

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Regulación de Presiones en la Ciudadela Vergeles: Análisis de la
Recuperación de pérdidas físicas vs Impacto en la facturación

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo la obtención del Título de:

**Máster en Ingeniería Civil con mención en Construcción y
Saneamiento**

Presentado por:

Wilson Andrés Mata Pillajo

Juan José Prieto Peralta

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a Dios, mi esposa e hijos, mis padres, hermano, amigos de la infancia y de trabajo que siempre estuvieron allí brindándome su ayuda y motivación incondicional para culminar esta nueva etapa de estudio profesional en mi vida

Wilson Andrés Mata Pillajo

Este proyecto va dedicado a Dios, mi esposa Patricia por el apoyo, amor y paciencia brindada, a mis hijas por ser mi fuente de motivación, mis padres por todo su esfuerzo, sacrificio y enseñanzas que me permiten seguir adelante, a mis hermanos por el apoyo constante.

Juan José Prieto Peralta

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento especial a mi Esposa y Padres por toda la ayuda incondicional que me brindaron en los momentos buenos y sobre todo en los malos para la culminación de este proceso de estudio en mi vida, a nuestro tutor y amigo Ing. Jeffrey Barberán por su apoyo, motivación, aportes e innovaciones en todo este proceso de elaboración del Proyecto.

Wilson Andrés Mata Pillajo

Agradezco a Dios por permitirme continuar con mi formación profesional, a mi esposa Patricia por todo el apoyo brindado, a cada uno de mis compañeros, amigos y profesores que de alguna u otra forma me guiaron y ayudaron a seguir creciendo profesionalmente, a nuestro tutor Ing. Jeffrey Barberán por su valiosa guía durante todo este proceso.

Juan José Prieto Peralta

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Wilson Andrés Mata Pillajo y Juan José Prieto Peralta damos nuestro consentimiento para que la ESPOC realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Wilson Mata Pillajo

Juan Prieto Peralta

EVALUADORES

Jeffrey Barberán, M.Sc.

PROFESOR TUTOR

Luis Dávila, M.Sc

REVISOR EXTERNO

RESUMEN

El presente trabajo plantea analizar la eventual implementación de un sistema de reguladoras de presión con la finalidad de disminuir la presión del sector a un promedio de 15 mca simulando el impacto que produce la implementación de la estrategia de Gestión de presiones en la reducción del Agua No Contabilizada (ANC) contra una eventual disminución en la facturación de servicio para validar la viabilidad de un proyecto de regulación.

La información analizada se basa en datos de caudales y presiones obtenidas mediante medición portable, modelación de la red de distribución para las condiciones actuales de operación y la estimación de los volúmenes recuperados mediante la gestión de la presión. Esta condición será contrarrestada contra el impacto que la regulación de presiones genere en la facturación de los usuarios verificando que los ahorros por la gestión técnica superen una eventual disminución en los valores facturados.

Finalmente se evaluará la rentabilidad del proyecto de gestión de presiones comparando los ahorros esperados por reducción de las pérdidas reales del sistema con la eventual disminución de los ingresos por facturación en el sector.

Palabras Clave: gestión de presión, medición portable, facturación, ANC.

ABSTRACT

The present work proposes to analyze the eventual implementation of a system of pressure regulators system with the purpose of reducing the pressure of the sector to an average of 15 mca, simulating the impact produced by the implementation of the pressure management strategy in the reduction of Non-Revenue Water (NRW) against a possible decrease in service billing to validate the feasibility of a regulation project.

The information analyzed is based on flow and pressure data obtained through portable measurement, modeling of the distribution network for current operating conditions, and estimation of volumes recovered through pressure management. This condition will be offset against the impact that pressure regulation generates on user billing, verifying that the savings from technical management exceed a possible decrease in billed values.

Finally, the profitability of the pressure management project will be evaluated, comparing the expected savings by reducing the real losses of the system with the eventual decrease in revenue from billing in the sector.

Keywords: pressure management, portable metering, billing, ANC.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	Error! Bookmark not defined.
ABREVIATURAS.....	Error! Bookmark not defined.
SIMBOLOGÍA.....	Error! Bookmark not defined.
ÍNDICE DE FIGURAS	Error! Bookmark not defined.
ÍNDICE DE TABLAS.....	Error! Bookmark not defined.
CAPÍTULO 1	1
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Problema a resolver	4
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
CAPÍTULO 2	6
2 METODOLOGÍA	6
2.1 Marco Teórico	7
2.2 Pérdidas de agua	8
2.3 Estrategias para la disminución de pérdidas físicas o reales	10
2.3.1 Gestión de la Infraestructura.....	11
2.3.2 Control activo de fugas	11
2.3.3 Velocidad y calidad de las reparaciones.....	13
2.3.4 Gestión de la presión.....	13
2.4 Trabajo Preliminar	16
2.5 Trabajo en Campo.....	17
2.5.1 Recopilación de datos sin regulación	17

