68.51	0.80	36.87	6.05	42.92	25.59
23-24	58.46	0.60	27.66	4.53	32.19	26.27
PROMEDIO	78.25	1.00	46.09	7.56	53.65	24.60

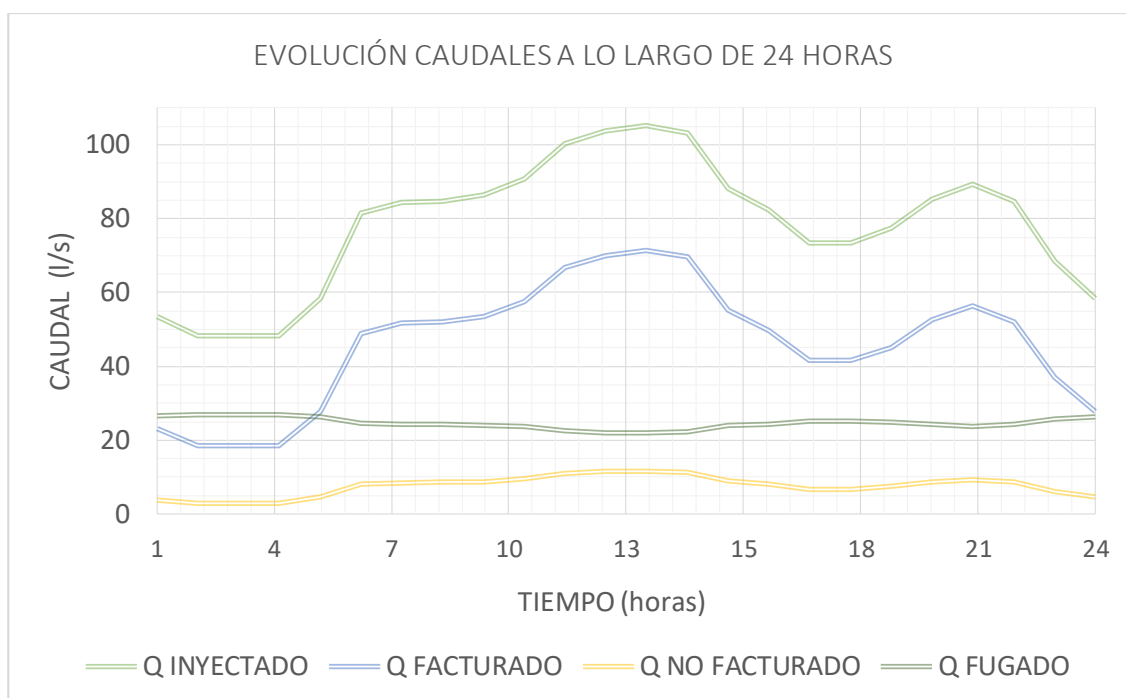


Figura 55: Evolución caudales a lo largo de 24 horas.

4.3 ANÁLISIS BALANCE HÍDRICO TÉCNICO DE LA RED

Anteriormente se realizó el balance hídrico de la red para conocer el caudal de agua incontrolada y fugada del sistema, ahora se realizará un análisis de los rendimientos volumétricos obtenidos y realizar su respectiva valoración, de esta manera se podrá conocer el estado actual de la red en función de los indicadores calculados y así determinar los puntos de análisis donde se puede mejorar la eficiencia del abastecimiento de agua potable.

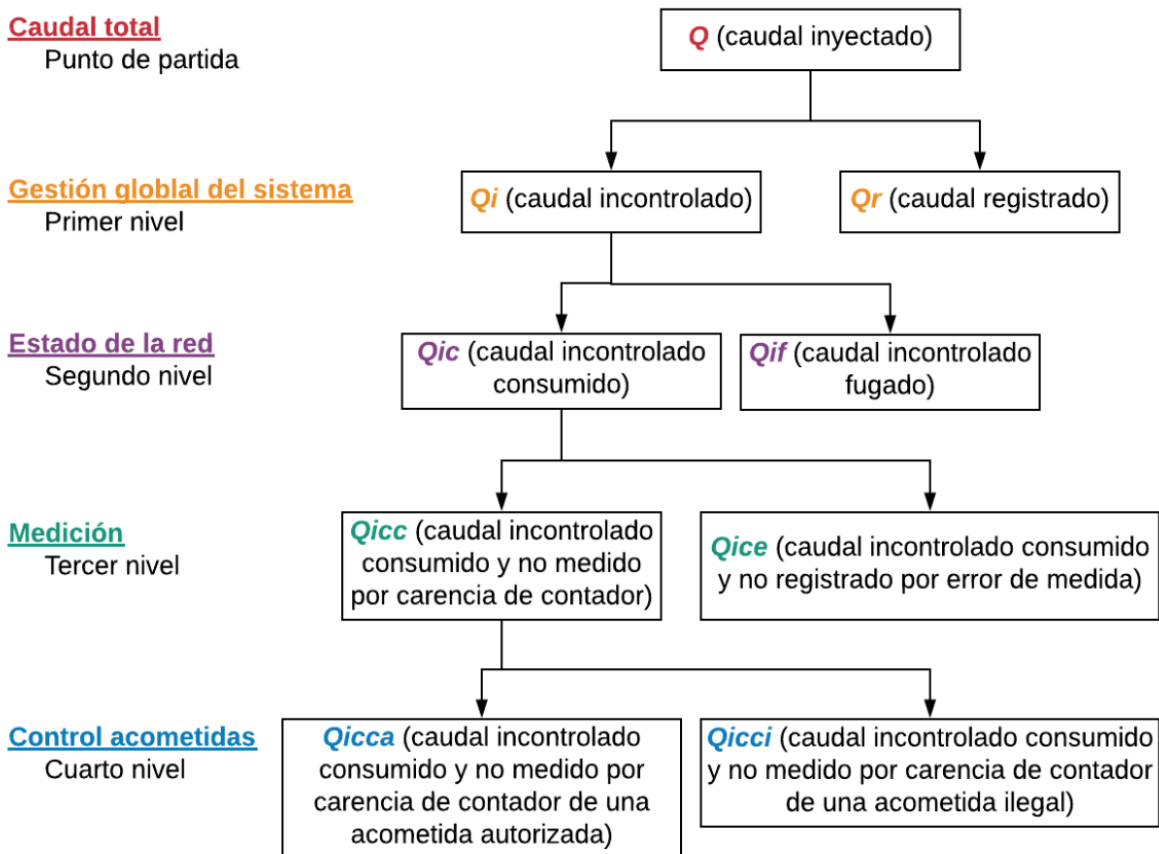


Figura 56: Balance hídrico técnico.

Tabla 32: Datos iniciales para balance hídrico técnico.

DATOS ABASTECIMIENTO AGUA POTABLE GUANO BALANCE HÍDRICO TÉCNICO		
Caudal inyectado (Q):	2'433,736	m ³ /año
Caudal registrado (Qr):	1'433,663	m ³ /año
Caudal incontrolado (Qi):	1'000,073	m ³ /año
Caudal incontrolado consumido (Qic):	235,053	m ³ /año
Caudal incontrolado fugado (Qif):	765,020	m ³ /año

Tabla 33: Rendimientos volumétricos red inicial

RENDIMIENTOS VOLUMÉTRICOS	
Rendimiento global del sistema $\eta_g = Q_r/Q$	58.91%
Rendimiento de la red $\eta_r = Q_s/Q$	68.57%
Rendimiento de la medición $\eta_m = Q_r/Q_s$	85.91%

El valor del Q_s se obtendrá de la siguiente ecuación:

$$Q_s = Q_r + Q_{ic}$$

Tabla 34: Valoración rendimientos volumétricos.

VALORACIÓN RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO	
RANGO	CALIFICACIÓN
$\eta_g \geq 0.9$	Excelente
$0.8 \leq \eta_g < 0.9$	Bueno
$0.7 \leq \eta_g < 0.8$	Regular
$0.6 \leq \eta_g < 0.7$	Malo
$0.5 \leq \eta_g < 0.6$	Inaceptable
$0.5 < \eta_g$	Inadmisible

Después de haber realizado el análisis del balance hídrico técnico del abastecimiento de la ciudad de Guano, se ha obtenido como resultado un rendimiento global del sistema de 58.91%, según la valoración otorgada por la AWWA se le asigna una calificación de **“inaceptable”**.

Este balance fue realizado con valores medios y datos estimados (caudales consumidos no facturados), debido a la escases de datos proporcionados por la institución administradora del servicio de agua potable de la ciudad.

4.3.1 BALANCE HÍDRICO SEGÚN LA IWA

Realizar un balance hídrico tiene como objetivo tomar en cuenta los componentes que se suministran y extraen de un sistema de abastecimiento de agua en un periodo de tiempo determinado.

El balance de la IWA (International Water Association), no sigue criterios de medición universal, considera que las pérdidas reflejadas en el sistema se encuentran en las acometidas, se trabajará con la obtención de varios índices, uno de ellos es el *Índice de fugas estructural (IFE)*, *Volumen incontrolado fugado (VIF)* y el *Umbral mínimo de fugas (UMF)*.

El índice de fugas estructural (IFE), es el indicador relativo de fugas más utilizado, pero sobretodo el de mayor proyección futura; describe que el nivel de fugas de una red depende de longitud total de las tuberías, el número de acometidas existentes, longitud total de las acometidas y de la presión de la red; es el resultado de la siguiente relación:

$$IFE = \frac{VIF}{UMF}$$

El volumen incontrolado fugado (VIF), determina la relación entre el caudal de agua fugada y el número de acometidas de la red.

$$VIF = \frac{V_{if}}{dia * N^{\circ} \text{ acometidas}}$$

Donde:

V_{if}: volumen fugado (l).

N_a: número total de acometidas existentes.

El umbral mínimo de fugas (UMF): contempla el mínimo nivel de fugas ideales que se podría alcanzar con las condiciones actuales.

$$UMF = \frac{(A * L_t + B * N_a + C * L_a) * p}{N_a}$$

Donde:

L_t: Longitud total de las tuberías de distribución de la red en (km).

N_a: número total de acometidas existentes.

L_a: suma de las longitudes de todas las acometidas en (km).

P: presión media del sistema en (mca).

A, B y C: constantes que ponderan de la influencia del parámetro que acompañan.

“Las constantes toman los siguientes valores A= 18, B=0.8 y C= 25 estos valores se calcularon a partir del análisis estadístico de datos procedentes de 27 abastecimientos ubicados en 20 países diferentes” (Una aproximación a la problemática de las pérdidas de agua en redes urbanas, 2005).

A continuación se realiza el cálculo del balance hídrico según la IWA, como datos de partida se muestra la Tabla 35.

Tabla 35: Datos iniciales balance hídrico IWA.

DATOS ABASTECIMIENTO AGUA POTABLE GUANO BALANCE HÍDRICO IWA		
Volumen consumido autorizado facturado	1,433,663	m ³ /año
Volumen consumido autorizado no facturado	235,053	m ³ /año
N° de acometidas existentes abastecimiento	4,302	unidades
Longitud media acometidas red	9	m
Longitud total red de distribución	51	km
Presión media del sistema	51	mca

Tabla 36: Cálculo índice de fugas estructurales.

CÁLCULO INDICE DE FUGAS ESTRUCTURAL IFE		
Fugas por unidad de tiempo	765,020	m ³ /año
	2,096	m ³ /día
	87.33	m ³ /h
Fugas por unidad d longitud de la red y tiempo	14,965	m ³ /km x año
	41.00	m ³ /km x día
	1.71	m ³ /km x h
Fugas por unidad de tiempo y acometida	177.8	m ³ /año x acometida
	0.49	m ³ /día x acometida
	0.02	m ³ /hora x acometida
Volumen incontrolado fugado (VIF)	487.2	l/día x acometida
Umbral mínimo de fugas (UMF)	63.22	l/día x acometida
	271,959	l/día
	3.15	l/s

$$IFE = \frac{487.2}{63.22} = 7.71$$

Se ha obtenido como resultado al aplicar el balance hídrico de la IWA un índice de fugas estructurales de 7.71 y un umbral mínimo de fugas de 3.15 l/s correspondiente al estado actual del sistema de agua potable.

4.4 ANÁLISIS COSTES DEL AGUA Y TARIFACIÓN

La tarifa que se aplica a los usuarios del abastecimiento corresponde a una tarifa fija (plana), esto se refiere a que no se toma en consideración la cantidad de agua que cada uno de los abonados consume, por tal motivos se evidencia un uso excesivo de agua en la ciudad, evidenciándose en la dotación correspondiente a cada usuario según el reporte de volúmenes inyectados y consumidos según los usuarios.

Se ha recopilado el resumen de ingresos que se recauda por el servicio de agua potable desde los meses de abril a septiembre de 2018, determinándose un valor medio de 2.77\$/mes. El valor varía debido a la aplicación de porcentajes de reparaciones en la red tanto de agua potable como alcantarillado, pero el valor base es de 2.70\$ mensuales por el servicio de agua potable.

Tabla 37: Montos recaudados por servicio de agua potable periodo Marzo-Septiembre 2018.

FECHA	CARTAS EMITIDAS	MONTO RECAUDADO	TARIFA
	Nº DE ABONADOS	\$/mes	\$/mes
Marzo- 2018	3,957	10,819.56	2.73
Abril - 2018	3,957	10,992.36	2.78
Junio - 2018	3,989	10,953.21	2.75
Julio - 2018	4,004	11,005.40	2.75
Agosto -2018	4,070	11,242.75	2.76
Septiembre - 2018	4,302	12,357.87	2.87
		Promedio Tarifa	2.77

Con referencia al mes de septiembre del año 2018, se ha registrado un caudal de 119,473 m³/mes, el monto recaudado por la institución corresponde a un valor de 12,346.74 \$/mes, obteniéndose un valor de 0.10 \$ por 1 m³ de agua consumida. Todos los valores descritos anteriormente han sido aportados por parte de la Jefatura de Agua Potable del cantón.

Tabla 38: Volúmenes y costes anuales de agua.

VOLÚMENES			COSTES EN REFERENCIA A VOLÚMENES	
Volumen inyectado	m3/día:	6,760.4	\$/día:	698.35
	m3/mes:	202,811.3	\$/mes:	20,950.41
	m3/año:	2'433,735.9	S/año:	251,404.92
Volumen autorizado facturado	m3/día:	3,982.4	\$/día:	411.38
	m3/mes:	119,471.9	\$/mes:	12,341.45
	m3/año:	1'433,662.8	S/año:	148,097.37
Volumen autorizado no facturado	m3/día:	652.9	\$/día:	67.45
	m3/mes:	19,587.8	\$/mes:	2023.41
	m3/año:	235,053.0	S/año:	24,280.97
Volumen fugado	m3/día:	2,125.1	\$/día:	2,19352
	m3/mes:	63,751.7	\$/mes:	6,585.55
	m3/año:	765,020.1	S/año:	79,026.58

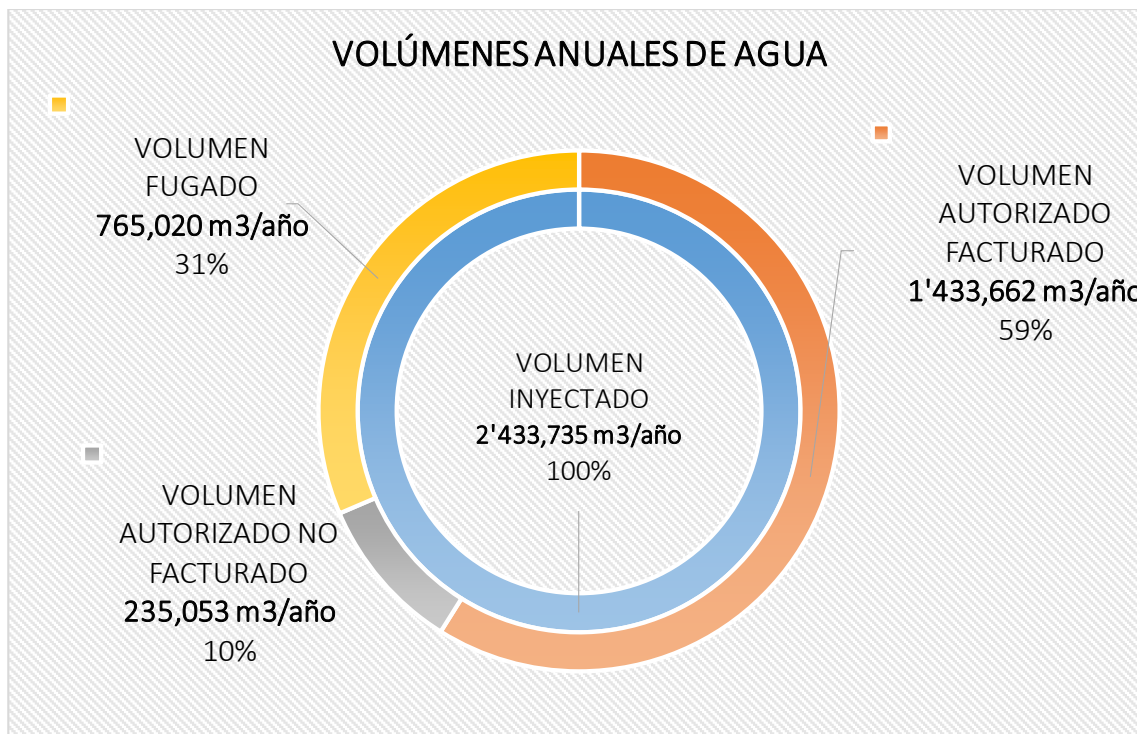


Figura 57: Volúmenes anuales de agua.

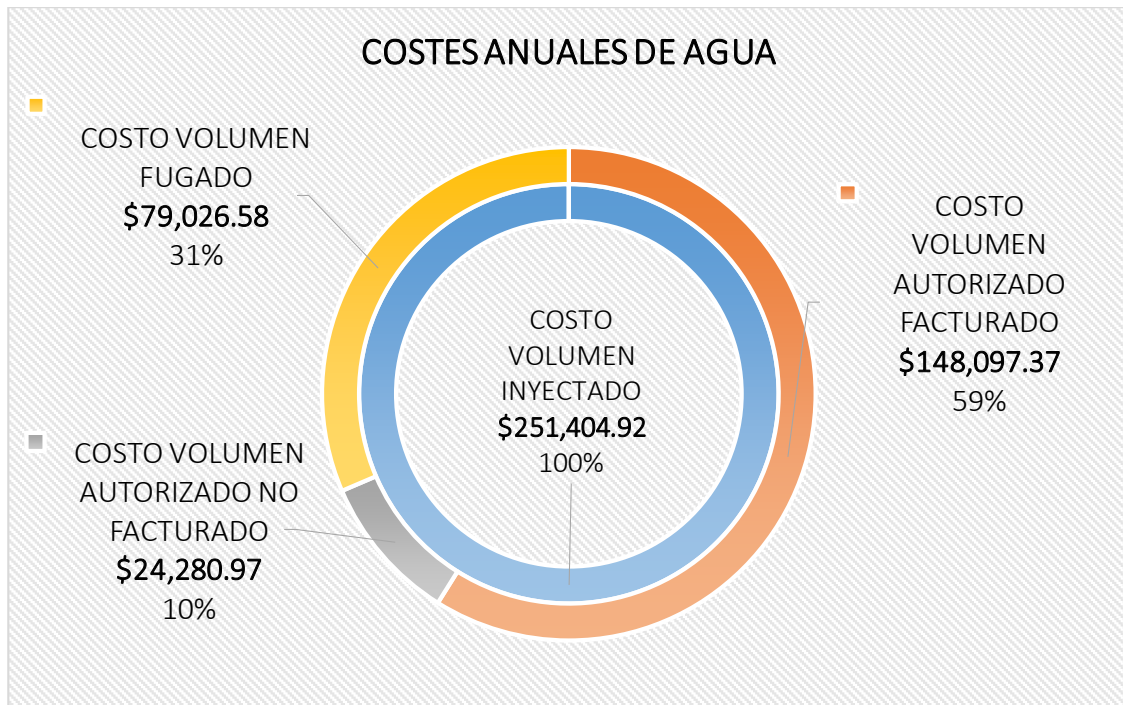


Figura 58: Costes anuales de agua.

Como se puede observar el monto recaudado anualmente por el servicio de agua potable es un valor realmente bajo comparado con los costes que desglosan la operación, mantenimiento y costes administrativos del sistema. Esta es una de las principales razones de la desatención que ha recibido el sistema en control de fugas y gestión de presiones. Es primordial establecer un nuevo sistema tarifario y realizarla en base a los datos obtenidos por micro medición a cada uno de los usuarios.

CAPÍTULO V:

MEJORAS AL SISTEMA

5. PROPUESTA DE MEJORAS AL SISTEMA

El principal problema que se presenta en la red del sistema de agua potable del cantón Guano es el de presiones elevadas en la gran mayoría de los puntos de consumo, problema ligado a la cantidad de agua fugada del sistema y a la reducción de la vida útil de la red, razón por la cual las propuestas de mejora al sistema se centrarán en gestionar las presiones de la red y la gestión de fugas del sistema.

En la Figura 59, se muestran las actividades que propone el Water Loss Group (IWA), para reducir el nivel de agua fugada del sistema.