2.5.2 Recopilación de datos con regulación	21
CAPÍTULO 3	26
3 RESULTADOS Y ANÁLISIS	26
3.1 Modelación Hidráulica en Software WaterGEMS sector Piloto	26
3.1.1 Análisis con regulación manual	27
3.1.2 Análisis con instalación de VRP	27
3.1.3 Análisis con instalación de VRP y régulo.....	29
3.2 Modelación Hidráulica en Software WaterGEMS sector Vergeles	31
3.3 Caudales contabilizados.....	35
3.4 Caudales Entregados	37
3.5 Implementación de VRP e instalación de tubería.....	37
3.6 Análisis de frecuencia de roturas	38
CAPÍTULO 4	40
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
BIBLIOGRAFÍA	42

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
IANC	Indicador de Agua No contabilizada
mca	Metros de columna de agua (Unidad de presión)
AAPP	Agua potable
PVC	Policloruro de Vinilo
VRP	Válvula Reguladora de Presión
msnm	Metros sobre el nivel del mar
CAF	Control Activo de Fugas
Vp	Volumen producido
Vf	Volumen facturado
Cía. Ltda	Compañía limitada

SIMBOLOGÍA

l/s	Litros por segundo
m ³ /h	Metros Cúbicos por hora
c/u	Cada uno
N72	Macrosector abastecido por el acueducto de ϕ 1800mm
mm	Milímetros
%	Porcentaje
km	Kilómetro
m	Metro
Ø	Diámetro
mz	Manzana
\$	Símbolo monetario del dólar

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Imagen Satelital del área del proyecto de Vergeles	3
Figura 2.1 Ejemplo de pérdida real mediante fuga en red	9
Figura 2.2 Ejemplo de pérdida aparente mediante guía directa	10
Figura 2.3 Método de intervención para combatir las pérdidas reales	10
Figura 2.4 Método de detección de fuga mediante geófono.....	12
Figura 2.5 Método de detección de fuga mediante correlador.....	12
Figura 2.6 Método de detección de fuga mediante gas trazador.....	13
Figura 2.7 Imagen Satelital del área piloto, sector N72-1006	17
Figura 2.8 Instalación de caudalímetro en sector piloto N72-1006.....	19
Figura 2.9 Caudal Entregado al Sector Piloto N72-1006 sin regulación	19
Figura 2.10 Presión registrada en el Sector Piloto N72-1006 sin regulación.....	20
Figura 2.11 Caudal Entregado al Sector Piloto N72-1006 con regulación.....	23
Figura 2.12 Presión registrada en el Sector Piloto N72-1006 con regulación	24
Figura 3.1 Modelo Hidráulico del N72-1006	26
Figura 3.2 Comportamiento del caudal con regulación manual.....	27
Figura 3.3 Comportamiento de la presión en el punto crítico del sector piloto con VRP28	
Figura 3.4 Comportamiento del caudal con VRP del sector piloto.....	29
Figura 3.5 Comportamiento de la presión en el punto crítico del sector piloto con VRP y régulo	30
Figura 3.6 Comportamiento del caudal con VRP y régulo	31
Figura 3.7 Sectores Hidráulicos de Vergeles.....	32
Figura 3.8 Comportamiento del caudal de vergeles inicial	33
Figura 3.9 Sectores de vergeles a regular.....	34
Figura 3.10 Comportamiento del caudal de vergeles con regulación	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Caudales de fuga de un agujero de 6mm para distintas presiones y materiales de tuberías.....	15
Tabla 2.2 Información de sectores hidráulicos de Vergeles	16
Tabla 2.3 Presiones Iniciales sector N72-1006	18
Tabla 2.4 Caudal Contabilizado septiembre sector N72-1006.....	18
Tabla 2.5 Afectaciones de servicio al sector N72-1006 desde 01/09/2021 a 01/09/2022	21
Tabla 2.6 Presiones finales sector N72-1006.....	21
Tabla 2.7 Caudal Contabilizado octubre sector N72-1006	22
Tabla 2.8 Caudal Contabilizado noviembre sector N72-1006	22
Tabla 3.1 Sectores Hidráulicos vergeles modelación	32
Tabla 3.2 Cálculo coeficiente N3 sector piloto.....	36
Tabla 3.3 Cálculo del caudal contabilizado futuro de vergeles	36
Tabla 3.4 Presupuesto referencial del proyecto	38
Tabla 3.5 Ahorros esperados por reparaciones.....	38
Tabla 3.6 Cálculo de tiempo de retorno de la inversión.....	39

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

Uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible hace énfasis en garantizar la disponibilidad del agua, su adecuada gestión y el acceso al saneamiento para todos. El recurso del agua es primordial para los seres vivos, juega un papel importante en nuestras vidas y en la vida de todo el planeta debido a que la misma es necesaria tanto para el consumo como para la producción agrícola e industrial y por ende para la alimentación humana, por tal motivo hay que preservarla y cuidarla.

En las redes de distribución de agua potable existen muchas zonas en las cuales se presentan presiones de servicio muy por encima de la requerida para un nivel de vida satisfactorio. En la ciudad de Guayaquil, la presión considerada adecuada para un normal abastecimiento de los predios es de 15 mca, por encima de este valor se considera poco eficiente, incidiendo en que las tuberías se sometan a tensiones excesivas que contribuyen a aumentar el volumen fugado.

Una de las estrategias más utilizada para la disminución del volumen de agua que fuga y que también contribuye a evitar nuevas roturas es la Gestión de la Presión, debido a que al realizar una reducción de la presión y manteniéndola estable, se provoca una reducción importante de la tensión que soporta la tubería, evitando fallas y alargando su vida útil. Por lo anterior se podría definir la Gestión de la Presión como la práctica de maniobrar las presiones del sistema de las redes de agua potable hasta obtener niveles óptimos de servicio asegurando un abastecimiento suficiente y eficiente para los diferentes usos legítimos y a la vez permitiendo reducir las presiones altas de la red, mismas que son técnicamente innecesarias y que pueden provocar fugas dentro de las redes de distribución de agua potable.

Este proyecto de investigación evaluará la posible aplicación de la gestión de la presión en el sistema de redes de agua potable de la Ciudadela Los Vergeles en la Ciudad de Guayaquil, proyectando el impacto técnico relacionado a la reducción de pérdidas de agua, el impacto social que corresponde a la disminución de afectaciones causadas por fugas, el impacto ecológico que se asocia al ahorro de

producción en planta, el ahorro energético y el impacto económico “Costo-Beneficio” de esta estrategia de reducción, confrontando el mismo contra una eventual disminución en la facturación de los usuarios de la zona regulada.

La información presentada se basará en datos de caudales y presiones obtenidas mediante medición portátil, la modelación de la red de distribución para las condiciones actuales de operación y la estimación de los volúmenes recuperados mediante la gestión de la presión. Esta condición será contrarrestada contra el impacto que la regulación de presiones genere en la facturación de los usuarios verificando que los ahorros por la gestión técnica superen una eventual disminución en los valores facturados.

1.1 Antecedentes

La Ciudadela Los Vergeles, ubicada al norte de la Ciudad de Guayaquil, se abastecía mediante tanqueros hasta el mes de Junio del año 2006 para aproximadamente 40.385 habitantes, como parte del proyecto de expansión del sistema de agua potable de la ciudad de Guayaquil, en el año 2006 se instalaron redes de material PVC abasteciéndose desde el acueducto de 1800mm, dicho proyecto contempló una extensión de 320 hectáreas de desarrollo habitacional contando con 143 mil metros lineales de tubería, además se realizó un censo de todo el sector donde se contempló la instalación de 8077 conexiones domiciliarias.

Se realizó un registro mediante una base catastral donde refleja actualmente el área de Vergeles a analizar, que consta de 5495 usuarios con una longitud de red de 64.49 km y una presión promedio de 37 mca.

La regulación de presiones es una de las estrategia más utilizada por parte de las empresas operadoras de redes de abastecimiento de agua debido a todos los beneficios obtenidos con una correcta gestión de este tipo de maniobras entre los cuales resaltan la reducción de caudal de fuga, ahorro de agua introducida al sistema lo cual es muy beneficioso en sectores donde existe escasez de agua, aumento de la calidad de servicio ofrecido a usuarios,

aumento de la vida útil de infraestructura debido a la disminución de roturas, deterioro y ahorro energético, etc.

La ventaja de este método es que nos permite reducir las pérdidas reales de agua mediante la reducción de las presiones innecesarias y excesivas debido a que la incidencia de las fugas es proporcional a la presión existente en las redes de AAPP.

Para este proyecto debemos tener en cuenta que el agua no contabilizada (ANC) es el volumen de agua que se pierde en la red de agua potable debido a fugas o consumos no autorizados, la pérdida de agua no sólo supone el desperdicio de un valioso recurso natural, sino que también causa daños económicos, ecológicos y sociales.



Figura 1.1 Imagen Satelital del área del proyecto de Vergeles

Fuente: Google Maps

1.2 Problema a resolver

El presente proyecto plantea analizar la eventual implementación de un sistema de reguladoras de presión con la finalidad de disminuir la presión en el sector a un promedio de 15 mca, mediante este proyecto se pretende simular el impacto que produce la implementación de la estrategia de Gestión de presiones en la reducción del Agua no contabilizada contra una eventual disminución en la facturación de servicio para validar la viabilidad de un proyecto de regulación.

La estrategia de regulación de presiones plantea una eficiencia en la reducción de pérdidas impactando en el índice de ANC del sector, en el índice de rotura y los costos de intervención del sector.

Desde el punto de vista social y ambiental la estrategia debería permitir una reducción de reclamos de usuarios por daños en red y desabastecimiento, impactar favorablemente al ambiente por la reducción de las pérdidas, disminución de intervenciones que impactan a la comunidad y mejorar el nivel visual de la zona al disminuir los trabajos por reparación.

Desde el punto de vista financiero los ahorros por la gestión técnica no deberían superar la eventual disminución en el consumo y valores facturados de los usuarios.

La viabilidad del Proyecto de Gestión de Presiones estará dada por la rentabilidad que resulte del análisis de la reducción de las pérdidas reales del sistema descontando la eventual disminución de la facturación en el sector.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar la implementación de la estrategia de regulación de presiones proyectando su impacto en la gestión técnica y comercial de una operadora de servicios de agua potable, tomando como caso de estudio la Ciudadela

Vergeles de la Ciudad de Guayaquil, para justificar la viabilidad de esta estrategia de gestión y la inversión requerida.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Proyectar los ahorros esperados por la disminución de las pérdidas reales analizando los impactos en los costos operativos por la disminución de daños en el sistema.
2. Proyectar el impacto de la regulación de presiones en la facturación de consumos (eventual disminución), analizando los datos comerciales del sector.
3. Estimar la frecuencia de roturas antes y después de la regulación para la comparación del impacto de la ejecución de la estrategia.
4. Evaluar la rentabilidad del proyecto comparando los ahorros esperados con la eventual disminución de los ingresos.