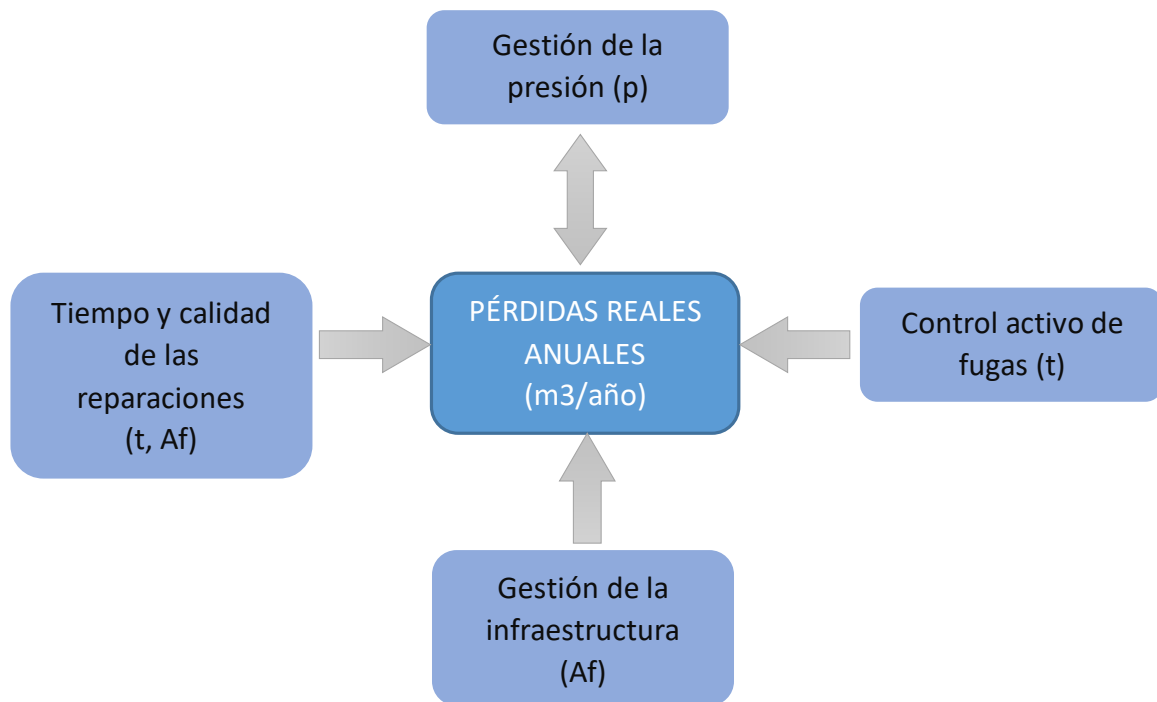


Figura 59: Actividades para la gestión de fugas. (Fuente: IWA)

5.1 GESTIÓN DE PRESIONES EN LA RED

La gestión de la presión puede definirse como “la práctica de manejar presiones a niveles óptimos de servicio asegurando suministro suficiente y eficiente para usos y consumos legítimos, a la vez que se reduce las presiones excesivas o innecesarias, y se elimina las transiciones y los controles de nivel defectuosos, todo lo cual hace que el sistema de distribución fugue innecesariamente” (Equipo de gestión de la presión del Water Loss Specialist Group de la IWA).

La gestión de la presión en un abastecimiento es de gran importancia y necesaria para mejorar la eficiencia del sistema, aplicándose una gestión adecuada se reduciría costes de reparación y reinstalación; así como menos costes de inversión para el control de fugas.

La gestión de la presión representa una gran oportunidad para que los abastecimientos de agua potable tomen en consideración el importante ahorro económico, debido a la reducción de agua fugada del sistema, además mejora la eficiencia energética en sistemas de abastecimiento a bombeo.

Las propuestas de mejora que se plantean en el presente trabajo, consisten en solucionar los siguientes problemas descritos a continuación:

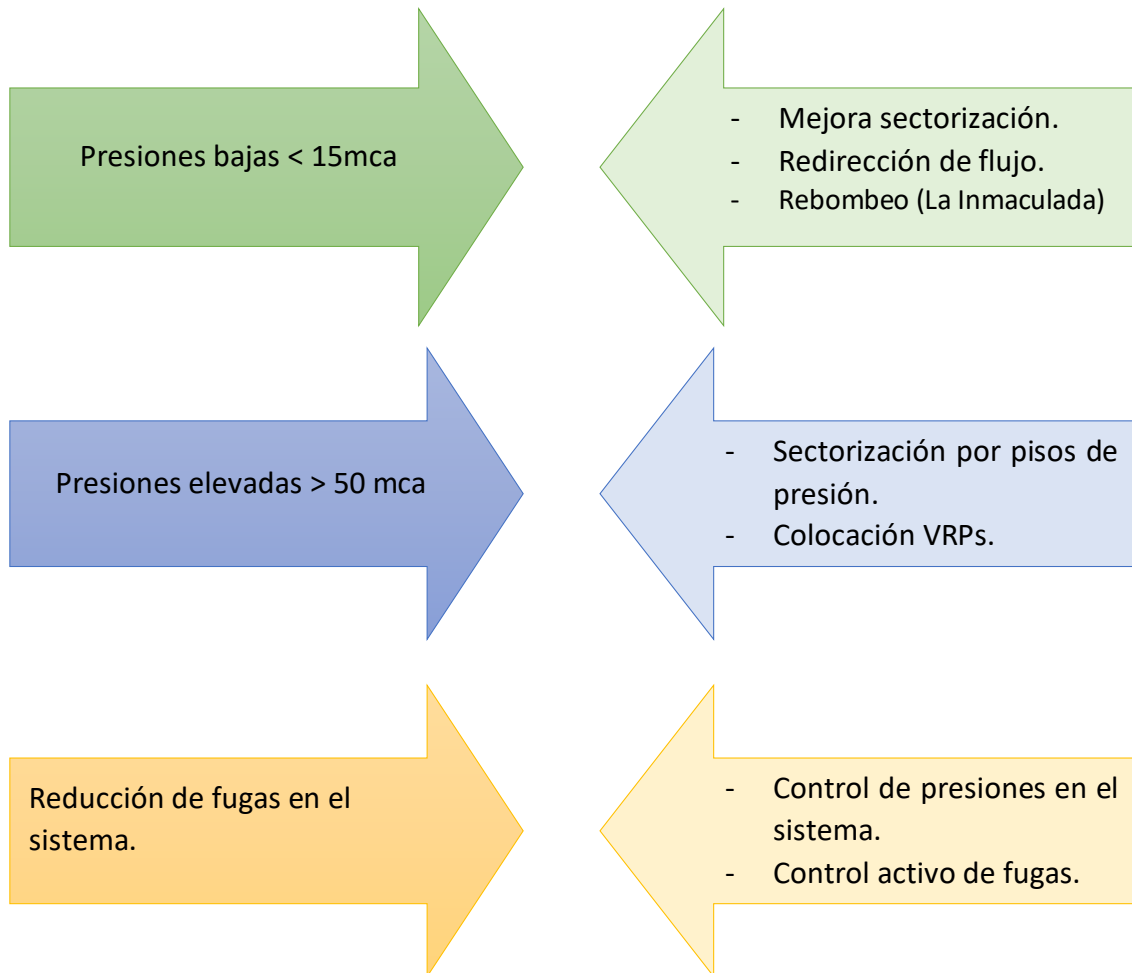


Figura 60: Acciones a realizar para regular presiones y fugas.

5.1.1. SOLUCIÓN PRESIONES BAJAS EN EL SISTEMA

5.1.1.1 SECTOR LA INMACULADA

El problema principal de este sector radica en la presencia de presiones bajas en las horas de máximo consumo en la zona Este de la ciudad, problema que se ha suscitado durante los últimos años.

En el análisis y diagnóstico realizado en el capítulo anterior, se pudo determinar que la cota a la que se encuentra el tanque, más las pérdidas hacia los puntos desfavorables de la red no garantizan el valor de presión mínima (15mca) necesaria para un servicio óptimo en el sector.

- Cota tanque La Inmaculada: 2704.50 msnm
- Cota puntos desfavorables: 2668.85 msnm
- Longitud de tubería a punto desfavorable: 3.10 km
- Pérdida unitaria: 5 mca/km
- Presión mínima: 15 mca

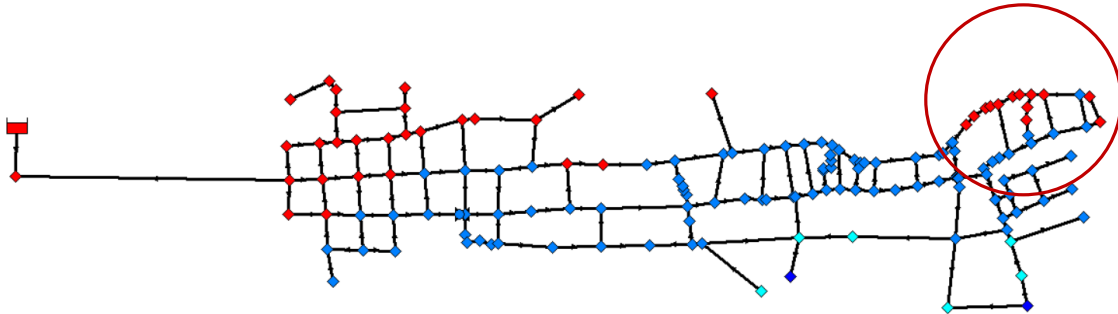


Figura 61: Zonas con presencia de presiones bajas.

Considerándose que la capacidad del tanque es insuficiente, debido a que después de las horas punta de consumo se vacía, es llenado por medio de tanqueros para no desabastecer el servicio a los usuarios.

Se plantea la solución de realizar un bombeo hacia un tanque ubicado en una zona más alta, el mismo que pueda abastecer a la zona Este de la ciudad, el mismo servirá para poder realizar una nueva sectorización en esta zona, la parte Oeste quedará abastecido por el tanque actual, mientras que el nuevo tanque abastecerá a la zona Este.

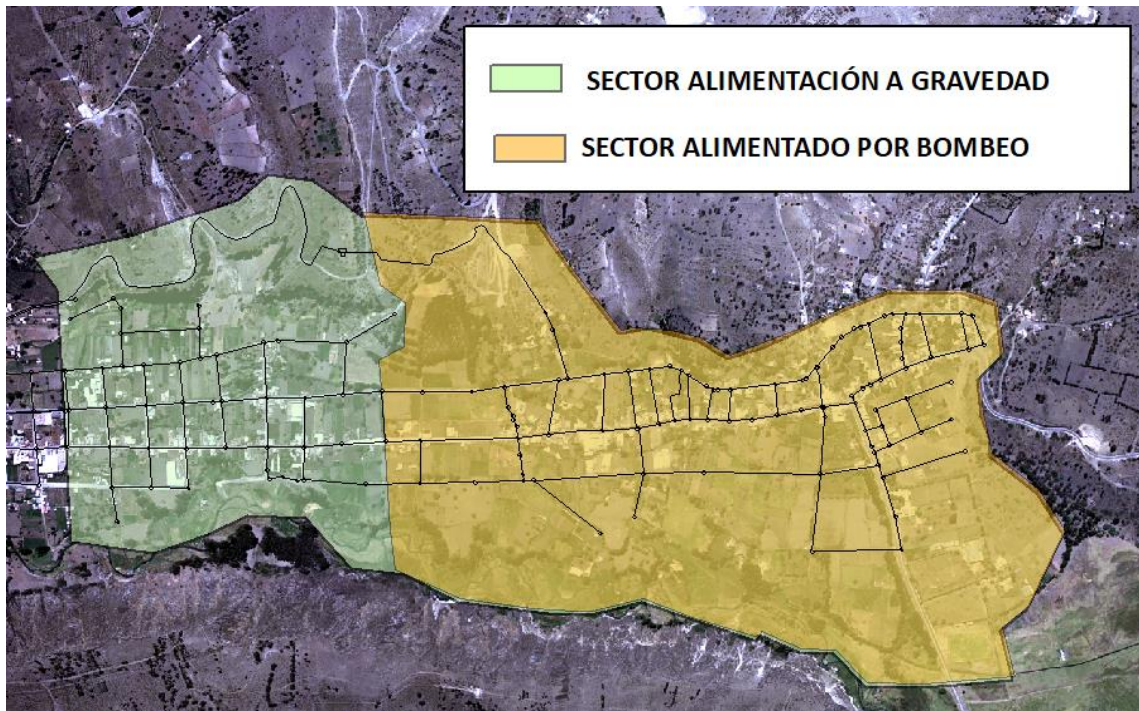


Figura 62: Propuesta de sectorización La Inmaculada.

5.1.1.1.1 LÍNEA DE IMPULSIÓN Y DEPÓSITO DE REGULACIÓN

- ELECCIÓN DEL LUGAR DE IMPLANTACIÓN DEPÓSITO

La ciudad de Guano se encuentra asentada sobre un valle, su perímetro se encuentra rodeado por superficies montañosas. Se ha establecido como ubicación un punto estratégico, que a más de ubicarse a una cota lo suficientemente alta para satisfacer la problemática de las presiones bajas del sector, la cota de implantación seleccionada cubrirá un rango de altura a favor en el caso de que la red se expanda y la demanda aumente por motivos como crecimiento poblacional.

El nuevo depósito se implantará sobre los 2741.20 msnm.



Figura 63: Implantación nuevo depósito de regulación y línea de impulsión.



Figura 64: Implantación línea de conducción y depósito en EPANET.

- **PERFIL IMPULSIÓN**

El perfil de impulsión se obtuvo a partir del archivo en formato CAD del cual se interpolaron las curvas de nivel existentes en el plano. El perfil de la línea de impulsión es muy importante debido a que este se utilizará para realizar el estudio del transitorio generado por parada de la bomba en la instalación. En el Capítulo VI del presente trabajo se detalla el cálculo de la línea de impulsión y el transitorio a generarse en la instalación.

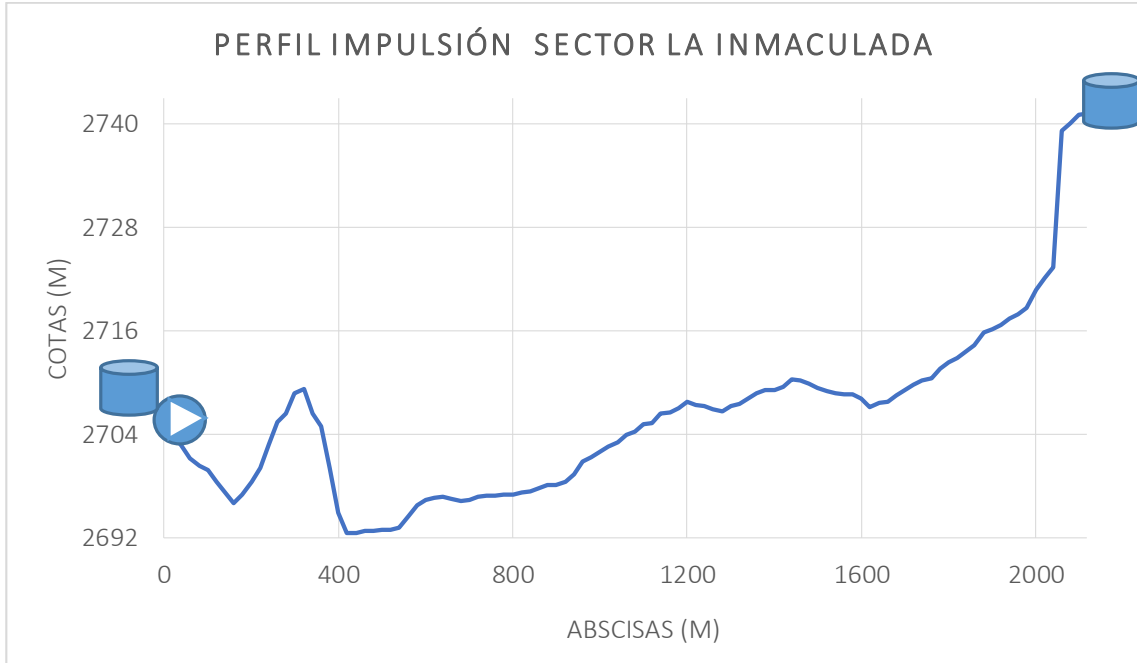


Figura 65: Perfil línea de impulsión.

5.1.1.2 RESULTADOS MEJORA PRESIONES MÍNIMAS SECTOR LA INMACULADA

El problema de presiones bajas en el sector se ha solucionado de manera favorable, al realizar la propuesta de sectorización y la implementación de un nuevo abastecimiento para las zonas altas por un nuevo depósito de regulación. La mejora a los problemas de presiones altas en la red se muestra a continuación.

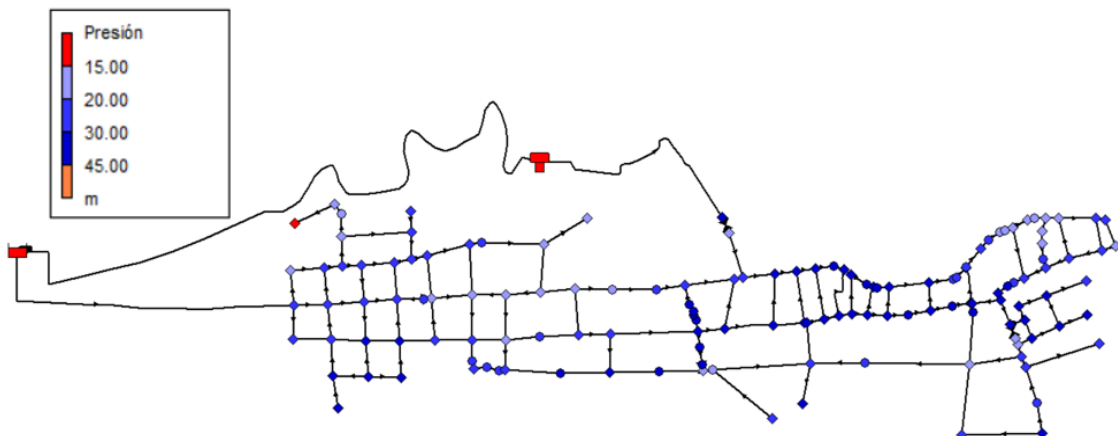


Figura 66: Presiones mínimas sector La Inmaculada

5.1.2 SOLUCIÓN PRESIONES ELEVADAS EN EL SISTEMA

El principal problema que se evidencia en la red es la presencia de presiones altas en el sistema principalmente en las horas de menor consumo y en los puntos más bajos de la ciudad. Se plantea varias soluciones a estos problemas como la sectorización por pisos de presión al sistema mediante la instalación de válvulas reductoras de presión en puntos estratégicos.

5.1.2.1 VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN

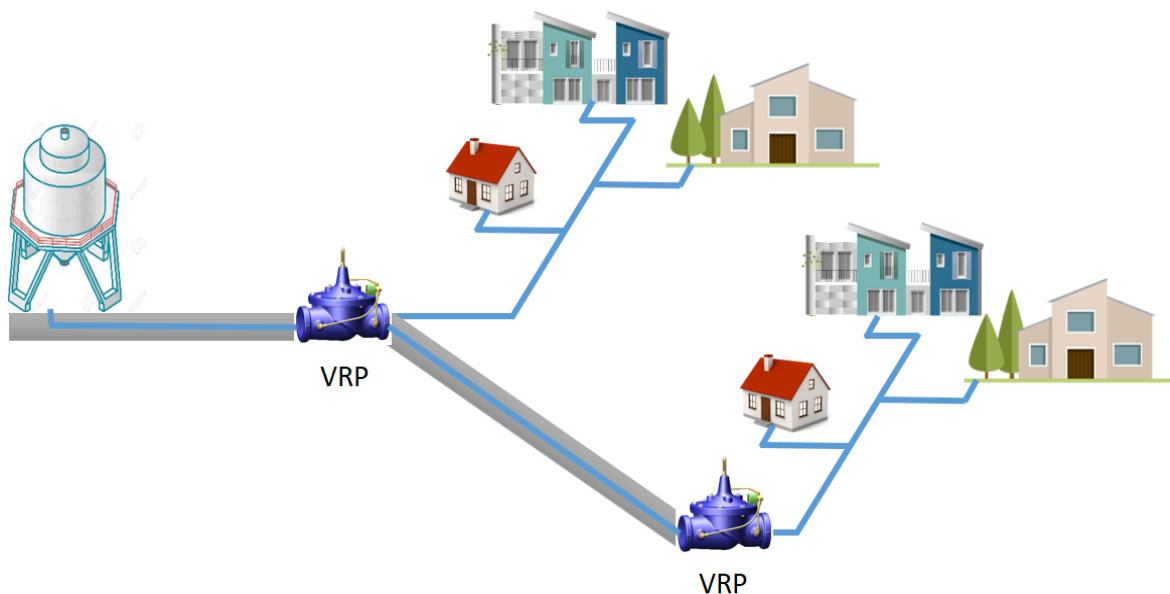


Figura 67: Válvulas reguladoras de presión (VRP), en un sistema de agua potable.

Las válvulas reductoras de presión son elementos hidráulicos que tienen como objetivo mantener una presión constante aguas abajo del punto de la instalación; se utilizan para limitar presión en conducciones, pudiendo reducir el timbraje de las tuberías y disminuir las roturas y fugas del sistema.

La válvula abre o cierra el paso del fluido en función de la presión de consigna o tarado, la presión de consigna es la que se desea mantener aguas abajo. La colocación de válvulas reductoras de presión es una alternativa económica en comparación con la aplicación de otros métodos de control de presiones como por ejemplo la construcción de tanques rompedores de carga; además no necesitan un gran espacio físico para su instalación.

En la ciudad de Guano debido a la ubicación de los tanques de regulación, situados en cotas muy altas con referencia a los puntos más bajos de cada uno de los sectores, es necesario reducir la presión en dichos puntos de consumo, viendo la necesidad de implantación de válvulas reductoras de presión en sitios estratégicos.

5.1.2.2 SECTORIZACIÓN E INSTALACIÓN DE VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN

Se describe a continuación las mejoras realizadas para solucionar el problema de presiones altas en cada uno de los sectores en análisis de la red de abastecimiento del cantón Guano.

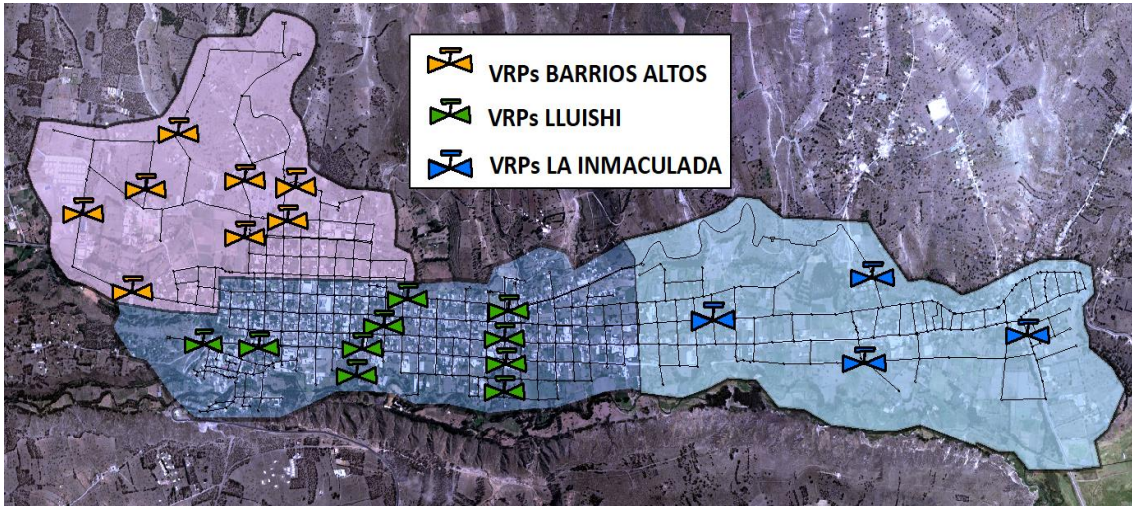


Figura 68: Propuesta de colocación de VRP en la red, ciudad de Guano.

5.1.2.2.1 MEJORA SECTORIZACIÓN BARRIOS ALTOS - LLUISHI

El sector de los Barrios Altos en la actualidad abastece un área de 1.28 km² incluye en su distribución uno de los barrios del sector de Lluishi (zona media), se plantea una mejora en la sectorización de esta zona.

Se incluirá la zona norte del sector Lluishi para obtener una mejor distribución de presiones y reducir así el problema de presiones mínimas al Sector Lluishi, la zona intervenida corresponde a los nudos con las cotas más altas del sector; ahora este posee un área de servicio de 1.60 km².

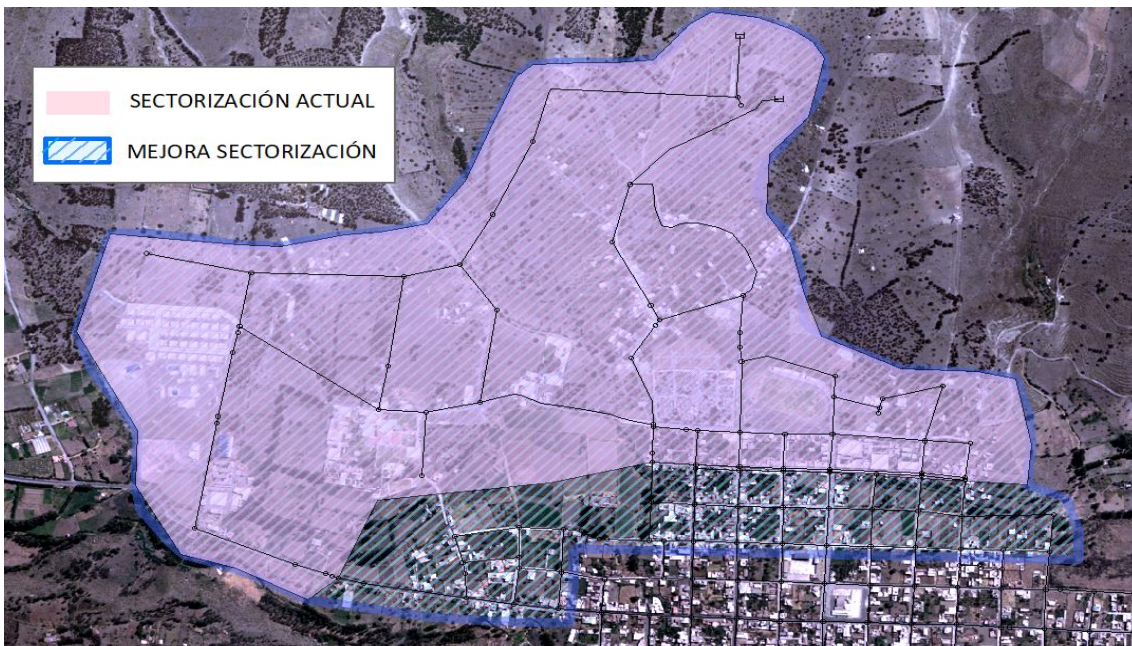


Figura 69: Mejora sectorización Barrios Altos.

Al realizar la mejora en la sectorización descrita anteriormente, se redujo el área de servicio en Lluishi, solucionándose en gran parte el problema de presiones mínimas del sistema, el problema al que ahora nos enfrentamos en este sector es a la presencia de presiones elevadas, incluso se verifican presiones que superan los 100 mca, valores totalmente inadmisibles en el sistema, a continuación se describe la mejora ante el problema de presiones elevadas en la red.

5.1.2.2.2 SECTORIZACIÓN MEDIANTE PISOS DE PRESIÓN

El criterio a aplicarse para la solución de esta problemática es el planteamiento de sectorizar mediante pisos de presión. Como primer paso se verifican la diferencia de nivel en la zona de análisis y el valor de las presiones generadas en cada uno de los puntos de consumo, en base a esta variación de presiones se plantea la instalación de válvulas reductoras de presión (VRP) en los puntos donde se muestran presiones máximas admisibles según la normativa establecida, de esta manera se ha logrado estabilizar el valor de las presiones en la red.

El valor asignado de consigna a las válvulas reguladoras de presión, dependerá de las condiciones de los sectores que se encuentren regulados mediante estas, el valor de consigna mínimo establecido para la red es de 15 mca; valor que garantiza una presión adecuada en el sistema.

Se ha aplicado dicho criterio a los tres sectores de análisis obteniéndose un resultado satisfactorio; se han logrado estabilizar las presiones dentro de los rangos permitidos por la normativa nacional en todos los puntos de consumo en los escenarios más desfavorables de la red que son en hora punta y hora valle.

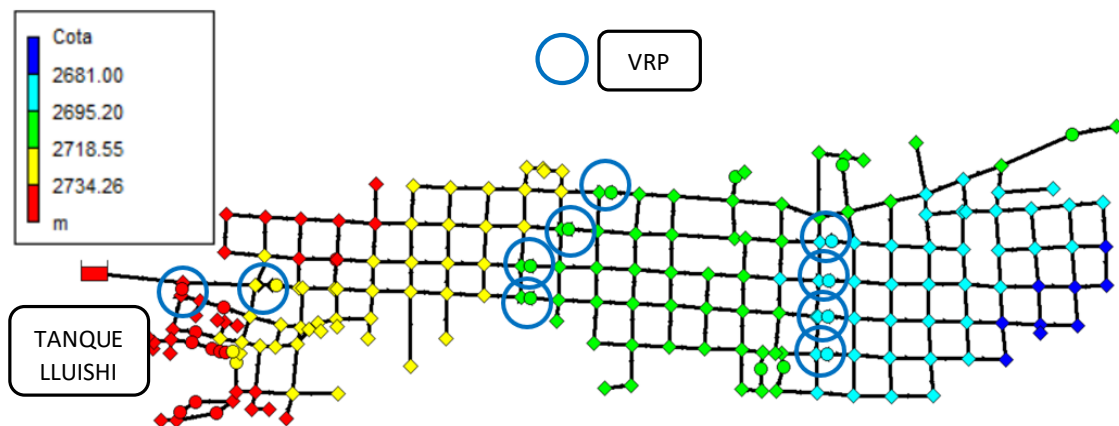


Figura 70: Sectorización por pisos de presión Lluishi

En la Tabla 39 se muestra el listado de válvulas reductoras de presión con cada una de sus características principales, se realizará un presupuesto de inversión con respecto al valor de implementación de válvulas en la red.

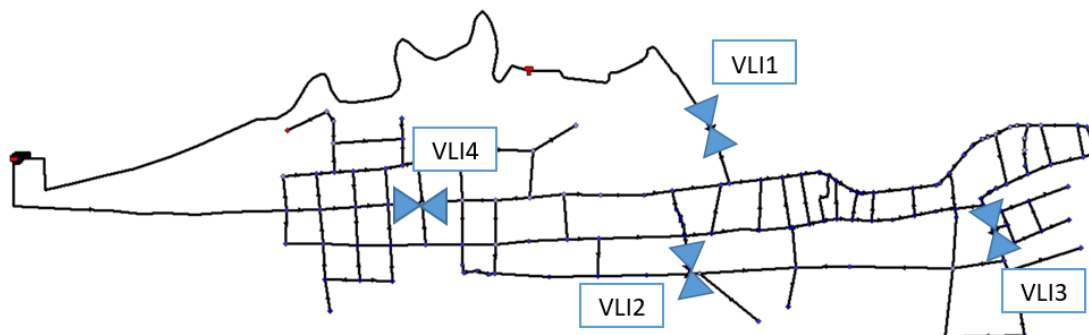
Tabla 39: Listado válvulas reductoras de presión.

SECTOR	DETALLE VÁLVULAS	DIÁMETRO (mm)	COTA (msnm)	CONSIGNA (mca)	OBSERVACIÓN
BARRIOS ALTOS	VBA1	150	2808.62	23	NUEVA
	VBA2	80	2758.79	16	NUEVA
	VBA3	100	2786.91	15	NUEVA
	VBA4	100	2774.95	16	NUEVA
	VBA5	80	2757.46	16	NUEVA
	VBA6	50	2761.02	17	NUEVA
	VBA7	50	2795.22	23	NUEVA
	VBA8	63	2774.3	21	EXISTENTE
LLUISHI	VLL1	50	2740.14	27	NUEVA
	VLL2	200	2732.87	30	NUEVA
	VLL3	80	2717.1	15	NUEVA
	VLL4	150	2716.91	25	NUEVA
	VLL5	50	2717.61	15	NUEVA
	VLL6	50	2716.58	15	NUEVA
	VLL7	150	2694.41	30	NUEVA
	VLL8	50	2692.32	25	NUEVA
	VLL9	50	2692.04	15	NUEVA
	VLL10	50	2692.41	15	NUEVA
LA INMACULADA	VLI1	150	2673.38	17	NUEVA
	VLI2	50	2651.79	15	NUEVA
	VLI3	80	2648.19	15	NUEVA
	VLI4	50	2666.75	16	NUEVA

Se instalarán en el sistema un total de 22 VRP, actualmente en el sistema de abastecimiento existen instaladas 6 VRP, debido a la falta de mantenimiento y de operación se encuentran inhabilitadas, la única válvula que se conservará es la VBA8 ubicada en los barrios altos y debido a que esta fue instalada hace aproximadamente un año. Por lo tanto se consideran 21 VRP nuevas para la realización del presupuesto (Ver Anexo).

En las Figuras 71, 72 y 73, se muestra la ubicación de las válvulas reductoras de presión a instalarse en cada uno de los sectores en análisis.

- VRP SECTOR LA INMACULADA


Figura 71: Ubicación VRP La Inmaculada

- VRP SECTOR BARRIOS ALTOS

En este sector se conservará la válvula reductora de presión número 8, puesto que ha sido instalada hace un año y es la única que se encuentra en funcionamiento del sistema actual.

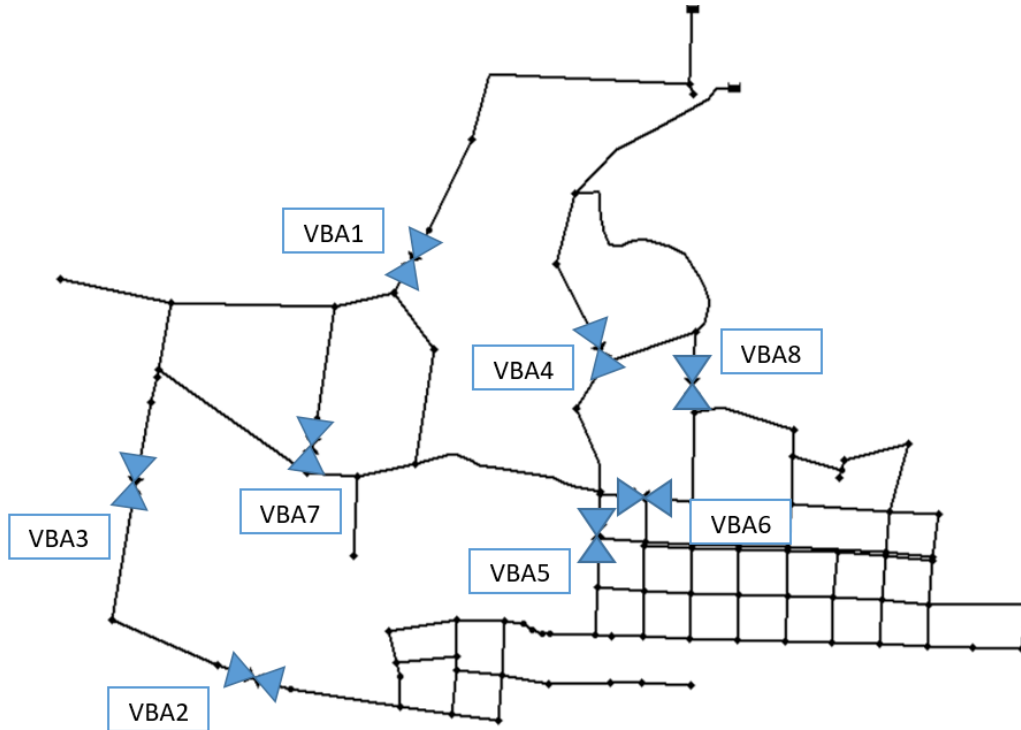


Figura 72: Ubicación VRP Barrios Altos.

- VRP SECTOR LLUISHI

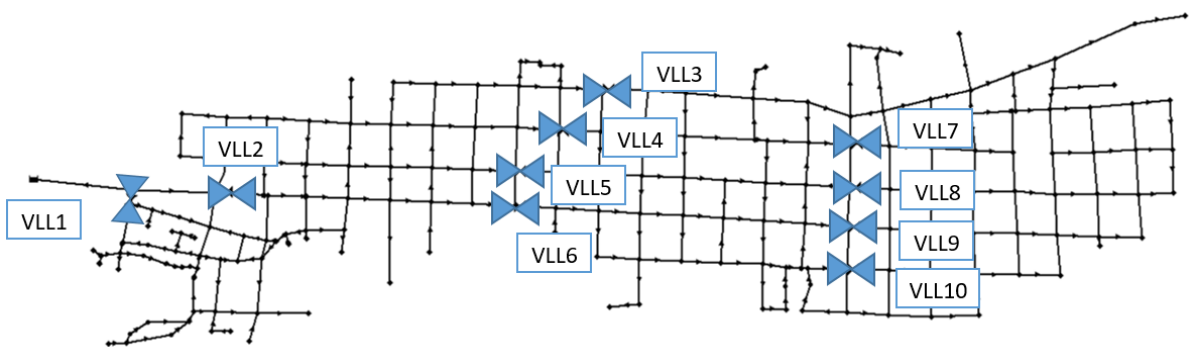


Figura 73: Ubicación VRP Lluishi

Se ha realizado el diseño de cada una de las válvulas verificando el diámetro de instalación y la comprobación frente al problema de cavitación, el catálogo comercial utilizado para el diseño es de válvulas de asiento en v de Bermad. (Ver Anexo)

5.2 RESULTADOS DE MEJORAS EN SISTEMA DE AGUA POTABLE.

5.2.1 MEJORAS PRESIONES DEL SISTEMA

El resultado de las soluciones aplicadas a los problemas de presiones bajas y elevadas han sido solucionadas, ahora se cuenta con un sistema de agua potable con valores admisibles dentro de la variación de presiones mínimas y máximas.

Una vez que se ha realizado la gestión de presiones del sistema se obtiene una red más eficiente, los resultados se verificarán al calcular el volumen de agua fugada del sistema con el que se tiene una relación directa.

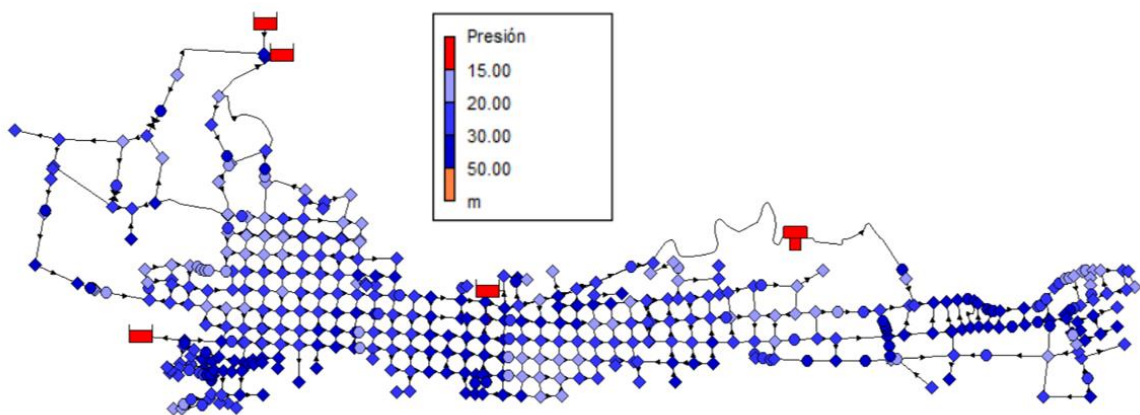


Figura 74: Presiones mínimas con VRP instaladas

Las presiones máximas de la red se han logrado controlar favorablemente, existen solamente 3 puntos con presiones superiores a 50 mca, correspondientes a los puntos de conexión de las VRP. Los resultados han sido satisfactorios tras la instalación de las válvulas reductoras de presión.

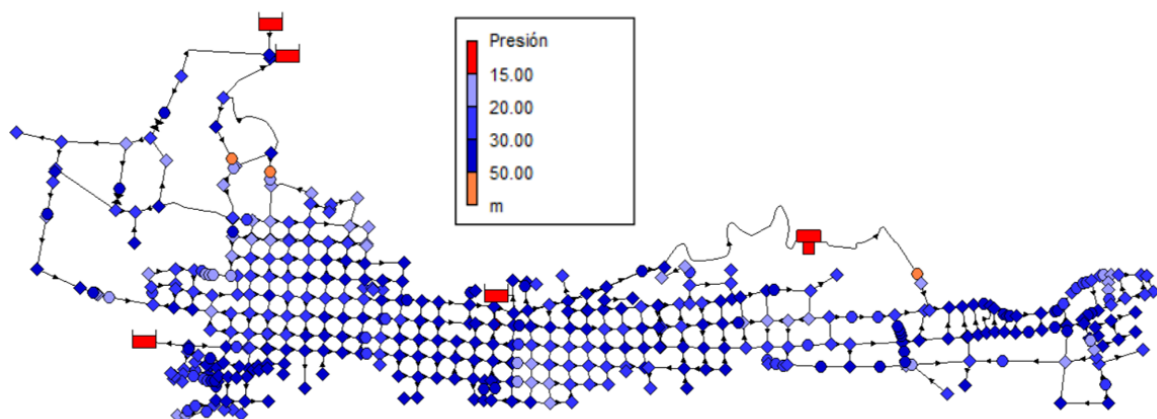


Figura 75: Presiones máximas con VRP instaladas

5.2.2 MEJORAS VELOCIDADES DEL SISTEMA

Los problemas de velocidades elevadas descritos en el Capítulo IV han sido solucionados, se realizó una redirección del flujo en varios sectores hasta obtener los valores adecuados correspondientes a velocidades; en el caso de que existieran tuberías que se encuentren generando cuellos de botella en el sistema, tienen que ser sustituidas por diámetros superiores.

Existen valores de velocidades de las tuberías que se encuentran bajo el nivel de velocidad mínima permitida por la normativa, esto se relaciona directamente con el diámetro de tubería instalada, según normas nacionales el diámetro mínimo en redes de distribución es de 63 mm. En un futuro se espera que se solucione el problema de velocidades bajas debido al crecimiento poblacional en la ciudad y al incremento de la demanda que a raíz de esto se genere.

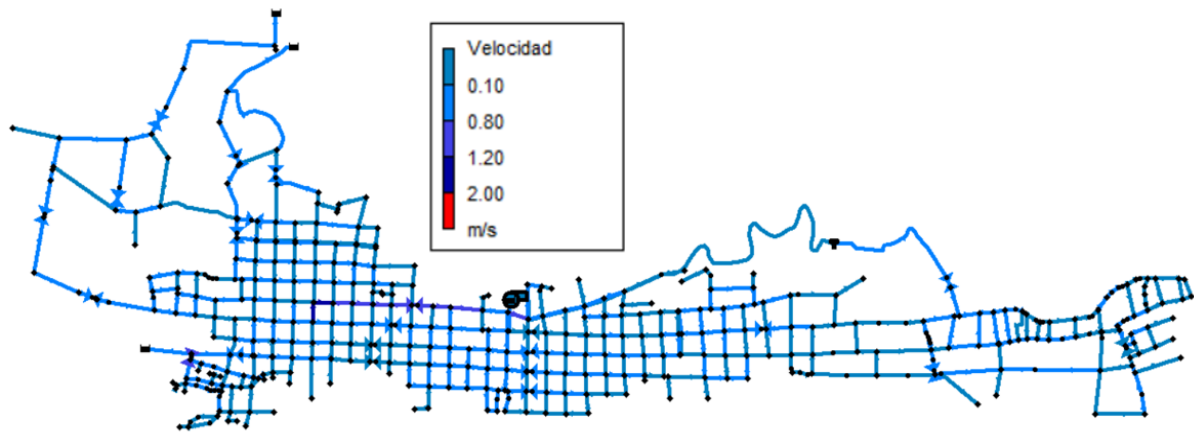


Figura 76: Velocidades mínimas con VRP.

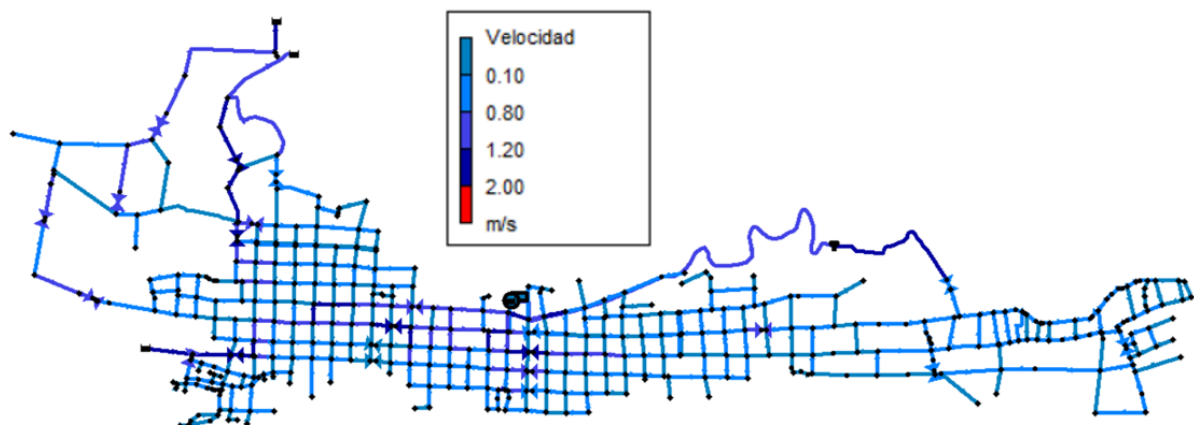


Figura 77: Velocidades máximas con VRP.