CAPÍTULO 2

2 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se plantea las siguientes etapas:

- Trabajo Preliminar, analizando los sectores planteados para el proyecto y determinando el área piloto que nos permita realizar el muestreo, ejecución de pruebas y mediciones para obtener los datos necesarios para el análisis.
- Recopilación de información de los sectores (Base catastral de usuarios de los sectores hidráulicos, información de válvulas, afectaciones históricas).
- Trabajo en campo con medición de presión y caudal del sector piloto sin manipulación de válvulas (Sin regulación).
- Recopilación de información y análisis de los datos obtenidos por caudal entregado y facturado inicial.
- Trabajo en campo con medición de presión y caudal del sector piloto con manipulación de válvula (Con regulación).
- Recopilación de información y análisis de los datos obtenidos por caudal entregado y facturado con regulación.
- Proyección del impacto de la regulación de presiones en la facturación de consumos (eventual disminución), analizando los datos comerciales del sector.
- Estimación de la frecuencia de roturas para la comparación del impacto de la ejecución de la estrategia del proyecto.
- Modelación hidráulica de todo Vergeles mediante el programa Watergems para el análisis del impacto que se tiene del caudal entregado al sector luego de haber realizado la regulación de las presiones.
- Análisis de resultados y esquema de Regulación de Presión para el Sector.
- Análisis del tiempo de retorno de la inversión.

2.1 Marco Teórico

El agua dulce se está convirtiendo en un recurso limitado y en muchos países inclusive escaso debido al rápido crecimiento poblacional, a la migración y a la urbanización, adicional a eso, uno de los problemas que más se presentan en los diferentes países, tiene que ver con la gran cantidad de agua que se pierde en las redes de agua potable, estas pérdidas se presentan cuando el caudal que se inyecta para ser consumido por los usuarios no llega a su destino final, perdiéndose durante su distribución impactando no sólo en uso ineficiente del recurso sino en pérdidas económicas (agua tratada desperdiciada) o por afectación producto de daños en los sistemas.

Las pérdidas de agua pueden ser una parte significativa del volumen entregado a la red por tal motivo es importante conocer cómo se encuentra nuestro sistema con relación a las pérdidas midiendo el volumen de agua que ingresa al mismo como también el volumen que se entrega a los usuarios finalmente.

El indicador que nos permite hacer seguimiento a las pérdidas que tiene el sistema, es conocido como IANC o Índice de Agua No Contabilizada.

El cálculo del IANC se realiza con la siguiente fórmula:

$$IANC = (Vp - Vf) / Vp * 100 \quad (2.1)$$

donde,

Vp: Volumen producido.

Vf: Volumen facturado.

El volumen producido corresponde a la cantidad de agua que se inyecta al sistema de distribución de agua mientras que el volumen facturado corresponde al agua que es consumida por los usuarios la cual es contabilizada por los medidores.

Sistemas con IANC de hasta un 10% se consideran de alta eficiencia, en América Latina porcentajes de hasta el 20% son considerados deseables. En el Ecuador los Índices de Agua No Contabilizada, superan el 70% en la mayoría de los municipios.

Guayaquil viene trabajando sostenidamente en la reducción del IANC desde el año 2002 en que tenía un IANC por encima del 80% en situación de discontinuidad, es decir abastecimiento por horas en muchas zonas de la ciudad, hasta un 51,2% en la actualidad debiendo señalar que tiene servicio continuo (24 horas) en las áreas de cobertura y ha duplicado el número de conexiones abastecidas, existiendo en la actualidad más de 550 mil usuarios atendidos.

El agua que no es contabilizada causa pérdidas para la empresa encargada debido a que al no ser facturada la empresa sufre impactos económicos lo cual perjudica en la rentabilidad de esta.

2.2 Pérdidas de agua

En un sistema de distribución de agua potable existen pérdidas de agua que en muchas ocasiones llegan a ser un volumen importante con respecto al agua producida o inyectada, es importante tener claro cuáles son los tipos de pérdidas de agua que se presentan en un sistema de red de distribución y qué gestión se debe realizar para disminuir estas pérdidas.

Entre las pérdidas de agua más relevantes tenemos:

- **Pérdidas aparentes**, que también son consideradas pérdidas comerciales, estas pérdidas se generan mayormente debido a los errores en la medición ya sea por una mala lectura del medidor o problemas con el medidor, lo que quiere decir que el agua se consume, pero no se contabiliza, y por fraudes por parte de usuarios ya sea por conexión ilegal mediante bypass o guía directa, por manipulación del contador, lo cual provoca que el contador no arroje una lectura correcta.

- **Pérdidas reales**, las cuales son generadas por la presencia de roturas o fisuras en las tuberías u otros componentes de la red, generalmente las causas de estas roturas se deben al deterioro del material, a daños provocados por externos y la sobrepresión de la red, otra forma de obtener pérdidas reales es debido al rebose de los sistemas de almacenamiento.



Figura 2.1 Ejemplo de pérdida real mediante fuga en red

Fuente: Interagua

Hay que considerar que desde la óptica ambiental el desperdicio de agua nos lleva a producir mucha más agua de la necesaria, por ende el gasto en energía es mayor para la potabilización y distribución lo cual provoca la generación de gases que acelera el proceso de cambio climático, desde la óptica social perjudica a la empresa debido a que no da un servicio de calidad al no brindar el servicio de agua de forma continua debido a las constantes interrupciones que se realiza para la reparación de las fugas detectadas.

Para la reducción de las pérdidas aparentes se debe realizar una adecuada gestión en el parque de contadores con la finalidad de disminuir el error global de la medición, adicional se requiere una evaluación a los medidores de los usuarios de manera continua con la finalidad de localizar los medidores que

se encuentren parados, manipulados o tomas ilegales, el sistema de control comercial debe ser robusto y permitir un adecuado control de los procesos.



Figura 2.2 Ejemplo de pérdida aparente mediante guía directa

Fuente: Interagua

2.3 Estrategias para la disminución de pérdidas físicas o reales

Para la disminución de las pérdidas físicas o reales, existen cuatro estrategias que nos ayudan a combatir estas pérdidas.

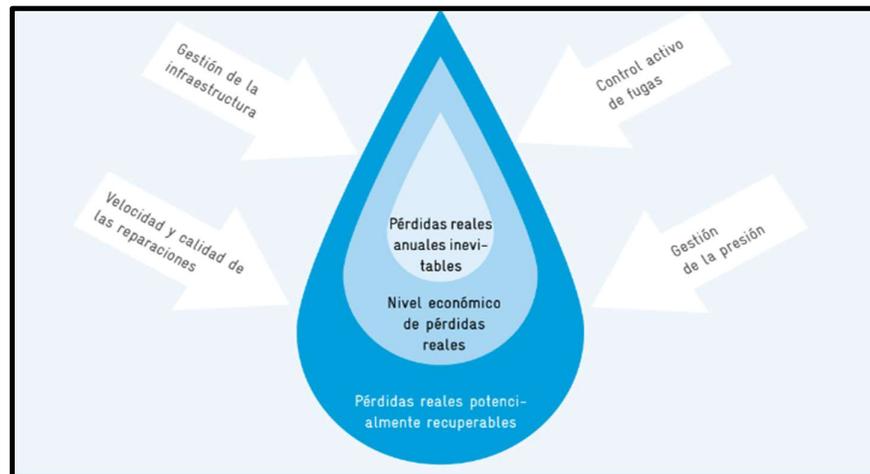


Figura 2.3 Método de intervención para combatir las pérdidas reales

Fuente: Guía para la reducción de pérdidas reales

2.3.1 Gestión de la Infraestructura

Esta estrategia se basa en el análisis para la rehabilitación de tuberías con la finalidad de disminuir las pérdidas reales, analizando los siguientes factores:

- La tubería ha cumplido su tiempo de vida útil, esto a que con el tiempo las tuberías van perdiendo las prestaciones físicas y mecánicas.
- La tubería presenta muchas roturas, lo cual provoca que resulte más caro reparar que rehabilitarla.
- El material de la tubería.

2.3.2 Control activo de fugas

Esta estrategia es la más tradicional y se basa en la detección de fugas que no son visibles con la finalidad de disminuir el tiempo que drenan las fugas ocultas y minimizar las pérdidas reales.

El CAF consta de 4 etapas que son la detección, localización, confirmación y reparación.

Para la detección de fugas existente algunos métodos acústicos como por ejemplo geofonía y la correlación, por el lado de los no acústicos tenemos la inyección de gas trazador:

- **Geofonía**, es un método de detección de fugas no visibles utilizando un equipo acústico (geófono) que permite escuchar las vibraciones o sonidos provocados por la fuga de agua existente en el sistema de distribución.

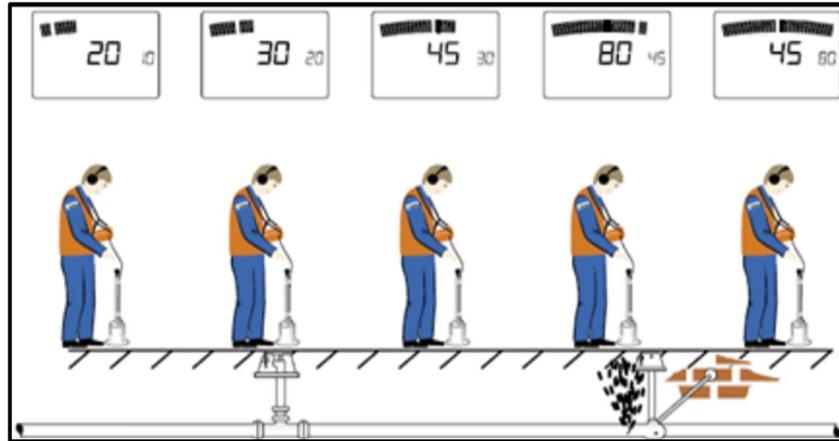


Figura 2.4 Método de detección de fuga mediante geófono

- **Correlación**, es un método de detección de fugas no visibles utilizando un equipo acústico (correlador), este equipo detecta el sonido que existe entre los dos sensores instalados en los elementos de la red.