5.3 GESTIÓN DE FUGAS EN EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

Después de haber analizado la cantidad de agua fugada del sistema (Capítulo III) y los problemas que estas acarrearán dentro del abastecimiento de agua potable, se plantean políticas que ayuden a prevenir, detectar, localizar y reparar fugas; de esta manera mejorará la operación y gestión hidráulica del sistema de agua potable evitando gastos de recursos naturales, económicos y financieros.

5.3.1. CONTROL ACTIVO DE FUGAS

El objetivo del control activo de fugas es ayudar a que las fugas ocultas sean detectadas y reparadas, se basa en cuatro etapas de ejecución:

1. Detectar la existencia de una fuga.
2. Localizarla con precisión.
3. Confirmarla visualmente con la apertura de la zanja.
4. Repararla.

En el control de fugas es necesario realizar mediciones para la detección y localización de las mismas. Los efectos que pueden delatar una fuga son: ruido, propiedades eléctricas del terreno y transitorios inducidos por pulsos de presión.

Mediante la detección, localización, confirmación y reparación de las fugas, se conocerá el tipo, causas, lugares de ocurrencia, tiempo de duración de escape de la fuga; de esta manera se obtendrá un historial de fugas para el abastecimiento de agua potable.

La administración del abastecimiento de agua potable tiene que ser consciente de que si se desean minimizar las fugas del sistema, se debe invertir en equipo técnico preparado y considerar una inversión económica destinada a esta actividad; todo esto nos ayudará a obtener un mejor rendimiento en la red.

5.3.1.1. MÉTODOS Y EQUIPOS DE DETECCIÓN DE FUGAS EN EL SISTEMA

En la actualidad existen múltiples métodos para la detección de fugas en las redes de agua potable. Existen desde los métodos más sencillos como son el uso de equipos como las varillas de escucha y geófonos; éstos dependen de la concentración del operario, además son sensibles al material; correladores acústicos que son un poco costosos, y por medio de georradar y gas inyectado que son métodos poco extendidos.

A continuación se describen los métodos para detección de fugas más utilizados.

5.3.1.1 CORRELADOR ACÚSTICO

Los correladores son dispositivos electrónicos de localización de fugas en tuberías a presión, donde la ubicación de las fugas se desconoce y las distancias son relativamente altas, estos transmiten una onda acústica a través de la tubería para indicar la distancia donde se encuentra la fuga.

Su funcionamiento consiste en que dos o más sensores registran y transmiten el sonido, lo amplifican y lo transmiten por radio a la unidad central. Una vez que se registren en el correlador, se tiene en segundos la diferencia con respecto a la llegada del sensor 1 al sensor 2, cuando la distancia es conocida se la puede verificar con el geófono.



Figura 78: Correlador acústico.

5.3.1.2 GEÓFONO

Es un instrumento transmisor y amplificador de sonido de la fuga, de esta manera se logra verificar el punto exacto de la fuga de agua en la tubería, los micrófonos del georadar se colocan en puntos de contacto remotos como en válvulas, llaves de corte, medidores domiciliarios. El geófono agiliza la localización de fugas de agua eliminando costes de excavaciones o rompimientos.



Figura 79: Geófono.

Una vez que se haya ejecutado el plan de control de fugas en el abastecimiento de agua, se pretende reducir el porcentaje del valor de agua fugada y lograr una mejor eficiencia del sistema.

5.4 RESULTADO DEL RENDIMIENTO TRAS GESTIONAR PRESIONES

“El rendimiento del sistema representa la síntesis del abastecimiento como conjunto. Contempla, por tanto, el rendimiento de la propia red de distribución así como el de la misma gestión” (Cabrera et al., 1999).

En varias ocasiones la utilización de rendimientos para valorar la eficiencia de un abastecimiento no es apto para establecer comparaciones, debido a que estos se encuentran en función del caudal consumido y este valor varía en función del tiempo, en este caso de estudio, debido a que el volumen consumido es el mismo en los dos casos de análisis, se lo considera para realizar la comparación respectiva.

Al realizarse la mejora en base a la gestión de presiones en el abastecimiento, se obtiene un rendimiento global del sistema de 63.30% en comparación al rendimiento obtenido en el diagnóstico del sistema actual con un valor de 58.91%, logrando un incremento de 4.39% en el rendimiento global del sistema, además se ha mejorado la valoración del rendimiento de la categoría de “*Inaceptable*” a “*Malo*”.

Tabla 40: Resultados red tras gestión de presiones.

COMPARACIÓN CAUDALES Y RENDIMIENTOS			
DETALLE	SIN VRP	CON VRP	UNIDADES
Q inyectado (a)	78.25	72.82	l/s
Q consumido, autorizado y facturado (b)	46.09	46.09	l/s
Q consumido, autorizado y no facturado (c)	7.557	7.557	l/s
Q de fugas (d)= a-(b+c)	24.60	19.17	l/s
% Fugas (f)= d/a*100	31.43	26.32	%
% Rendimiento de la red (g)= b/a *100	58.91	63.30	%
Valoración del rendimiento	Inaceptable	Malo	

De igual manera se realiza la comparación de los rendimientos antes analizados, verificándose el porcentaje del rendimiento de la red en un 5.1%, como se conoce, el rendimiento de la red expresa el estado físico de la red y su modo de operación (Bourguet, 2004).

Tabla 41: Resultados rendimientos volumétricos.

COMPARACIÓN DE RENDIMIENTOS VOLUMÉTRICOS		
RENDIMIENTOS	SIN VRP	CON VRP
Rendimiento global del sistema $\eta_g=Q_r/Q$	58.9%	63.3%
Rendimiento de la red $\eta_r=Q_s/Q$	68.6%	73.7%
Rendimiento de la medición $\eta_m=Q_r/Q_s$	85.9%	85.9%

5.5 RESULTADO BALANCE HÍDRICO TÉCNICO CON GESTIÓN DE PRESIONES

Es necesario conocer con exactitud el destino del agua que es introducida en el sistema por cada uno de los puntos de suministro de la red. En el capítulo anterior se analizó el volumen de agua fugada del sistema, correspondiente al caudal incontrolado fugado actual (Qif), en la Tabla 42, se muestran los resultados obtenidos tras realizarse la gestión de presiones del sistema.

El valor de caudal inyectado al sistema de agua después de las sectorizaciones propuestas y las instalaciones de VRP se reduce a un valor anual de 168,898 m3, correspondiente a la cantidad de agua fugada del sistema.

El valor de los caudales autorizados registrados y no registrados se mantiene constante, debido a que el análisis se encuentra aplicado al mismo periodo de tiempo.

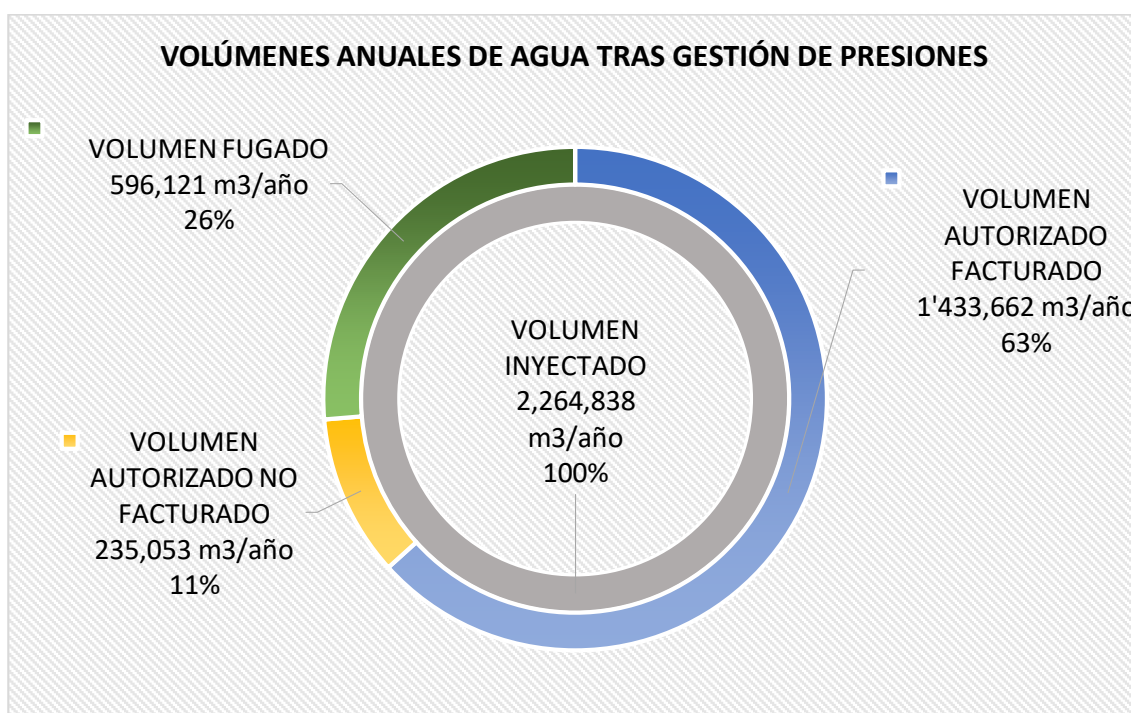


Figura 80: Volúmenes anuales sistema con gestión de presiones.

Tabla 42: Comparación 2 escenarios balance hídrico.

DATOS BALANCE HÍDRICO TÉCNICO		
DETALLE CAUDALES	SIN GESTIÓN DE PRESIONES (m3/año)	CON GESTIÓN DE PRESIONES (m3/año)
Caudal inyectado (Q)	2'433,736	2'264,838
Caudal registrado (Qr)	1'433,663	1'433,663
Caudal incontrolado (Qi)	1,000,073	831,174
Caudal incontrolado consumido (Qic)	235,053	235,053
Caudal incontrolado fugado (Qif)	765,020	596,121

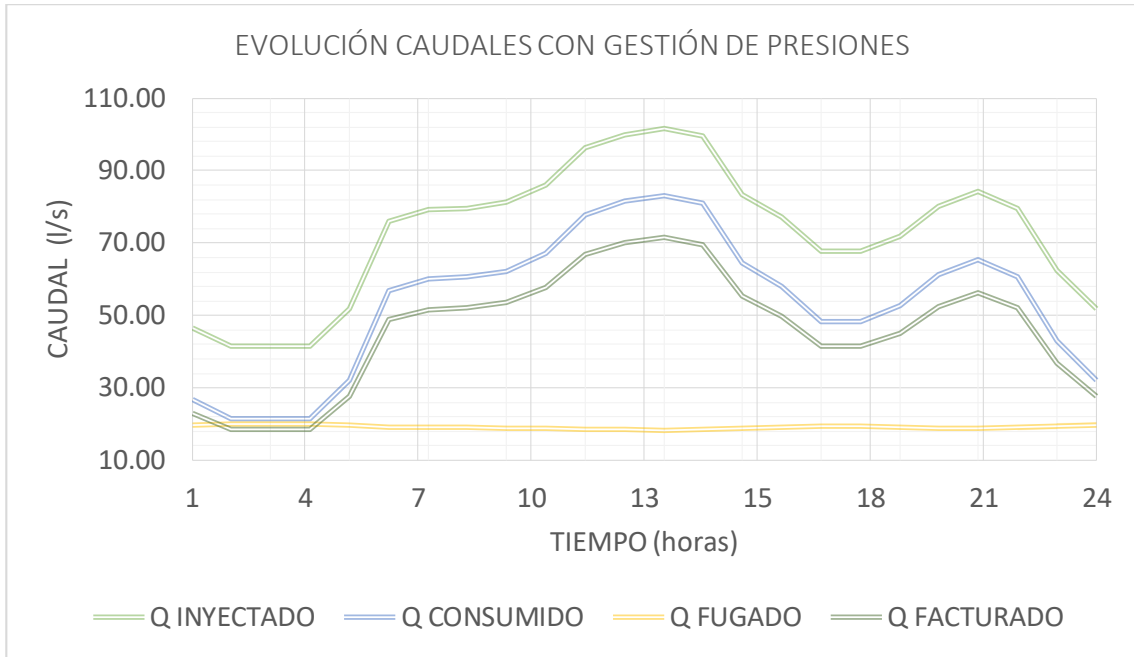


Figura 81: Evolución caudales con gestión de presiones.

En las Figura 82, se muestra la evolución de caudales fugados del sistema a lo largo de las 24 horas de análisis, verificándose gráficamente la reducción del volumen de agua fugada del sistema.

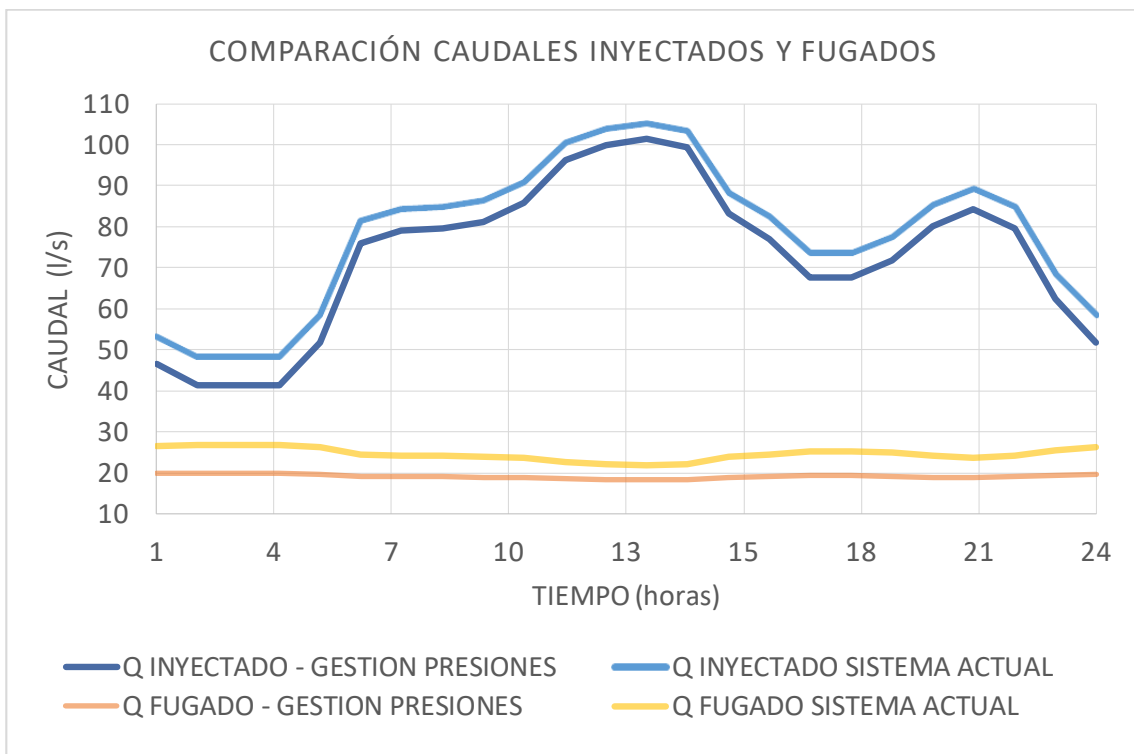


Figura 82: Comparación caudales inyectados y fugados tras gestión presiones.

En la figura a continuación se verifica el rango de presiones medias diarias de la red, observándose en color azul, unos valores muy por encima de los valores permitidos, mientras que en color naranja, las presiones se muestran estabilizadas encontrándose en un valor medio de 28.78 mca.

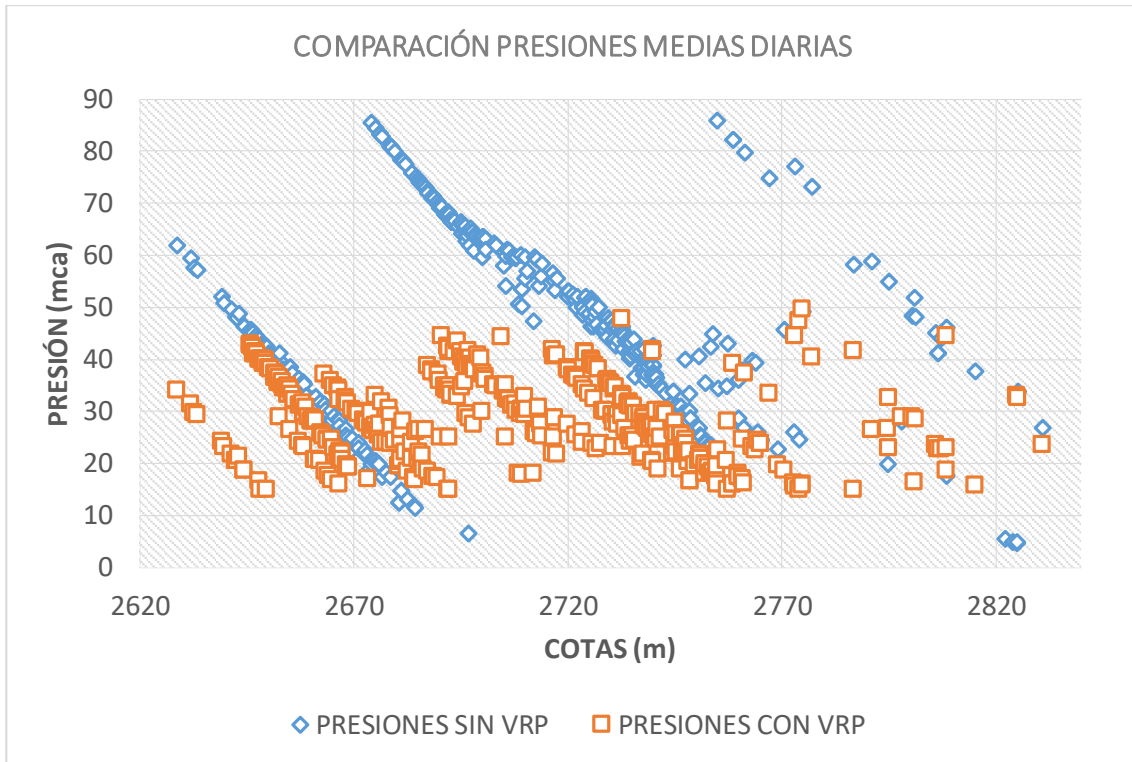


Figura 83: Comparación presiones del sistema.

Mediante el análisis realizado se lograron obtener los siguientes índices:

- **Presiones máximas en red Inicial.**
 - Puntos de análisis: 445 conexiones.
 - Puntos fuera de los rangos admisibles: 199 conexiones.
 - Índice de presiones máximas en red inicial: **44.70%**

- **Presiones máximas en red con mejoras.**
 - Puntos de análisis: 453 conexiones.
 - Puntos fuera de los rangos admisibles: 5 conexiones.
 - Índice de presiones máximas en la red: **1.10%**

En la red inicial se hallan 44.70% presiones en los nudos fuera de los rangos permitidos; al realizar la gestión de presiones al sistema, mediante la colocación de las válvulas reductoras de presión y más la mejora en la sectorización de las redes, se logró obtener un índice de presiones máximas del 1.10%. Los valores correspondientes a presiones máximas en la red con mejoras corresponden a los nudos de conexión de las válvulas (VRP), es decir nudos sin demanda.

Los resultados de los índices demuestran el nivel de regulaciones de presiones alcanzadas en el sistema.

5.6 UNIFORMIDAD DE PRESIONES

Para poder garantizar que la energía es utilizada correctamente en el sistema, se busca que cumplir con la uniformidad de las presiones a lo largo de la red. Los autores Iglesias-Castelló, Iglesias-Rey, y Martínez-Solano (2018), afirman que las presiones bajas conllevan a un consumo mínimo de energía en la red de distribución de agua potable. En este sentido, cuanto más cerca de la presión fijada como mínima se encuentre la presión de los nudos, mejor es la sectorización planteada.

La uniformidad de presiones se analiza desde dos perspectivas: la primera dice que todos los nudos de consumo deben suministrar agua a una presión mínima de 10 mca; y la segunda, que los nudos de cada sector deben tener una presión similar entre sí, éstos deberán ser en lo posible lo más cercanos a la mínima. La uniformidad de presiones de la red se define en la siguiente ecuación (Al-Hemairy & Alsuhaily, 2007):

$$PU_{Net} = \sum_{t=1}^T \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{p_i(t) - p_{min}}{p_{min}} \right] + \frac{1}{p_{av}(t)} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [p_i(t) - p_{av}(t)]^2} \right]$$

Donde: PU_{net} es el índice de uniformidad de presión de la red, $P_i(t)$, es la presión en el nudo i en el tiempo t (en mca), P_{min} es la presión mínima requerida (10 mca), i es el índice de nudo definido desde uno hasta N , t es el índice de tiempo definido desde uno hasta T (24 horas), t es el tiempo de simulación, es el paso de tiempo equivalente a una hora y P_{av} es la presión promedio de la red en el tiempo t , la cual se define como:

$$p_{av}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i(t)$$

Tabla 43: Uniformidad de presiones.

CÁLCULO UNIFORMIDAD DE PRESIONES		SIN VRP	CON VRP
Uniformidad de presiones en la red	PU net	90.94	50.86
Índice de exceso de presiones	PE	81.63	44.21
Número de nodos de la red	N	445	453
Presión mínima	P min	10 mca	10 mca
Índice uniformidad de presiones	PU	9.31	6.65
Promedio de presión en la red	Pav (t)	44.01 mca	28.48 mca

Una vez realizado una mejora en la gestión de presiones en el sistema, se verifica que existe una mejoría en la uniformidad de presiones de la red, resultados que se muestran en la Tabla 43.

5.7 RESULTADO DE EVALUACIÓN ECONÓMICA TRAS GESTIONAR PRESIONES

Es evidente que al reducir caudal de fugas en el sistema de abastecimiento de agua potable se genere un ahorro económico, el problema aquí reside en que el valor de la tarifa mensual de los usuarios además de ser una tarifa fija (igual para todo abonado y consumo), el valor que esta representa es muy bajo en comparación a los gastos de producción y administración.

La Jefatura de Agua Potable del cantón manifiesta que actualmente se ha propuesto cambiar el método de tarifación, se ha realizado la aprobación de una ordenanza municipal, donde se plantea que la tarifa sea binomia con bloques de consumo en función del volumen de agua consumido por los usuarios del sistema (Tabla 45).

Para realizar el análisis en base al nuevo valor de tarifación, se ha definido un consumo promedio por hogar de 6 m³ por habitante mensual y aplicando el valor de habitante promedio de 3.63 (INEC), se ha estimado un valor de tarifa mensual de 0.20 \$/m³ para realizar el análisis económico correspondiente. Se debe considerar que la tarifa fija aplicada en la actualidad es de 0.10 \$/m³, con la nueva ordenanza municipal se ha logrado duplicar el valor tarifario actual.