Figura 2.5 Método de detección de fuga mediante correlador

- **Inyección de gas trazador**, es un método de detección de fugas no visibles utilizando un gas inocuo, el cual es inyectado a la red y mediante un equipo de detección del gas se busca sobre la superficie puntos donde exista concentración del gas.

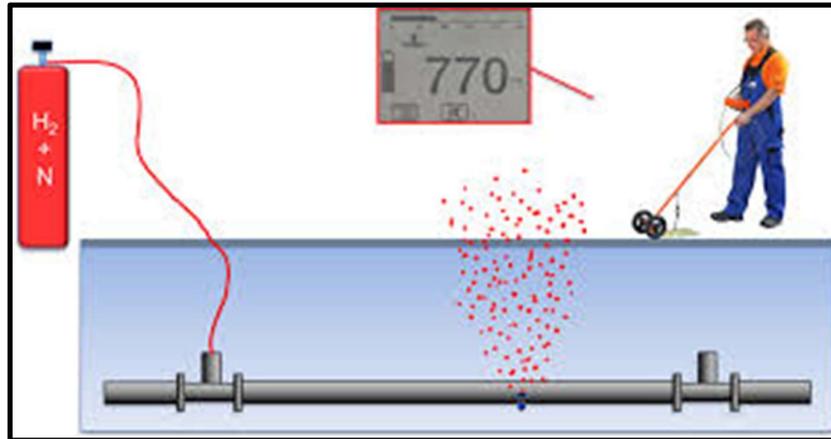


Figura 2.6 Método de detección de fuga mediante gas trazador

2.3.3 Velocidad y calidad de las reparaciones

Esta estrategia se basa en disminuir el tiempo de atención desde que existe la fuga o se tiene conocimiento de esta, hasta su reparación, la rapidez con que se realiza las reparaciones de las fugas existentes nos ayuda en disminuir el desperdicio de agua y por ende las pérdidas reales, por tal motivo es muy importante que las empresas de agua traten de disminuir los tiempos de percepción, localización y reparación de las fugas.

Es importante que la prioridad de las reparaciones de las fugas vaya acorde al tamaño de estas, estas reparaciones se las debe de realizar de una manera técnica utilizando material y personal calificado con la finalidad de que dicha reparación falle y se provoque una nueva fuga.

2.3.4 Gestión de la presión

La gestión de la presión es una de las estrategias que más se utiliza para combatir las pérdidas reales existentes en la red de agua potable debido a que las presiones que soportan las tuberías son variables durante el día incrementándose considerablemente en horarios nocturnos por el bajo consumo de los usuarios. Esta variabilidad es la responsable de muchas de las roturas que existen en las tuberías, lo cual, combinado con materiales de baja calidad pone en riesgo la continuidad y la calidad del servicio.

Es importante señalar que la regulación de presiones es una estrategia basada en elementos hidráulicos, conocidas como válvulas reguladoras de presión, que procuran la estabilidad de la presión entregada; la simulación manual de regulación no permite alcanzar estabilidad de las presiones principalmente en horarios nocturnos en los cuales la presión ante el bajo consumo alcanza niveles muy similares a los obtenidos sin regulación.

Por otro lado, en horarios de consumo, la regulación manual si tiene efectos en la presión del sector, por lo cual debería permitir visualizar impactos en el caudal contabilizado.

El comportamiento hidráulico de las fugas en los tubos se puede describir comúnmente utilizando una versión simplificada de la denominada ecuación del orificio (2.2).

$$q = c \cdot h^{\alpha} \quad (2.2)$$

donde,

q= Caudal de fuga.

c= Coeficiente de fuga.

h= Presión

α = Exponente de fuga.

Esta ecuación, hace énfasis en que el caudal de fuga depende directamente de la presión existente en la red cuya evolución diaria es diferente pero generalmente es más elevada cuando disminuye el consumo.

En la siguiente tabla, podemos ver el comportamiento de una fuga en un agujero de la misma dimensión sometido a presiones diferentes:

Tabla 2.1 Caudales de fuga de un agujero de 6mm para distintas presiones y materiales de tuberías

Ø de Agujero	Material del Tubo	Exponente de Fuga	Caudal de Fuga a presión de		
			50 mca	40 mca	30 mca
6 mm	Rígido (Acero, Hierro)	0.5	1800 m ³ /h	1610 m ³ /h	1384 m ³ /h
6 mm	Flexible (PEAD, PVC)	1.5	1800 m ³ /h	1288 m ³ /h	837 m ³ /h

Fuente: Guía para la reducción de pérdidas reales

En el cuadro se observa el comportamiento de las pérdidas en dos tipos de tubería, considerando el mismo agujero a diferentes presiones. El caudal de pérdidas se incrementa rápidamente a mayor presión, en la tubería flexible esta misma presión produce que el material se expanda ocasionando un incremento más significativo.

Dentro de los tipos de fugas que podemos encontrar, existen:

- Las visibles, aquellas que son fácilmente localizadas o reportadas por los usuarios y se reparan con normalidad.
- La detectables con equipos acústicos, son aquellas que corresponden a daños encontrados en programas de búsqueda de fugas por medio de equipamiento adecuado para esta función.
- Las no detectables suelen ser daños pequeños, pero como no son localizables se vuelven pérdidas sostenidas a largo plazo, normalmente tardan mucho tiempo en ser encontradas y causan el mayor impacto en las redes.