Tabla 44: Evaluación económica con gestión de presiones del sistema.

VOLÚMENES		COSTES DE LOS VOLÚMENES		
Volumen inyectado	m ³ /día:	6,291.2	\$/día:	1,258.24
	m ³ /mes:	188,736.5	\$/mes:	37,747.30
	m ³ /año:	2,264,838.0	S/año:	452,967.60
Volumen autorizado facturado	m ³ /día:	3,982.4	\$/día:	796.48
	m ³ /mes:	119,471.9	\$/mes:	23,894.38
	m ³ /año:	1,433,662.8	S/año:	286,732.57
Volumen autorizado no facturado	m ³ /día:	652.9	\$/día:	130.59
	m ³ /mes:	19,587.8	\$/mes:	3,917.55
	m ³ /año:	235,053.0	S/año:	47,010.60
Volumen fugado	m ³ /día:	1,655.9	\$/día:	331.18
	m ³ /mes:	49,676.8	\$/mes:	9,935.35
	m ³ /año:	596,121.1	S/año:	119,224.22

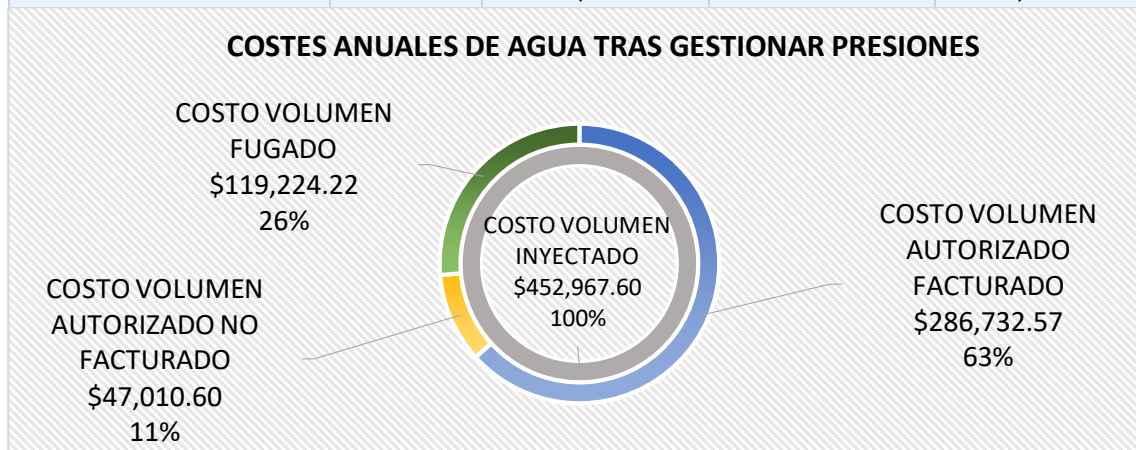


Figura 84: Costes anuales de agua con gestión de presiones.

Tabla 45: Nueva tarifación (Jefatura Agua Potable GADMG)

Categorías	Rangos de consumo por mes		USD X m ³	Valor USD /m ³	
			10,00%	adicional	
RESIDENCIAL	0	15	0,18	0,000	2,70
	16	30	0,20	0,020	5,94
	31	45	0,21	0,022	9,36
	46	60	0,25	0,024	14,97
	61	75	0,27	0,027	20,58
	76	90	0,29	0,029	25,93
	91	en adelante	0,35	0,032	31,47
COMERCIAL	0	15	0,4	0,000	6,00
	16	30	0,44	0,040	13,20
	31	45	0,48	0,044	21,78
	46	60	0,53	0,048	31,94
	61	75	0,59	0,053	43,92
	76	90	0,64	0,059	57,98
	91	en adelante	0,71	0,064	64,48
INDUSTRIAL	0	15	0,8	0,800	12,00
	16	30	0,88	0,880	26,40
	31	45	0,97	0,968	43,56
	46	60	1,06	1,065	63,89
	61	75	1,17	1,171	87,85
	76	90	1,29	1,288	115,96
	91	en adelante	1,42	1,417	128,97
PUBLICO	0	15	0,1	0,100	1,50
	16	30	0,11	0,110	3,30
	31	45	0,12	0,121	5,45
	46	60	0,13	0,133	7,99
	61	75	0,15	0,146	10,98
	76	90	0,16	0,161	14,49
	91	en adelante	0,18	0,177	16,12

El resultado que se ha obtenido es favorable en razón de que el volumen de agua inyectada al sistema ha disminuido en un 5.1% mientras que el valor recaudado de volumen de agua inyectada al sistema implementando la nueva tarifación ha aumentado un 80% de ingresos en comparación a la recaudación actual.

En las siguientes figuras se representa la diferencia de volúmenes y de costes comparando la situación actual del sistema, con las mejoras realizadas a la red, además se puede comparar los gráficos con la variación en el cambio de tarifa del consumo a los usuarios del abastecimiento de agua potable de la ciudad.

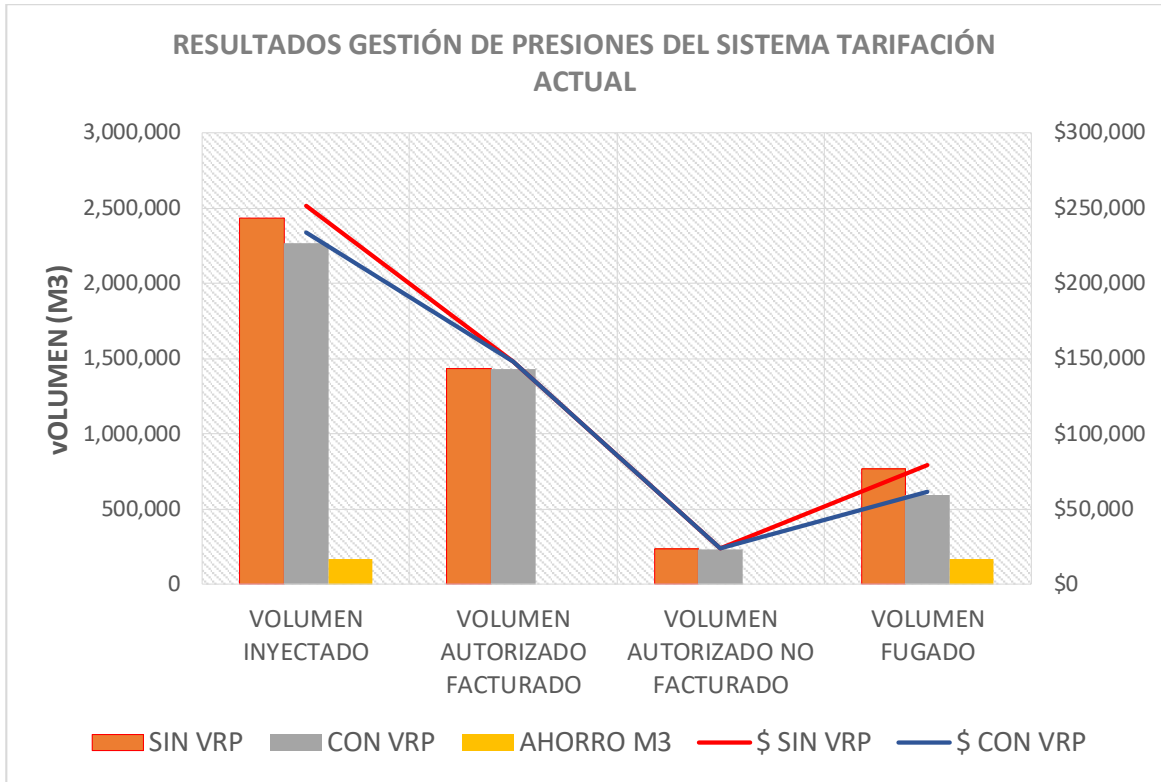


Figura 85: Resultado de volúmenes y costes con gestión de presiones.

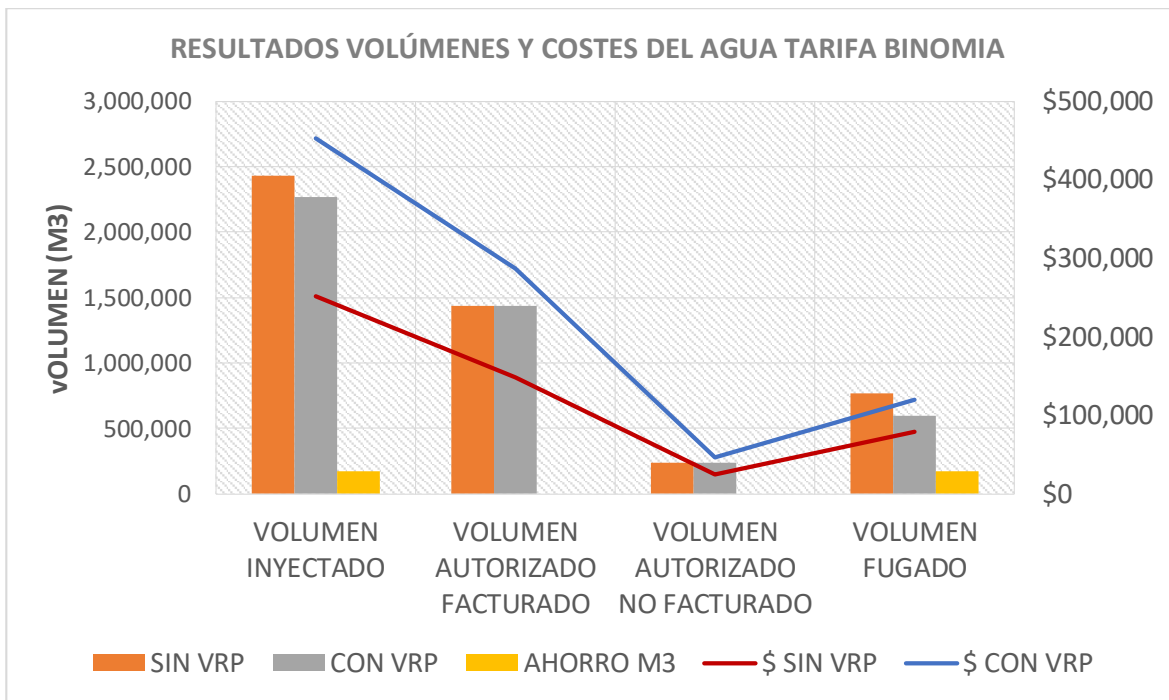


Figura 86: Resultados mejora en la tarifa.

En la Figura 86, se muestra que si se aplica la tarifa binomia, los montos a recaudar serían mayores, incluyéndose el beneficio de ahorro generado debido a la reducción de agua fugada de la red del sistema de agua potable.

CAPÍTULO VI:

CÁLCULO IMPULSIÓN

INTRODUCCIÓN

Como solución a mejorar el problema de presiones bajas en el sector de La Inmaculada (zona baja), se ha planteado la construcción de un nuevo depósito de regulación que abastezca a la zona Este de la ciudad. Este nuevo sistema se alimentará por medio de una línea de impulsión que parte desde el depósito existente (depósito La Inmaculada).

Como se mencionó anteriormente en el Capítulo V, apartado 5.1.1, se describe el lugar de implantación del nuevo depósito (Figura 63). En este capítulo se desarrolla los criterios utilizados para el dimensionamiento de la impulsión, depósito de regulación, selección del equipo de bombeo y cálculo del transitorio en la línea de impulsión.

6.1 PERFIL LÍNEA DE IMPULSIÓN

El punto de partida para el análisis del sistema por bombeo inicia en la obtención del perfil de la línea de impulsión. Lo ideal se basa en disminuir las pendientes elevadas del tramo, en este caso como la impulsión se implantará paralela a una vía, se respetarán las pendientes de la línea.

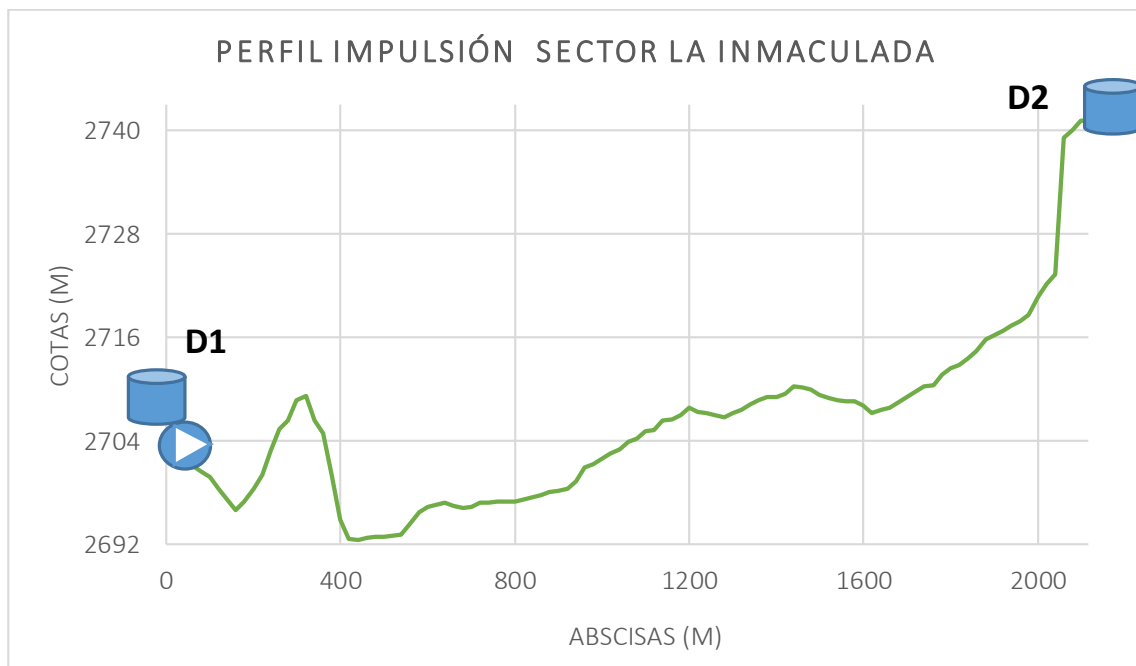


Figura 87: Perfil línea de impulsión.

La variación de la presión y velocidad en una instalación, así como el paro de los equipos de bombeo, pueden provocar una serie de graves problemas como sobrepresiones y depresiones en la instalación, por tal motivo es importante realizar un análisis de los elementos y su funcionamiento al momento de que se genere un transitorio hidráulico.

6.2 SELECCIÓN DE LA BOMBA PARA LA INSTALACIÓN

Uno de los aspectos más importantes a considerarse en el momento de diseñar una impulsión es el de la selección del equipo de bombeo. De este dependerá la eficiencia del sistema así como el consumo energético que este genere.

Los datos necesarios para seleccionar el equipo de bombeo son: el caudal a bombear (Q_b) y la altura de bombeo de la instalación (H_b).

Se ha definido que el funcionamiento de la estación de bombeo será durante 8 horas en el intervalo de 00:00 – 08:00, teniendo conocimiento que la tarifa eléctrica en la ciudad corresponde a una tarifa monomía con cuota de consumo, es decir; el valor de la tarifa no varía en función de las horas de consumo, las 8 horas de funcionamiento de la estación de bombeo podría realizarse en cualquier intervalo durante el día.

Se detallan a continuación los datos básicos de la instalación, en la Figura 87, se muestran las denominaciones que se ha dado a cada uno de los depósitos de regulación.

Tabla 46: Datos básicos de la instalación.

DATOS BÁSICOS DE LA INSTALACIÓN		
Longitud tramo impulsión	2114.09	m
Cota estación de bombeo	2704.5	m
Cota salida depósito 1 (D1)	2704.5	m
Cota entrada depósito 2 (D2)	2741.2	m
Cota lámina depósito 1	2706.5	m
Cota lámina depósito 2	2743.7	m
Desnivel entre depósitos	37.2	m
Material de la conducción	TUBERÍA PVC 1 MPa – 10 atm	
Diámetro nominal del tubo	200	mm
Diámetro interior	184.6	mm
Rugosidad de proyecto	0.1	mm
Velocidad máxima en la tubería	1.19	m/s
Q máximo bombeo	0.035	m ³ /s

El caudal a bombear lo obtenemos a partir del modelo matemático, una vez ingresada la tubería de impulsión al sistema. La altura de bombeo se obtiene aplicando Bernoulli entre el depósito 1 (La Inmaculada D1) y el depósito nuevo (D2).

$$\frac{P_{D1}}{\gamma} + Z_{D1} = \frac{P_{EB}}{\gamma} + Z_{EB} + \frac{8f * L_1}{\pi^2 * D^5 * 9.81} * Q^2$$

Obtenidos los datos de caudal a bombear y altura de bombeo de la impulsión, se revisan catálogos comerciales de bombas hasta seleccionar el equipo de bombeo adecuado, revisando que cumpla los requerimientos necesarios para la instalación.

Tabla 47: Resultados cálculo caudal y altura de bombeo.

CALCULO CAUDAL Y ALTURA DE BOMBEO INSTALACIÓN			
Presión estación de bombeo	$\frac{P_{EB}}{\gamma}$	2	mca
Pérdida unitaria máxima impulsión	R:	9.6	m/km
Altura de bombeo	H _b :	57.50	mca
Caudal a bombear	Q _b :	127.62	m ³ /h

La gran variedad de bombas de agua que se ofrecen en la actualidad plantea un desafío a la hora de elegir la más adecuada para el propósito de la instalación; se ha recurrido a un catálogo de bombas comerciales de marca **Ideal**.

Con los valores obtenidos anteriormente de caudal a bombear y altura de bombeo, (Q_b y H_b), se ingresa al gráfico de campos de trabajo de los equipos de bombeo, donde con los datos característicos se selecciona el equipo de bombeo con el que se trabajará en la instalación.

Se analizarán dos opciones de equipos de bombeo, determinándose de esta manera la bomba que cumpla con mejores características de funcionamiento para la instalación.

Como primera alternativa se plantea trabajar con una bomba tipo RNI 125-40, de 1450 RPM como se muestra en la Figura 88.

CAMPOS DE TRABAJO • CHAMPS DE TRAVAIL • PERFORMANCE CHARTS

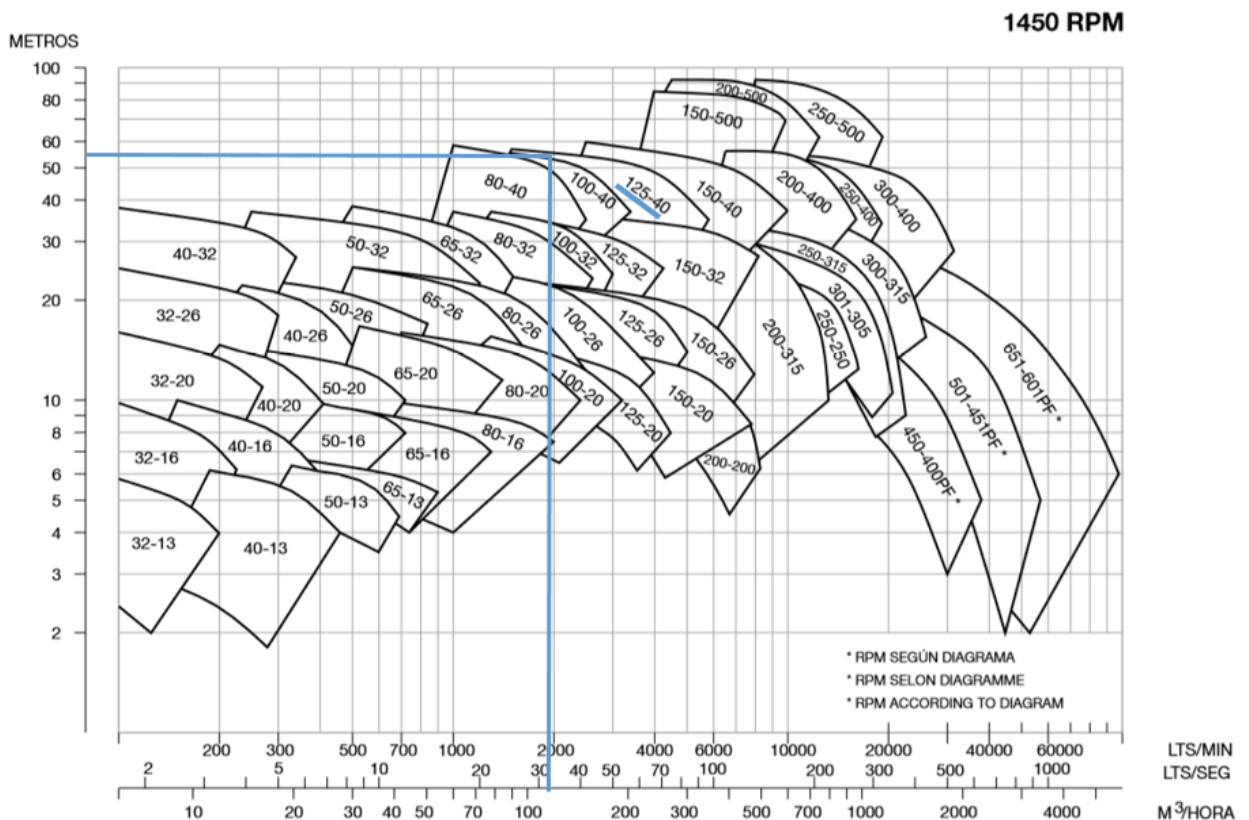


Figura 88: Selección de la bomba alternativa 1.

Tabla 48: Datos básicos de la bomba alternativa 1.

DATOS BÁSICOS DEL EQUIPO DE BOMBEO			
Tipo de bomba:	RNI 125-40		
N de revoluciones	N:	1450	RPM
Rendimiento	η :	64	%
Diámetro rodete	\varnothing rodete:	409	mm
Potencia bomba	potencia:	31.24	Kw

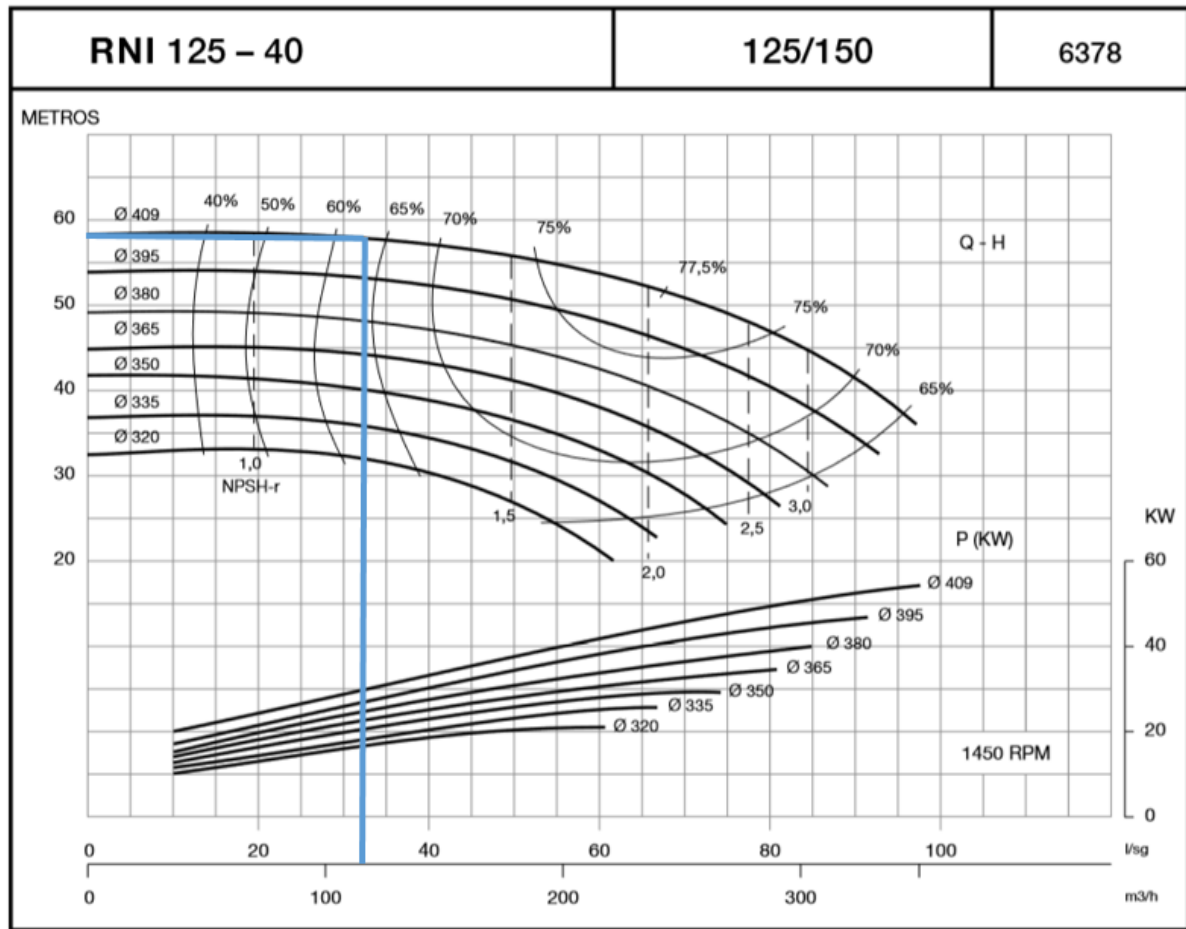


Figura 89: Curvas características de la bomba alternativa 1.

Al momento de ingresar al gráfico de las curvas características del equipo mediante el caudal y altura de bombeo (Q_b y H_b), se verifica que la bomba trabajará dentro de un rendimiento del 64%. Por lo que se plantea la opción de analizar otro equipo de bombeo para comparar el rendimiento de trabajo.

Como segunda alternativa se buscará en el gráfico de bombas de 2900 RPM, de igual manera, se ingresará mediante los datos de caudal y altura de bombeo. La bomba a analizar es del tipo RNI 65-20.

Tabla 49: Datos básicos de la bomba alternativa 2.

DATOS BÁSICOS DEL EQUIPO DE BOMBEO			
Tipo de bomba:	RNI 65-20		
N de revoluciones	N:	2900	RPM
Rendimiento	η :	76.5	%
Diámetro rodete	\varnothing rodete:	214	mm
Potencia bomba	potencia:	26.14	Kw

A continuación en las Figura 90 y 91 se detalla el proceso de selección de la segunda alternativa de selección del equipo de bombeo.

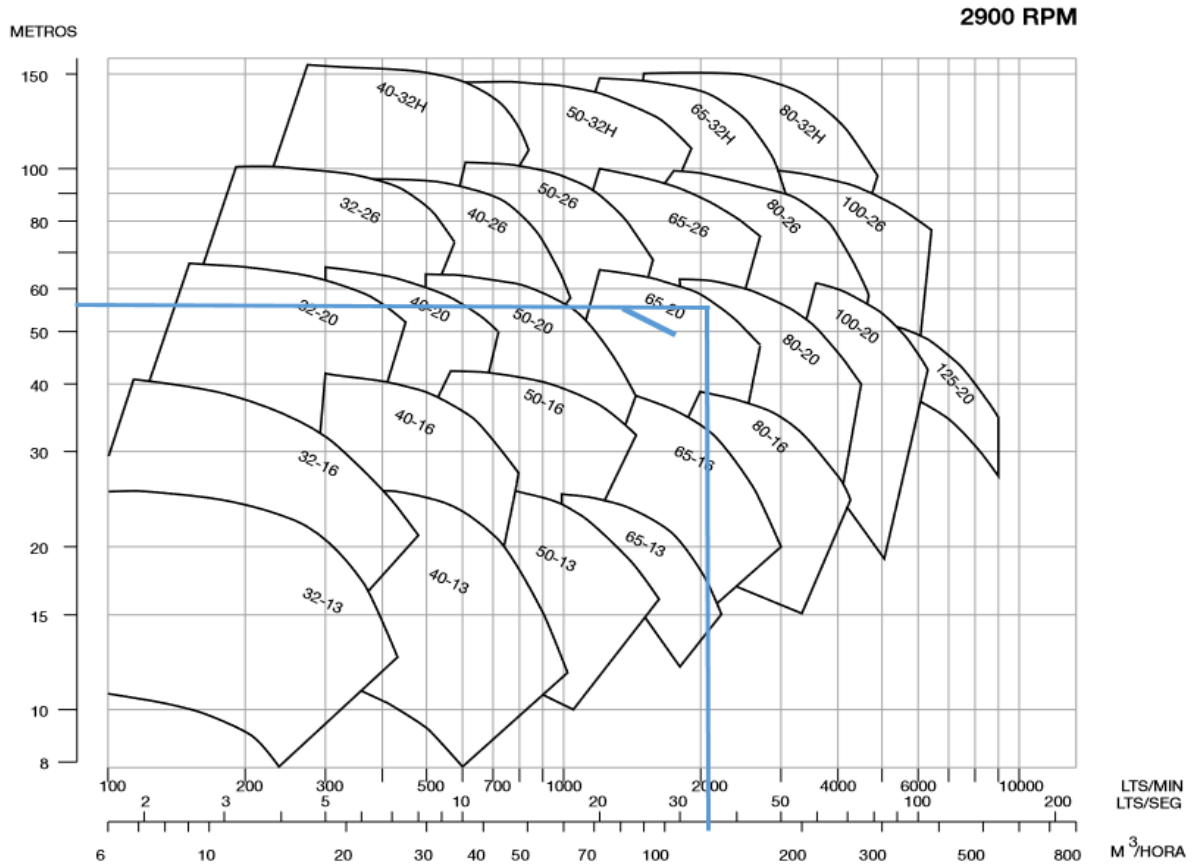


Figura 90: Selección de la bomba alternativa 2.

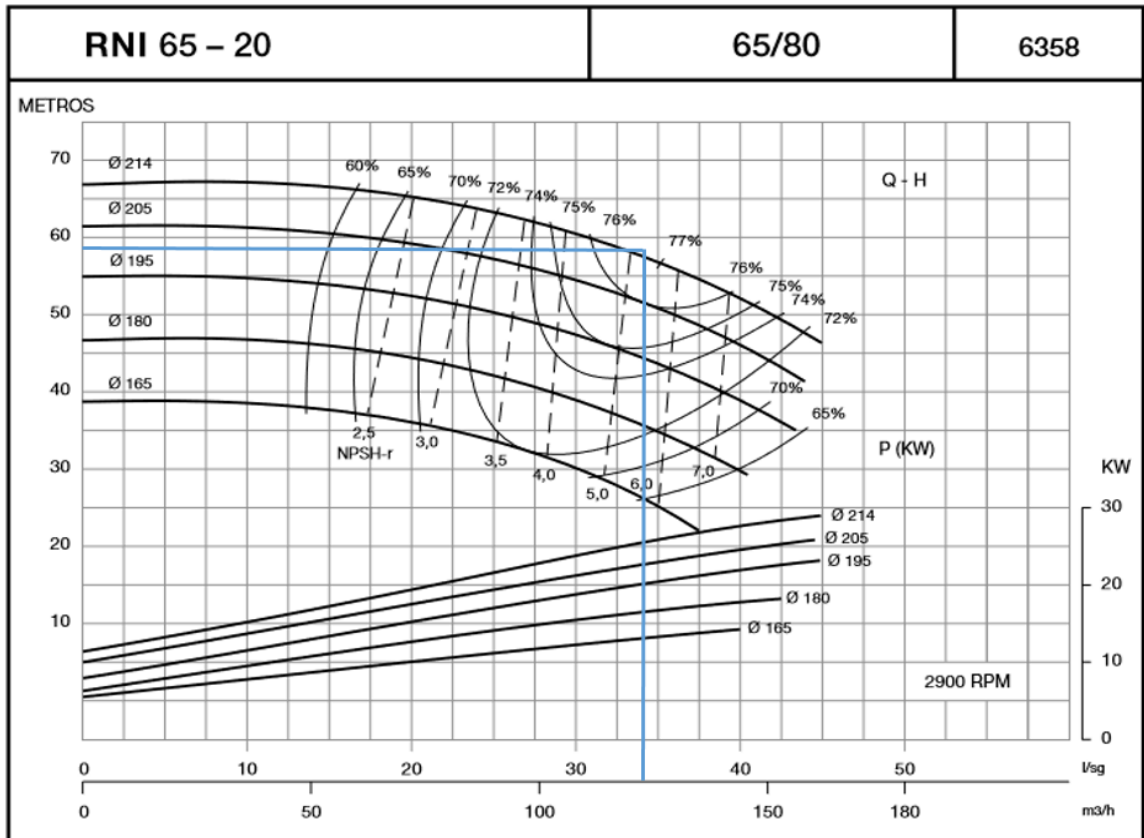


Figura 91: Curvas características de la bomba alternativa 2.

Con la segunda alternativa se puede obtener un rendimiento de 76.5%, siendo este un rango de trabajo óptimo para el funcionamiento de la estación de bombeo.

De igual manera es posible analizar trabajar con dos bombas en lugar de una sola, se seguiría el mismo procedimiento de selección. Como en este caso la línea de impulsión es de pequeñas dimensiones, se seleccionará trabajar con un solo equipo de bombeo; además se considerará para el presupuesto referencial una bomba adicional como garantía de trabajo en caso de que ocurriera algún desperfecto en el equipo.

Se ha seleccionado la bomba correspondiente al tipo **RNI 65-20**, siendo esta una bomba en carga, esto quiere decir que la bomba se encuentra en el mismo nivel que el agua a bombear.

6.3 CÁLCULO TRANSITORIO DE LA LÍNEA DE IMPULSIÓN

El fenómeno de golpe de ariete consiste en la variación de presiones generando problemas de depresiones y sobrepresiones debido al movimiento oscilatorio del agua en el interior de la tubería, se puede producir en impulsiones como en abastecimientos por gravedad.

Para analizar un fenómeno transitorio se debe partir de un sistema estable en régimen permanente, a partir de este se introducirá el cambio que generará un régimen transitorio evitándose los problemas producidos por sobrepresiones o depresiones en la impulsión.

Se realiza el cálculo del régimen transitorio de la línea de impulsión, donde se analizará la parada repentina de la bomba y los fenómenos que esto genera.

6.3.1 DETERMINACIÓN DE LA INERCIA Y CELERIDAD.

La inercia es un parámetro muy sensible en el análisis de los transitorios producido por arranque y parada de bombas. Debido a que la bomba escogida no aporta con datos de inercia del elemento, y conociendo que este valor es un dato imprescindible para evaluar el golpe de ariete en la impulsión, considerando que de su valor dependerá de manera directa el resultado de la presión resultante, es necesario calcularlo.

Existen un conjunto de fórmulas semi-empíricas que proporcionan el valor de la inercia equivalente del conjunto motor- bomba-fluido, no es recomendable la utilización de dichas fórmulas debido a que el valor de la inercia no demuestra la realidad; de manera preferente se calculará la inercia del rodete, con las dimensiones proporcionadas por el fabricante, siendo un valor más apegado a la realidad, brindando un factor de seguridad al cálculo del transitorio.

Para obtener el cálculo de la masa del rodete es necesario conocer sus dimensiones, si en catálogos de equipos se llegara a encontrar el valor de la inercia, se recomienda realizar la comprobación de dicho valor puesto que puede encontrarse subdimensionado.

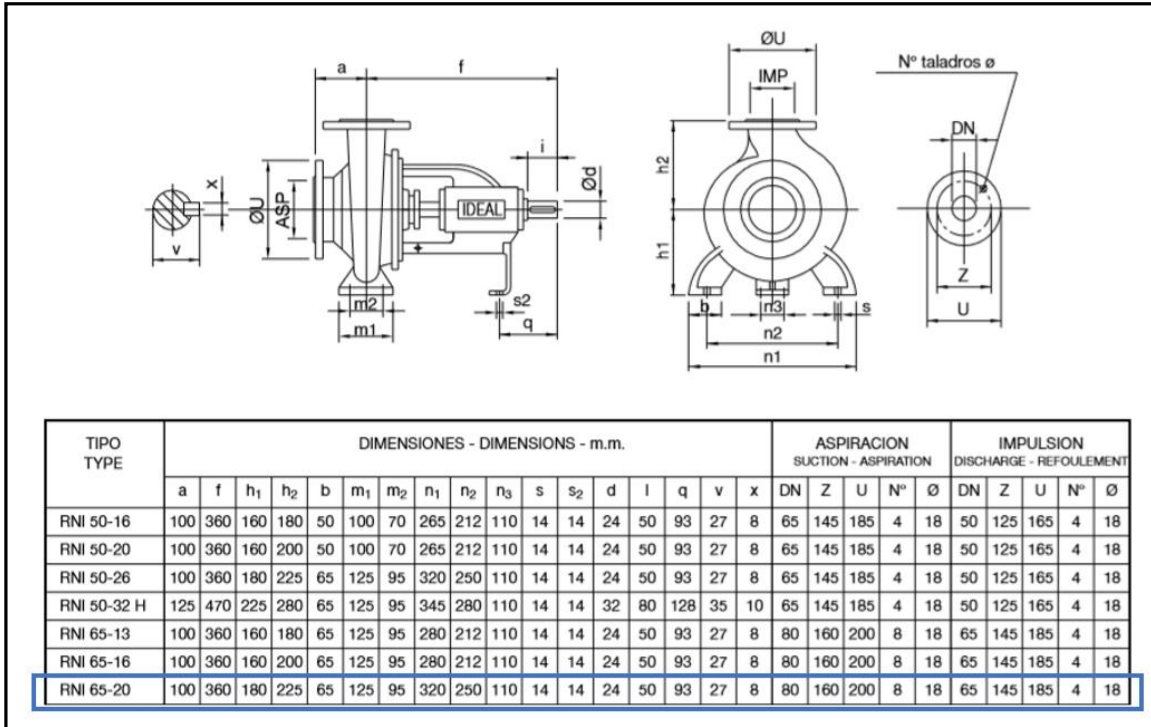


Figura 92: Dimensiones equipo de bombeo.

Las dimensiones se encuentran en base al tipo de bomba seleccionada para la instalación. Para el cálculo de la inercia se trabajará con la densidad del acero material que conforma el rodete de la bomba.

Tabla 50: Determinación inercia de la bomba.

DETERMINACIÓN INERCIA BOMBA		
Ø Rodete:	214	mm
Espesor rodete:	95	mm
Volumen rodete:	0.0137	m ³
Densidad rodete:	2400	kg/m ³
Densidad agua:	1000	kg/m ³
Masa rodete + agua:	23.24	kg
Inercia:	0.13	kg m²

Determinamos la inercia aplicando la siguiente fórmula:

$$I = \frac{1}{2} * m * r^2$$

$$I = \frac{1}{2} * 23.24 * 0.107^2$$

$$I = 0.13 \text{ kg m}^2$$

El valor calculado es el que se ingresará en la modelación del sistema

6.3.2 CÁLCULO DE LA CELERIDAD

La celeridad es la velocidad de propagación de la onda de presión a través del agua en la tubería, su valor se determina a partir de la ecuación de continuidad y esta depende

de las características geométricas y mecánicas de la conducción, así también como de la compresibilidad del agua.

El material de la tubería de impulsión seleccionado es de PVC, se procede a calcular la celeridad, valor necesario para el cálculo del transitorio obteniéndose los resultados de la Tabla 51.

Tabla 51: Cálculo celeridad

DATOS DEL FLUIDO	
Coeficiente del módulo de elasticidad (K)	2.07E+09 kg/m ²
Densidad del agua	1000 kg/m ³
DATOS DE LA IMPULSIÓN	
Módulo de Young (MPa)	2950
Diámetro interior (mm)	184.6
Espesor (mm)	15.4
Rugosidad (mm)	0.1
Celeridad de la onda de presión	469.04

6.4 MODELACIÓN DE LA IMPULSIÓN EN EL SOFTWARE ALLIEVI

Por medio de la modelación del tramo de impulsión se podrá evaluar el fenómeno de golpe de ariete (transitorio) en la instalación, se realizará en el software Allievi.

El software Allievi, nos permite realizar la simulación de transitorios hidráulicos de manera fiable, siempre que los datos e información ingresados sean los correctos, y representen la realidad del sistema.

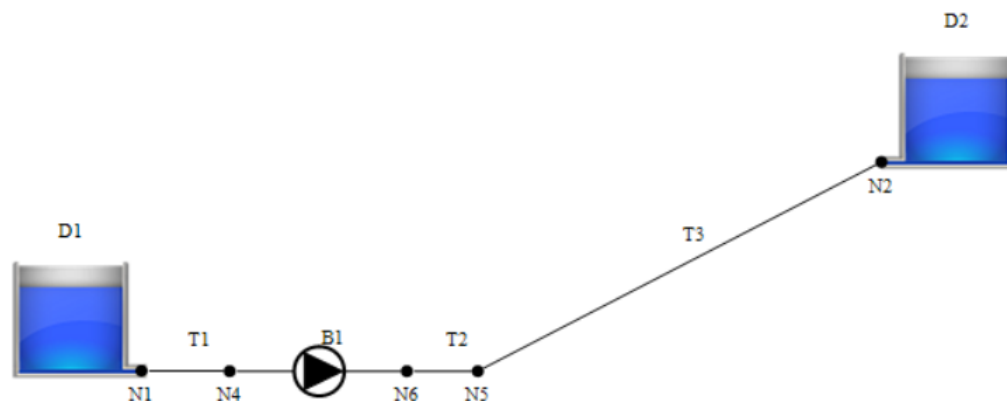


Figura 93: Representación modelo software Allievi.

Una vez que se ha representado el modelo de manera gráfica, se introducirán los datos previamente calculados de cada uno de los elementos que conforman el sistema, la Figura 94 muestra los datos correspondientes a: depósitos, nudos, tuberías y estación de bombeo.

Depósitos - Datos básicos						
Nombre	Ni	Nf	Zs (m)	Tipo	S (m ²)	Z0 (m)
D1	---	N1	2704.5	GD		2705.5
D2	N2	---	2741.2	GD		2742.5

Nudos		
	Nombre	Cota (m)
	N1	2704.5
	N2	2741.2
	N4	2704.5
	N5	2704.5
	N6	2704.5

Tuberías - Datos básicos										
Nombre	Ni	Zi (m)	Nf	Zf (m)	Dint (mm)	L (m)	e (mm)	a (m/s)	Calc.	Perfil
T1	N1	2704.5	N4	2704.5	184.6	10	0	0	Calc.	----
T2	N6	2704.5	N5	2704.5	184.6	1	0	0	Calc.	----
T3	N5	2704.5	N2	2741.2	184.6	2114.09	0	469.04	Calc.	^-^-/

Estación de bombeo - Datos básicos						Instalación			Rotación			
Nombre	Ni	Nf	Z (m)	Num	Curva	V Reg	V Ret	By-Pass	Nreg	Nnom	I	Inicial
B1	N4	N6	2704.5	1	Universale	No	Si	No	2900	2900	0.13	Calc. En marc

Rendimiento óptimo					V Regulación			
Q (l/s)	H (m)	P (Kw)	Rend(%)	DN (mm)	Tipo	Modelo	Maniobra	
35.45	57.5	26.14	76.5					

Figura 94: Datos de ingreso representación modelo.

6.4.1 FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN EN RÉGIMEN PERMANENTE

Se calcula el modelo en régimen permanente para obtener los resultados de presión máxima que soportará la tubería en los puntos de la instalación. El nudo más desfavorable corresponde al **Nudo 6**, el mismo que se ubica en la salida de la estación de bombeo; la presión nominal de la tubería de PVC de diámetro 200 mm es de 1MPa (10 atm), valor que se encuentra arriba de la presión necesaria.