El sistema de regulación de presiones me permite atacar las pérdidas a través de la reducción del agua perdida en los agujeros que pueda tener nuestro sistema, por ende, un sector con una alta presión y un alto IANC se vuelve ideal para la aplicación de esta estrategia.

Bajo el mismo concepto de que hay una mayor pérdida de agua ante una presión mayor, es lógico pensar que, así como disminuyen las pérdidas

controlando la presión entregada al sistema, esta misma disminución de presión podría impactar en los niveles de consumo individual medido a los usuarios, es decir, una llave abierta a menor presión se esperaría entregue un caudal menor que la misma llave funcionando a una presión más alta. Cabe recalcar que una parte de los usos no depende de la presión de la red, citamos varios ejemplos: el llenado del reservorio de un inodoro este se tardará menos tiempo en el proceso pero el volumen es igual, del mismo modo para viviendas abastecidas por cisternas tampoco deberían sentir un impacto por la gestión de regulación de presiones, pero en cambio hay otros consumos como duchas o grifos en los que el caudal que se utiliza es directo desde la red y por tanto se verían posiblemente afectados por la presión.

2.4 Trabajo Preliminar

Para el análisis del proyecto se partió de una revisión preliminar de los sectores hidráulicos de la Ciudad de Guayaquil, debido al alto caudal entregado y a la presión promedio de servicio existente, se consideró que los sectores hidráulicos correspondientes a la Ciudadela Los Vergeles mostrados en la Tabla 2.1, podrían facilitar el planteamiento de un proyecto de regulación.

Tabla 2.2 Información de sectores hidráulicos de Vergeles

Sector Residencial	Sector Hidráulico	Longitud de red (km)	Número de usuarios
Vergeles	N72-1003	49.84	4005
Vergeles	N72-1005	7.31	859
Vergeles	N72-1006	7.34	631

Fuente: Interagua Cía. Ltda. Elaborado por: Autor

Luego de la revisión y análisis de la información de los sectores se planteó como estrategia, considerar un sector piloto para la ejecución de las pruebas y la obtención de la información, eligiendo el sector N72-1006 mostrado en la Figura 2.7 el más adecuado dado que su configuración, permite aislarlo rápidamente, controlar y medir el abastecimiento desde un sólo punto y adicionalmente se cuenta con la base catastral e información de usuarios

adecuado para el proyecto planteado. A partir de los resultados obtenidos desde el piloto, se realizará la proyección para evaluar los posibles resultados en el área escogida.



Figura 2.7 Imagen Satelital del área piloto, sector N72-1006

Fuente: Google Maps

2.5 Trabajo en Campo

2.5.1 Recopilación de datos sin regulación

Para la ejecución del proyecto se empezó verificando la configuración de válvulas del sistema y se procedió a realizar la toma de presiones dentro del sector piloto con la condición inicial (sin regulación) en horario de 10:00 am a 14:00 pm para conocer las presiones iniciales que tiene el sector, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Presiones Iniciales sector N72-1006

Sector Residencial	Sector Hidráulico	Dirección	Presión (mca)
Vergeles	N72-1006	mz 14 solar 5F	33.6
Vergeles	N72-1006	mz 15 solar 41	34.0
Vergeles	N72-1006	mz 16 solar 21	34.5
Vergeles	N72-1006	mz 8 solar 15b	35.1
Vergeles	N72-1006	mz 27 solar 14	36.8

Fuente: Interagua Cía. Ltda. Elaborado por: Autor

Mediante la base catastral proporcionada por la empresa Interagua pudimos obtener la cantidad de usuarios, la facturación del sector y el valor recaudado. Partiendo de los períodos de lectura que para el sector en referencia se realiza entre el 28 y 29 de cada mes, podemos contar entonces con nuestro caudal contabilizado del piloto. Para el mes de septiembre del 2022 el periodo a considerar va desde el 28 de agosto al 28 de septiembre, correspondiente a 31 días de consumo que se resumen en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Caudal Contabilizado septiembre sector N72-1006

Sector Residencial	Sector Hidráulico	Consumo mensual promedio por usuario (m³)	Consumo mensual del sector (m³)	Valor mensual recaudado del sector (\$)
Vergeles	N72-1006	18.38	11600	9542.10

Fuente: Interagua Cía. Ltda. Elaborado por: Autor

Los períodos del denominado ciclo de facturación se toman como referencia para la ejecución de las pruebas y mediciones de resultados correspondientes.

El viernes 23 de septiembre se procedió a instalar un caudalímetro portátil sobre la tubería que abastece al sector, cuya instalación se refleja en la Figura 2.8, realizando la medición del caudal entregado hasta el martes 27 de septiembre, considerando días laborables y fin de semana obteniendo los resultados mostrados en la Figura 2.9.