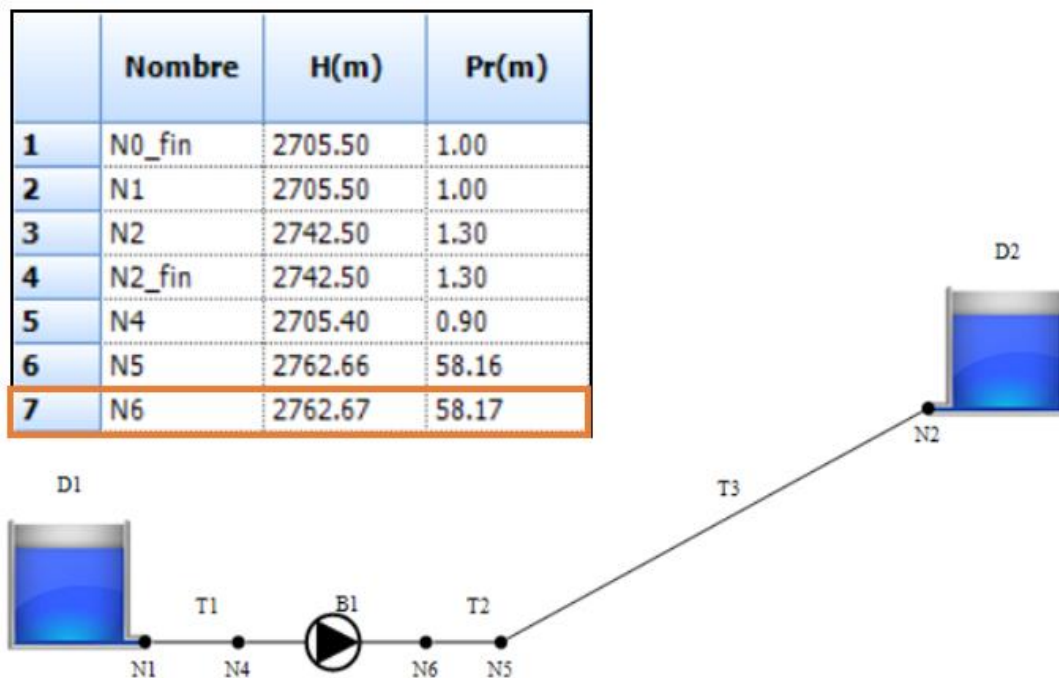


Figura 95: Simulación régimen permanente.

6.4.2 ANÁLISIS DEL TRANSITORIO ORIGINADO POR LA PARADA DEL GRUPO DE BOMBEO.

Se procede a calcular el régimen transitorio, de esta manera se puede evaluar la evolución del gráfico de las envolventes de presiones máximas y mínimas de la instalación al producirse la parada accidental del grupo de bombeo.

Se verifica que la presión máxima se genera con 60.69 mca y la presión mínima (depresión) con un valor de -5.71 mca, razón por la cual se plantea la necesidad de instalar elementos de protección en el sistema.

En el tramo de impulsión se produce primero la onda de depresiones, representada por la línea de color rojo en la Figura 96, las sobrepresiones no afectan a la instalación debido a que el valor de la presión no supera a la presión nominal de la tubería correspondiente a $1\text{MPa} - 10\text{ atm}$.

Teniendo conocimiento del problema que se genera en el tramo de impulsión de la instalación, es necesario analizar estrategias de protección frente a transitorios hidráulicos.

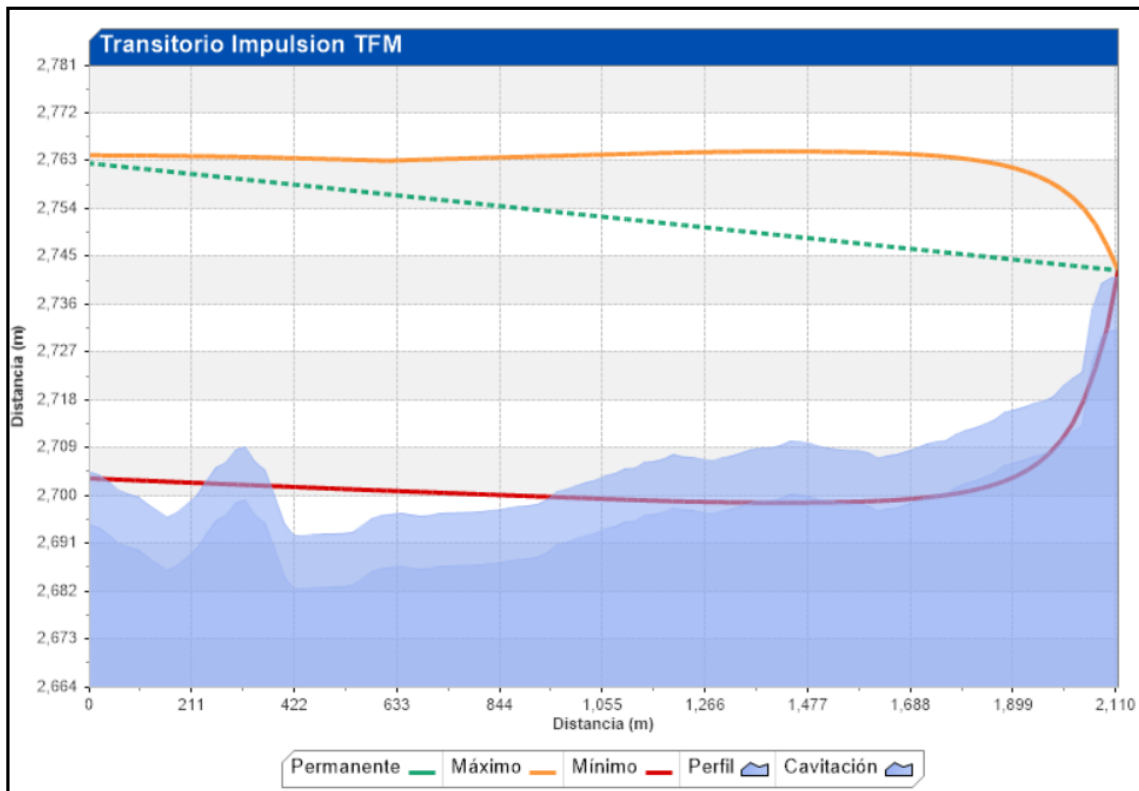


Figura 96: Gráfico de envolventes de presión del sistema.

6.4.3 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA FRENTE A TRANSITORIOS HIDRÁULICOS.

Los métodos más adecuados para proteger la instalación contra el efecto del transitorio se agrupan en dos clases: elementos de acción directa y elementos de acción indirecta; los primeros se instalan en serie con la conducción y éstos actúan desde el instante inicial que comienza el transitorio hidráulico. Los elementos de acción indirecta se colocan en paralelo y éstos actúan en el momento oportuno.

En el proyecto se aplicarán los métodos de acción indirecta, dentro de esta clasificación podemos encontrar los siguientes elementos:

- Chimeneas de equilibrio.
- Tanques unidireccionales.
- Calderines de aire.
- By – pass.
- Ventosas.
- Válvulas de alivio.
- Válvulas reguladoras de presión o anticipadoras de onda.

Es necesario determinar qué problema se necesita solucionar en cada tramo del sistema y analizar el funcionamiento de cada elemento de protección y de esta manera escoger la mejor alternativa de protección para el transitorio hidráulico.

6.4.3.1 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN EN IMPULSIÓN

El tramo en análisis presenta problema de depresiones a lo largo de la línea de impulsión, por lo que es necesaria la inyección de agua al sistema, los elementos que se recomendaría para solucionar este efecto son:

Chimeneas de equilibrio

Son recomendables para impulsiones con baja pendiente o cuando en el perfil del sistema exista una pequeña diferencia de cotas con el punto de desagüe.

Es un dispositivo de protección adecuado para controlar sobrepresiones y depresiones, se encuentra a presión atmosférica por lo que debe ser instalada en un punto donde la diferencia entre la altura piezométrica y cota geométrica sea moderada. La ventaja de este dispositivo es el mantenimiento y su desventaja es la altura de la chimenea debido a que debe ser superior a la altura piezométrica y la calidad del agua que almacena el elemento.

Tanques unidireccionales

Este elemento tiene como función evitar las depresiones que pueden producirse en la conducción, al contrario de lo que ocurría con la chimenea de equilibrio, la cota superior del tanque se encuentra siempre por debajo de la altura piezométrica en régimen permanente en el punto donde éste se encuentra instalado. Su ventaja es la flexibilidad que puede tener la geometría del tanque; esta flexibilidad de instalación del tanque hace que sea especialmente adecuado para perfiles topográficos irregulares, que requerirían de grandes chimeneas de equilibrio para su protección.

El inconveniente que presenta el tanque unidireccional es el mantenimiento periódico que este requiere, para asegurar el funcionamiento de las válvulas que lo conforman (válvula de retención y válvula de llenado).

Calderines de aire

Es el dispositivo de protección más utilizado para el control de transitorios, principalmente para la protección de instalaciones de bombeo. En el caso que se origine un transitorio por fallo del suministro eléctrico, éste se convierte en una fuente de energía que mantiene el movimiento del fluido en la conducción.

Al tratarse de un calderín de aire comprimido, mientras el aire se va expandiendo, la presión va disminuyendo, así trata de convertir un transitorio rápido en un fenómeno lento de oscilación en masa.

El calderín es un elemento de control especialmente indicado en perfiles con mucha pendiente, en los cuales resulta sumamente eficaz, presentando como inconveniente principal su elevado costo. Este dispositivo protege sobrepresiones como depresiones.

6.5 SELECCIÓN Y DISEÑO DE ELEMENTO DE PROTECCIÓN

Se ha seleccionado la instalación de un calderín de aire comprimido para solucionar los problemas de depresiones en el tramo de impulsión del sistema.

Se considerarán varios criterios para el diseño del calderín:

- Tener en cuenta la presión máxima obtenida en régimen permanente.
- El volumen de calderín debe contemplar el volumen de aire ya que este es el que protege la instalación.
- Verificar el nivel de vaciado del calderín, puede vaciarse.

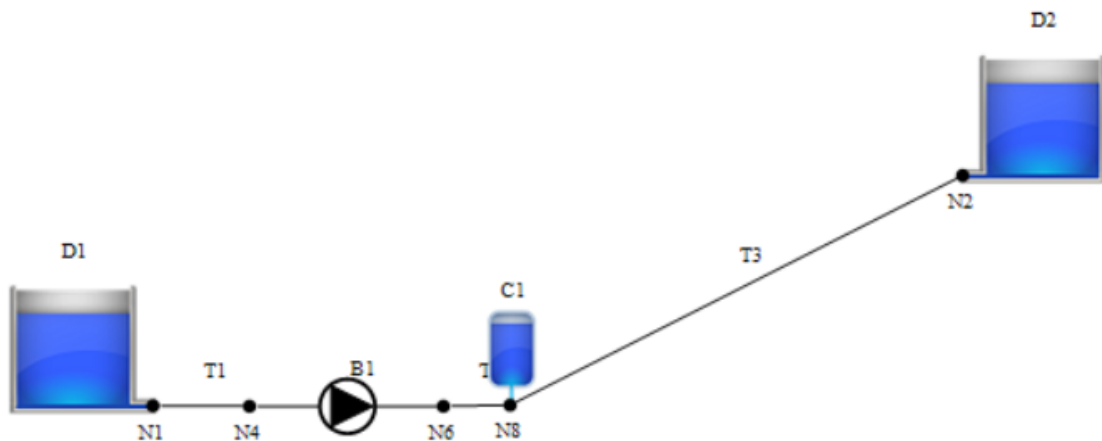


Figura 97: Elemento de protección en la instalación.

Se realizaron varias iteraciones hasta obtener las dimensiones del calderín necesario requerido, siempre se debe verificar el margen de nivel de agua para un diseño óptimo de este elemento de protección

El tipo de calderín seleccionado posee las siguientes características:

Tabla 52: Características calderín a instalar.

CARACTERÍSTICAS CALDERÍN		
Volumen calderín	1.0	m3
Volumen de aire	0.5	m3
Observaciones	Calderín con vejiga	

Tabla 53: Cálculo calderín.

Volumen (m3)	Diámetro (m)	Sección (m2)	Altura (m)	Volumen aire (m3)	Presión hinchado	Nivel Inicial	Nivel Mínimo	Margen
1.4	0.893	0.63	2.23	0.6	18.31	1.28	0.98	43.88%
1.4	0.893	0.63	2.23	0.5	13.53	1.44	0.80	35.82%
1.2	0.849	0.57	2.12	0.6	23.085	1.06	0.30	14.14%
1	0.799	0.50	2.00	0.5	23.085	1.00	0.22	11.02%

El volumen de calderín seleccionado se ha realizado en base a los parámetros antes mencionados, se ha optado por un calderín de vejiga de 1 m³, el mismo que tiene un margen de 11% de vaciado, la Figura 98 muestra la variación de niveles que presenta el momento del transitorio hidráulico.

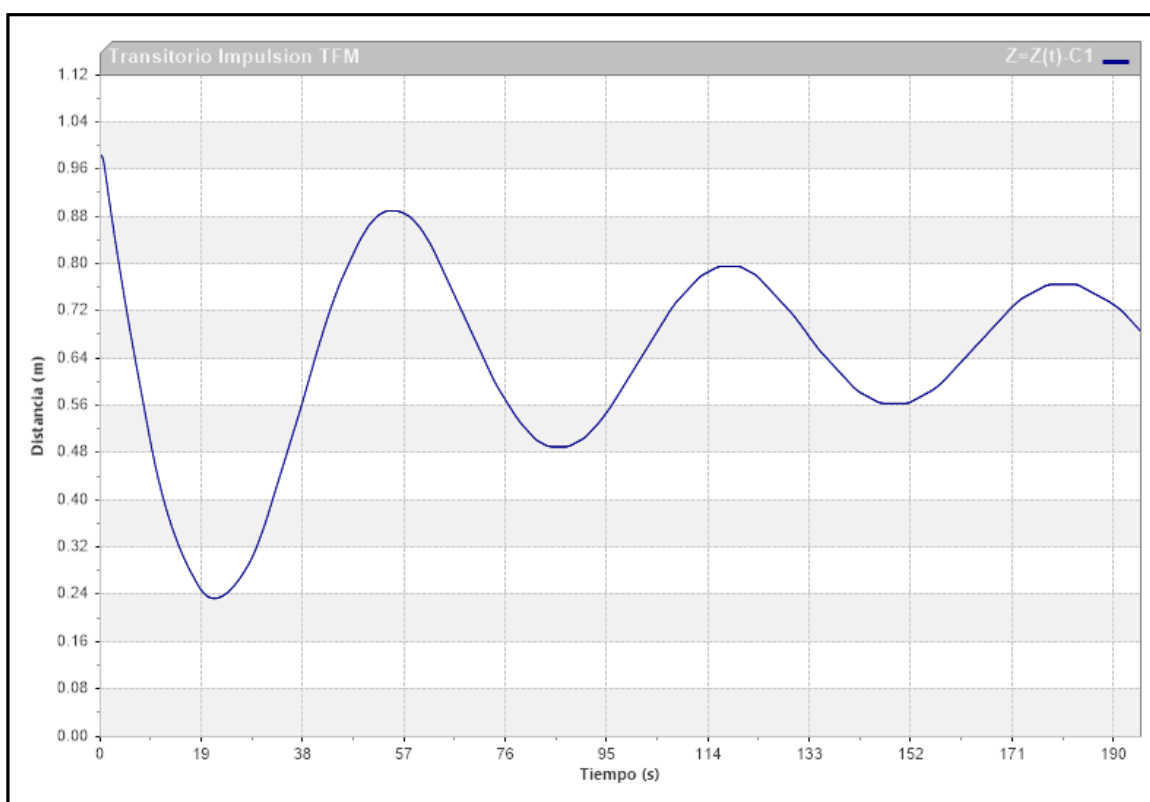


Figura 98: Nivel de llenado y vaciado calderín.

En la Figura 99 se muestra el resultado de las envolventes de presión tras la instalación del elemento de protección, en este caso se instalará un calderín de 1 m³ de volumen, los resultados han sido satisfactorios ya que los problemas de depresiones y sobrepresiones se encuentran regulados de manera eficiente.

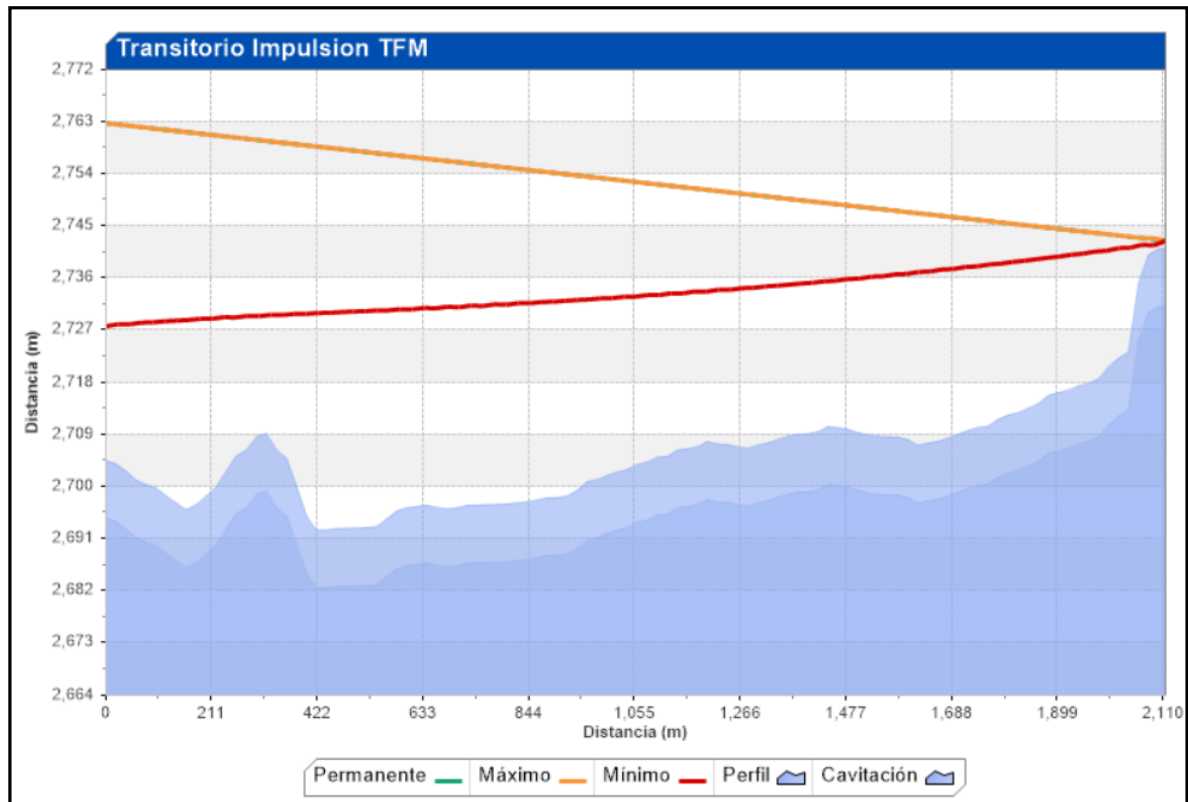


Figura 99: Envoltorios de presión con elemento de protección.

6.6 DIMENSIONAMIENTO DEPÓSITO DE REGULACIÓN.

Los depósitos son estructuras aptas para contener un cierto volumen de agua, cumplen la función de regulación de caudales y de almacenamiento de agua; deben garantizar criterios de seguridad en el servicio.

La seguridad en el servicio se refiere a la satisfacción de la demanda en horas punta, el depósito de regulación debe garantizar las características organolépticas y de calidad del agua, evitando variaciones de temperatura, crecimiento de algas, contaminación exterior, entre otras.

Para la elección de la tipología del depósito se debe tener en cuenta, los aspectos económicos de las diferentes alternativas a considerarse. Se ha escogido la implantación de un depósito superficial cerrado y circular, debido a que los depósitos circulares estructuralmente son más flexibles en comparación a los depósitos rectangulares.

Como se mencionó anteriormente, el bombeo se realizará en un intervalo de 8 horas, comprendidas entre las 00:00h y 08:00h, este valor fue determinado en base a un análisis, donde se evaluó el tamaño de la impulsión y el caudal que se trasegará hacia el depósito.

Tabla 54: Parámetros iniciales diseño depósito de regulación.

DEPÓSITO LA INMACULADA		
Horas de bombeo	8	h/día
Caudal medio (Qm)	11.82	l/s
	42.54	m3/h
Caudal bombeado (Qb)	127.60	m3/h

Con los datos iniciales de la Tabla 54 se procede a realizar el cálculo de volumen útil del depósito de regulación, el análisis fue realizado siguiendo la curva de modulación del sistema, obteniéndose un volumen máximo de 782.4 m3.

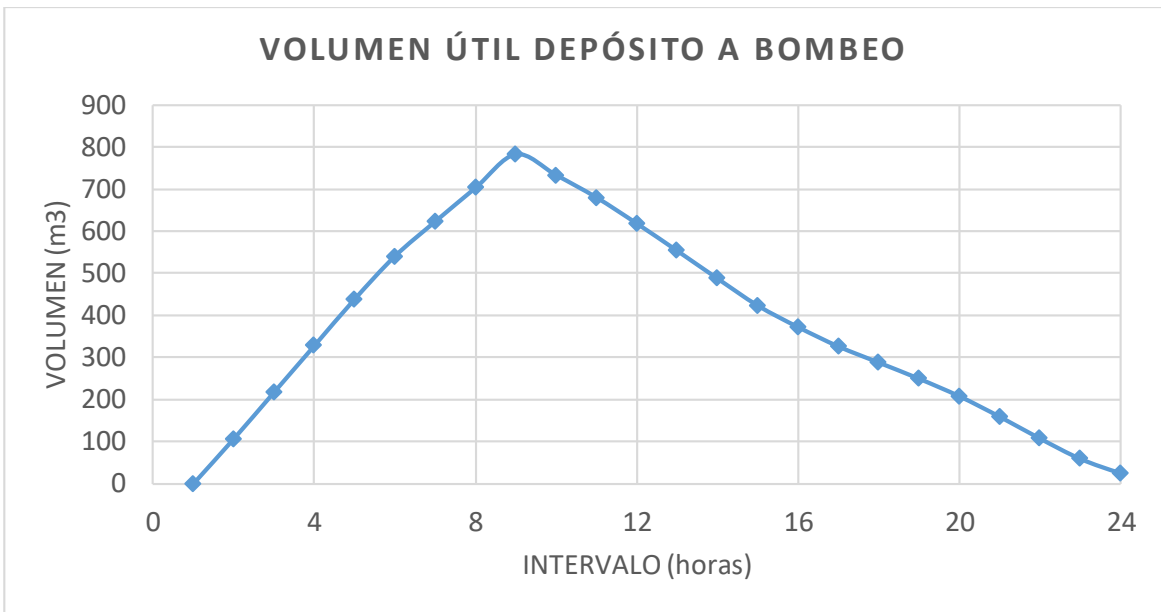


Figura 100: Volumen útil depósito de regulación.

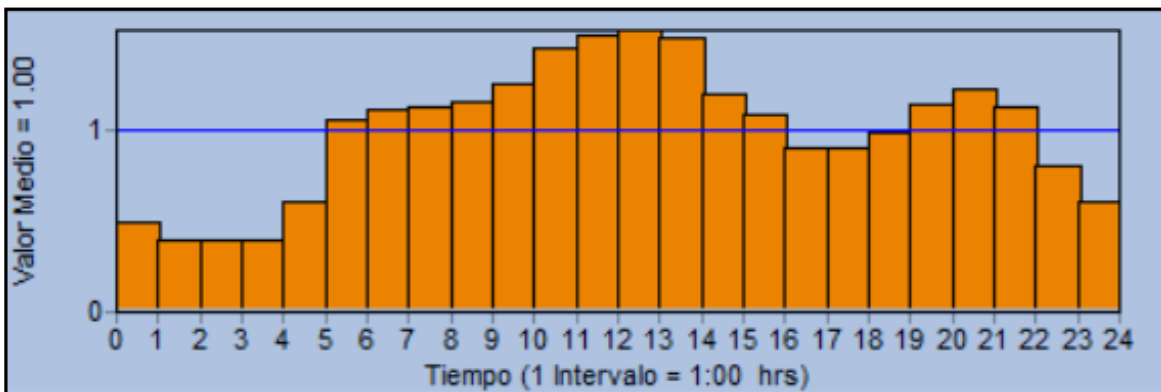


Figura 101: Curva de modulación para diseño.

En la Tabla 55 se verifica la variación del volumen de agua a lo largo del día en el depósito del tramo de impulsión.

Tabla 55: Diseño depósito de regulación.

INTERVALO	FACTOR MODULACIÓN	Q ENTRADA	Q SALIDA	VOLÚMEN INICIAL	VOLÚMEN FINAL
<i>hora</i>		<i>m3/h</i>	<i>m3/h</i>	<i>m3</i>	<i>m3</i>
0-1	0.5	127.6	21.27	0.0	106.4
1-2	0.4	127.6	17.02	106.4	217.0
2-3	0.4	127.6	17.02	217.0	327.6
3-4	0.4	127.6	17.02	327.6	438.2
4-5	0.6	127.6	25.53	438.2	540.3
5-6	1.06	127.6	45.10	540.3	622.8
6-7	1.12	127.6	47.65	622.8	702.8
7-8	1.13	127.6	48.07	702.8	782.4
8-9	1.16	-	49.35	782.4	733.0
9-10	1.25	-	53.18	733.0	679.8
10-11	1.45	-	61.69	679.8	618.1
11-12	1.52	-	64.67	618.1	553.4
12-13	1.55	-	65.94	553.4	487.5
13-14	1.51	-	64.24	487.5	423.3
14-15	1.2	-	51.05	423.3	372.2
15-16	1.08	-	45.95	372.2	326.3
16-17	0.9	-	38.29	326.3	288.0
17-18	0.9	-	38.29	288.0	249.7
18-19	0.98	-	41.69	249.7	208.0
19-20	1.14	-	48.50	208.0	159.5
20-21	1.22	-	51.90	159.5	107.6
21-22	1.13	-	48.07	107.6	59.5
22-23	0.8	-	34.04	59.5	25.5
23-24	0.6	-	25.53	25.5	0.0

Tabla 56: Dimensiones depósito de regulación.

DIMENSIONES DEPÓSITO		
Volumen útil	782.4	m3
Diámetro	20	m
Altura	2.5	m
Volumen real	785	m3

Una vez que el depósito de regulación ha sido calculado, se ingresan los datos al modelo matemático. En la Figura 102 se verifica la variación de niveles a lo largo de una simulación de 7 días. Se ha podido comprobar el dimensionamiento de la estructura de almacenamiento y regulación.

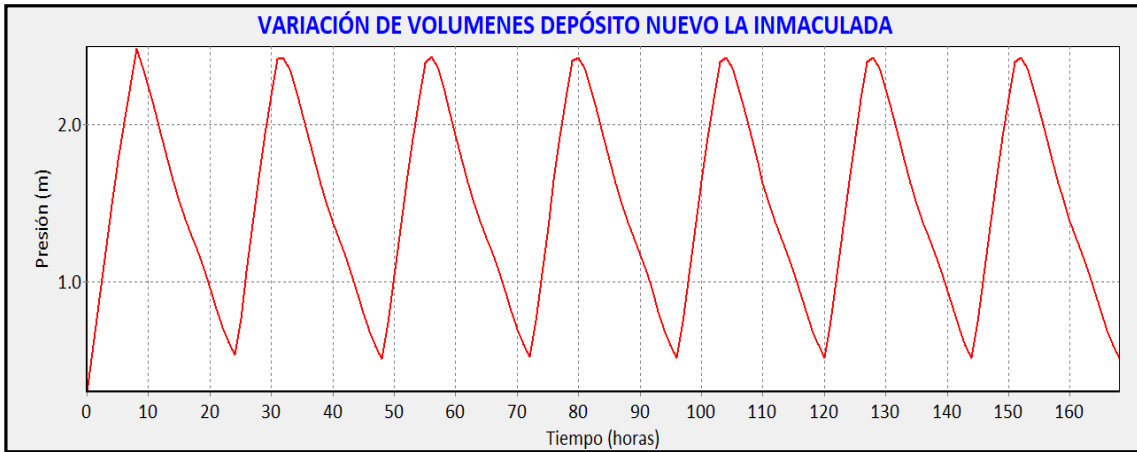


Figura 102: Variación volumen depósito nuevo La Inmaculada.

(Riba Genesca, 2005), realiza un análisis de varios depósitos de sistemas de agua potable en “Cálculo y elección óptima de un depósito de agua”, obteniéndose como uno de sus resultados la Figura 103, donde se observa la relación que existe entre el coste y el volumen de los depósitos de regulación.

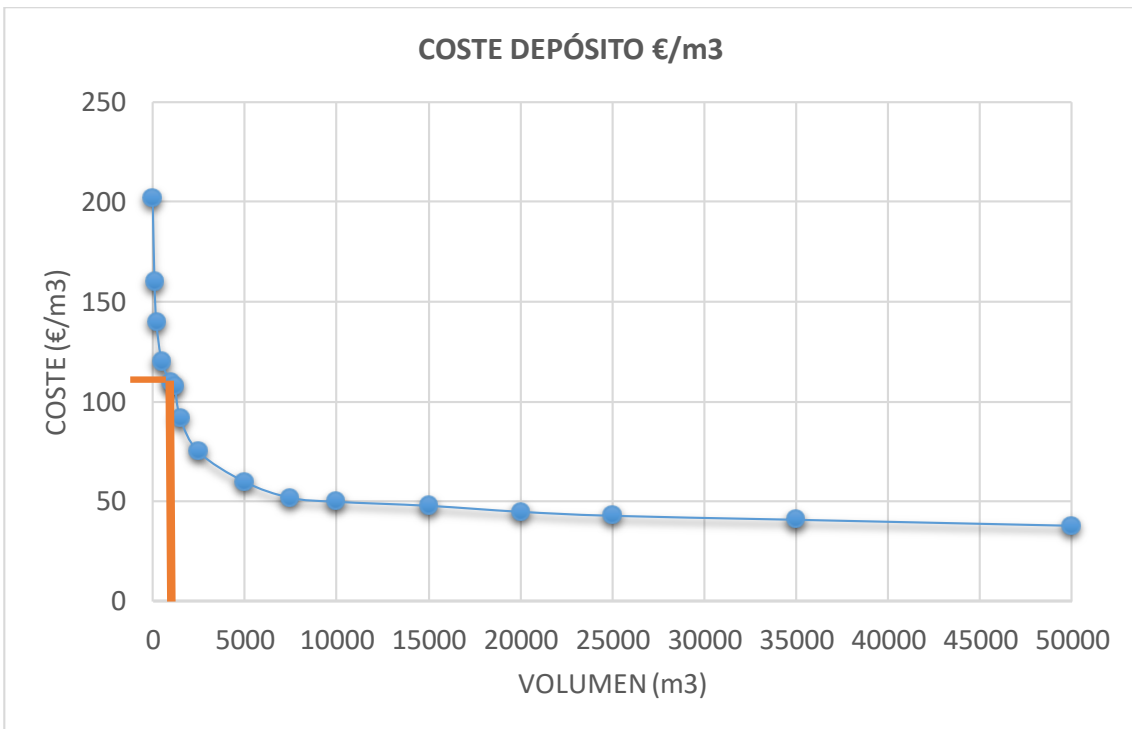


Figura 103. Coste mínimo de un depósito por m3 de capacidad (Riba Genesca, 2005).

El coste obtenido de la Figura 103, corresponde a un valor de 120 €/m3, para un depósito de 785 m3. Este valor se ha contemplado en el presupuesto referencial necesario para la construcción del proyecto de impulsión. (Ver Anexos).

CAPÍTULO VII:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

Se finaliza el presente trabajo con la conclusión de que las propuestas de mejora presentadas e implementadas en el estudio para la mejora de la eficiencia del sistema de agua potable del cantón Guano, es necesaria, factible y rentable.

Se ha logrado mejorar la gestión del abastecimiento con el ahorro del volumen de agua inyectada al sistema, debido a la reducción de agua fugada. La situación actual de la red presentaba una cantidad de agua fugada de 24.60 l/s, y se ha reducido a un valor de 19.17 l/s, generando un ahorro económico a la municipalidad de 33,780 \$/anuales, siempre que se realice la inversión de 433,820.66 \$ que representan el valor de las mejoras a realizarse en el sistema.

El problema principal que presenciaba la red en estado inicial fue la variación de presiones en el sistema, superando límites máximos y mínimos. El motivo principal del ahorro económico que se genera al municipio radica en la gestión de presiones aplicada al sistema. La presión se ha reducido considerablemente de 44.21 mca a un valor medio en la red de 28.48 mca; las técnicas utilizadas fueron la sectorización del municipio, sectorización por pisos de presión basada en la instalación de válvulas reductoras de presión.

Se realizó la revisión y mejora del modelo matemático proporcionado por la Jefatura de Agua Potable de la municipalidad, con la ayuda del software EPANET, se obtuvo como resultado un modelo matemático que se asemeja a la red del sistema actual. En el mismo que se pueden realizar simulaciones de cambios y visualizar distintos escenarios a lo largo del tiempo, permitiendo un ahorro de tiempo a los operarios del sistema.

Para gestionar la red de agua, se utilizó la técnica de sectorización, éstas se realizaron en base al conocimiento de la red y del modelo matemático. Debido que gestionar un abastecimiento por zonas independientes y limitadas por una única línea de abastecimiento facilita el control y operación de la red al abastecimiento.

El número de 3 sectores iniciales del sistema, se incrementaron a 4 debido a la instalación del nuevo depósito y línea de impulsión en el sector La Inmaculada, sin embargo las características y límites de los dos sectores restantes (sector Barrios Altos y Lluishi); no son las mismas que las iniciales. Teniendo como resultado una considerable reducción de sobrepresiones en las zonas intervenidas.

Debido a las características topográficas de la ciudad de Guano, se realizó sectorizaciones por niveles de presión en el sistema, lográndose resultados satisfactorios, todos los nudos de consumo se encuentran bajo el cumplimiento de presiones dentro de las normativas nacionales e internacionales establecidas.

Se instalaron un total de 21 válvulas reductoras de presión, esto se debe a la alta diferencia de cotas de nivel que existen entre los depósitos de regulación y los puntos de consumo de la red, la implementación de estos elementos permitió controlar de una manera eficiente la disminución de presiones en el sistema.

Con respecto al tema económico; en la actualidad el abastecimiento enfrenta un serio problema debido al bajo precio de tarificación que pagan los abonados por el sistema de agua potable, con la aprobación de la nueva propuesta tarifaria, se alcanzará una rentabilidad del mismo.

En definitiva, se considera que el presente trabajo ha cumplido los objetivos propuestos: realizar la evaluación, diagnóstico y análisis del funcionamiento de la red actual del abastecimiento de agua potable, plantear una mejora del modelo matemático existente y la propuesta de soluciones a los problemas principales que afectan la gestión del abastecimiento; demostrando que se ha obtenido un buen resultado, tanto de manera técnica como económica.

7.2 RECOMENDACIONES

Después de haber realizado el análisis y diagnóstico de la red del sistema de agua potable del cantón Guano y las mejoras al sistema, se puede recomendar lo siguiente:

Es importante que la administración del abastecimiento realice un plan de gestión de fugas del sistema y se inviertan los recursos necesarios para cumplir con las actividades de detección, localización y reparación de las mismas, es de gran importancia mantener un continuo mantenimiento de la red de distribución de agua potable.

Los contadores domiciliarios (micro-medición) son los encargados de proporcionar la información de consumo de caudales en el sistema y así determinar el rendimiento de la red de agua potable, por lo tanto se recomienda al abastecimiento la disposición de un parque de contadores en estado óptimo para alcanzar altos resultados en la gestión del abastecimiento. De igual manera llevar un control de micro-medición eficiente evitará que se siga utilizando el agua potable en servicios de regadío.

En el presente estudio se tuvo como principal limitante el no contar con la cantidad de información necesaria en relación al abastecimiento, se recomienda que se realicen registros de mantenimientos, reparaciones, intervenciones en general realizadas en el sistema, puesto que se convierte en información relevante a la hora de realizar un análisis completo y detallado de la red.

7.3 INDICIOS DE CALIDAD

Como indicio de calidad, los resultados que se han obtenido en el presente trabajo de fin de máster, han sido presentados como propuesta de ponencia en el congreso XVI Seminario Iberoamericano de Redes de Agua y Drenaje, Lisboa en el mes de julio de 2019. El resumen se adjunta a continuación.

DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS Y MEJORA DE LA RED DE AGUA POTABLE DE GUANO (ECUADOR) MEDIANTE SECTORIZACIÓN Y CONTROL DE PRESIONES

F. Javier Martínez-Solano¹, Pedro L. Iglesias-Rey², María Gabriela Zúñiga Rodríguez³, Vicente S. Fuertes-Miquel⁴

^{1,2,3,4} Universidad Politécnica de Valencia, Dep. Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente,
Camino de Vera, s/n. Valencia (España)
¹*jmsolano@upv.es*

Evaluación de rendimiento y calidad del servicio

RESUMEN

Se presenta un caso de estudio correspondiente al abastecimiento de agua potable de la cabecera cantonal de Guano, en la provincia de Chimborazo en Ecuador. La red actual fue construida hace más de 50 años y presenta graves problemas de presión, con un 21% de los nudos con presiones por debajo del límite inferior establecido por la normativa (10 m) y un 38% de los nudos con presiones por encima del límite superior (50 m). Se plantea una sectorización de la red con una estrategia de control de presiones y los resultados se evaluarán a través de distintos indicadores de gestión de la red.

PALABRAS CLAVE

Abastecimiento, Sectorización, Control de presiones

INTRODUCCIÓN

Es innegable la gran importancia que reviste para una población, el contar con un eficiente y adecuado servicio de agua potable, que contribuya al bienestar de la población y desarrollo integral. Dentro del Gobierno autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Guano, la Jefatura de Agua Potable y Alcantarillado es la responsable de proveer los servicios básicos de agua potable y alcantarillado al Cantón.

El sistema de abastecimiento de la ciudad de Guano en la provincia de Chimborazo (Ecuador) cuenta con 4302 abonados, equivalentes a 15616 habitantes. El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Ecuador categoriza los servicios básicos de agua potable y alcantarillado de la ciudad dentro de un estado “Regular”, especificando que los sistemas han cumplido el periodo de vida útil [1].

La red se encuentra sectorizada en tres zonas diferentes: zona alta, media y baja, y cada una de éstas zonas cuenta con su propio depósito de regulación. El servicio de agua potable en la zona de estudio es continuo, es decir, los habitantes disponen de este servicio las 24 horas del día.

El problema principal que presenta el abastecimiento de agua potable de la ciudad es la variación de presiones (superando límites máximos y mínimos permitidos) que se generan en distintos sectores. Esto produce un malestar a la población debido a que un sistema de agua potable óptimo debe garantizar presiones máximas y mínimas adecuadas a todos los consumidores de la red.

Las presiones altas generan problemas de fugas y roturas tanto en las conexiones interiores de los domicilios como en la red de distribución, mientras que las presiones

mínimas causan malestar en los usuarios del sistema, debido a que no se genera un suministro óptimo a la población.

Para paliar en la medida de lo posible esta problemática, se plantea realizar una propuesta alternativa de sectorización de la red que incluya un control de presiones de forma tal que se reduzca el porcentaje de fugas y se eliminen por completo los nudos que incumplen la normativa en lo referente a presiones de suministro.

La sectorización propuesta será evaluada considerando distintos indicadores referidos tanto al suministro de caudales como a las presiones de servicio.

METODOLOGÍA

El procedimiento seguido para lograr mejorar la calidad del servicio pasa por realizar el modelo matemático de la red de distribución de agua. Con este modelo se evaluará el funcionamiento actual de la misma, realizando un diagnóstico y proponiendo las mejoras oportunas. Finalmente se realizará una nueva sectorización de la red basada en las conclusiones obtenidas a partir del modelo matemático. La validez de la nueva propuesta de gestión de la red se refrendará utilizando indicadores como el número de nudos que incumplen la normativa local, la mejora en el rendimiento hidráulico de la red o la evolución de diversos indicadores relacionados con la presión de servicio, como el indicador de uniformidad de presiones (o PU), propuesto por Al-Hemairi & Shakir [2].

RESULTADOS

Los resultados muestran mejoras significativas en todos los indicadores empleados. Destaca la eliminación de los nudos que incumplen las especificaciones de la normativa, una mejora de 4 puntos porcentuales en el rendimiento de la red y un significativo aumento de la uniformidad de presiones.

REFERENCIAS

- [1] INEC, “Indicadores ODS Agua, Saneamiento e Higiene,” *Estadísticas Sociales de Ecuador*, 2018. [Online]. Available: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/indicadores-ods-agua-saneamiento-e-higiene/>.
- [2] H. A. Al-Hemairi and R. H. Shakir, “Minimizing Leakage Rates in Water Distribution Networks through Optimal Valves Settings,” in *World Environmental and Water Resource Congress 2006*, 2006, pp. 1–13.

CAPÍTULO VIII:

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Hemiyari, H.A.A. & Alshaily, R.H.S., (2007). Minimizing Leakage Rates In Water Distribution Networks Through Optimal Valves Settings. *World Environmental and Water Resources Congress 2007, Restoring Our Natural Habitat*, ASCE, pp.1–13.

AENOR (2000). *Abastecimiento de agua, Especificaciones para redes exteriores a los edificios y sus componentes.* UNE-EN 805. Madrid: AENOR 2000.

American Water Works Association (2015). *Water Balance Application in Water Supply.* <<https://awwa.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.5942/jawwa.2015.107.0084>> [En línea: 01 de Julio 2015].

Arellano, A y col. (2018). “Los consumos y las dotaciones de agua potable en poblaciones ecuatorianas con menos de 150 000 habitantes” en *NOVASINERGIA*, 2018, No.1, Vol. 1, Junio (23-32)

Bourguet O, Victor J. (2004). A.C. AF1-3 “Estrategia y organización para la detección de fugas”. Centro mexicano de capacitación en agua y saneamiento, México.

Cabrera, E., Almandoz, J., Arregui, F. y García-Serra, J. (1999). “Auditoría de redes de distribución de agua.” *Ingeniería del Agua*, Vol. 6, No. 4, 291-303, Diciembre 1999.

Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2011). *Norma Ecuatoriana de la Construcción.* Quito: s.n., 2011.

García, J., Cabrera, E. y Cabrera Jr, E. (2007). “Water saving evaluation applying a pressure management strategy.” *Water Loss 2009*, Bucarest

Germanopoulos, G. (1985). *A technical note on the inclusion of pressure dependent demand and leakage terms in water supply network models.* *Civil Engineering Systems*, pp.171–179.

Germanopoulos, G. & Jowitt, P.W., (1989). *Leakage reduction by excessive pressure minimization in a water supply network.* *Instn. Civ. Engrs.*, 87(2), pp.195–214.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Guano (2015). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN GUANO.* Guano: GAD GUANO 2015.

Iglesias, P. L., López, P. A., López, G., & Martínez, F. J. (2004). *Epanet 2.0 vE. Manual de usuario.* Ed. Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos, Valencia: (Traducción comentada del texto original de Rossmann, L. Epanet 2.0 Users Manual).

Iglesias, P. Y Martínez, J. (2012). Análisis y diseño de redes de distribución de agua mediante Epanet 2 vE. FLUIDOS – UPV, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de Valencia

Iglesias-Rey, P.L., Martínez-Solano, F.J., Meliá, D. Mora, Martínez-Solano, P.D., (2014). BBLAWN: A Combined Use of Best Management Practices and an Optimization Model Based on a PseudoGenetic Algorithm. *Procedia Engineering*, 89, pp.29–36.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (2010). *Estadísticas*. <<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/>> [En línea: 20 de Junio 2010].

International Water Association (2000). *IWA Standard Water Balance*. <<https://www.leakssuite.com/concepts/iwa-water-balance/>> [En línea: 2000].

Martínez Solano, J. (1994). Análisis y elaboración de un modelo matemático del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Jávea (Alicante). Proyecto Final de Carrera. E.T.S. Ing. Industriales. Universidad Politécnica de Valencia.

Martínez Solano J. y col (2018). Effect of different clustering scenarios on demand and pressure uniformity, Program Fondecyt Regular (Project 1180660) of the Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (Conicyt), Chile.

Molina Arce, Stephenson. X. (2014). Metodología para la calibración preliminar de modelos de redes de distribución de agua mediante la utilización conjunta de demandas y consumos dependientes de la presión, Trabajo fin de master, 2014.

PLASTIGAMA (2018). *Productos infraestructura*. <<http://plastigama.com/producto/presion-union-z/>> [En línea: 15 de Noviembre de 2018].

Riba G. (2005). Cálculo y elección óptima de un depósito de agua (203-209).

Rossman, L. (2000) EPANET 2 User's Manual. United States Environmental Protection Agency. Septiembre 2000

Secretaría del Agua (2015) *CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN DE PARTE IX OBRAS SANITARIAS, NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES*. Quito: s.n., 2015.

Soriano Olivares, J. (2014) *Auditoría, modelo matemático y diagnóstico de la red de abastecimiento de agua de Buñol. Propuestas y evaluación de actuaciones para su mejora (Doctoral dissertation)*.

Vela, A., Martínez, F., García-Serra, J. y Pérez, R. Estrategias óptimas para la reducción de pérdidas de sistemas de agua en sistemas de abastecimiento. *Ingeniería del Agua*, 1994.

Walski, T. (1986) "Case study: Pipe model calibration issues." *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 112, No. 2, Abril 1986.

Walski, T. (1995) "Standards for model calibration." *Conference Proceeding of AWWA Computer Conference*, American Water Works Association