Figura 2.8 Instalación de caudalímetro en sector piloto N72-1006

Fuente: Interagua Cía. Ltda

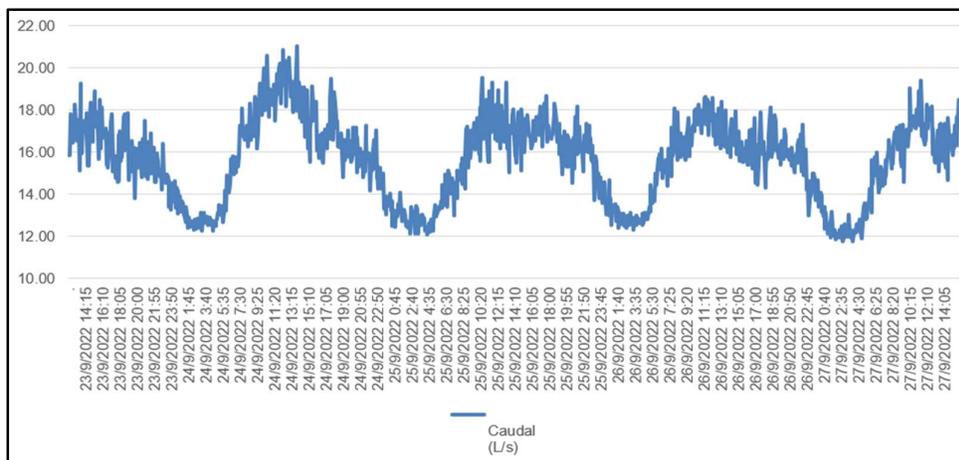


Figura 2.9 Caudal Entregado al Sector Piloto N72-1006 sin regulación

Fuente: Interagua Cía. Ltda. Elaborado por: Autor

En la Figura 2.9 podemos observar el comportamiento de caudal del sector teniendo un caudal promedio de 19.11 l/s en el horario de máximo consumo (10:00 am a 14:00 pm), y un caudal promedio de 12.66 l/s en el horario de mínimo consumo (02:00 am a 04:00 am).

Con esta proyección y con un caudal entregado promedio a la zona de 15.93 l/s, se puede inferir un caudal total entregado desde el 28 de agosto hasta el 28 de septiembre de 2022 de 42666 m³.

Es decir, nuestro piloto, partiría de un IANC de: 72.8 %.

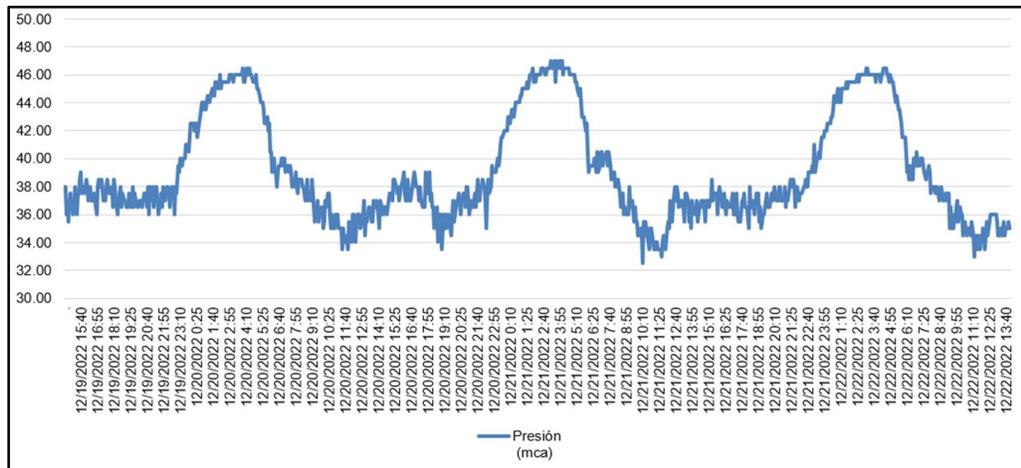


Figura 2.10 Presión registrada en el Sector Piloto N72-1006 sin regulación

Fuente: Interagua Cía. Ltda. Elaborado por: Autor

En la Figura 2.10 **Error! Reference source not found.** podemos observar el comportamiento de la presión sin regulación dentro del sector N72-1006, teniendo una presión máxima en horario de mínimo consumo de 47 mca y una presión mínima en horario de máximo consumo de 34 mca.

Se recopila información histórica de los daños en las redes de agua potable que existieron para obtener un promedio por mes de las afectaciones y los tiempos en que el usuario se vio perjudicado por estas interrupciones.

Tabla 2.5 Afectaciones de servicio al sector N72-1006 desde 01/09/2021 a 01/09/2022

Sector	Hidráulico	Fecha de Afectación	Tiempo de Afectación (horas)
N72-1006		07/09/2021	5:05
N72-1006		10/09/2022	5:45
N72-1006		14/09//2021	4:40
N72-1006		21/09/2021	2:25
N72-1006		01/10/2021	6:10
N72-1006		09/02/2022	3:40
N72-1006		01/04/2022	1:35
N72-1006		18/05/2022	1:42
N72-1006		09/06/2022	9:14
N72-1006		05/07/2022	1:06

Fuente: Interagua Cía. Ltda. Elaborado por: Autor

2.5.2 Recopilación de datos con regulación

El día 30 de septiembre se procedió a regular de forma manual la válvula que abastece al sector piloto, dejando con una presión promedio en el sector de 22 mca en horario de máximo consumo.

Se procedió a realizar la toma de presiones dentro del sector piloto con la condición final (con regulación) en horario de 10:00 am a 14:00 pm para conocer las presiones que tiene el sector, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Presiones finales sector N72-1006

Sector Residencial	Sector Hidráulico	Dirección	Presión (mca)
Vergeles	N72-1006	mz 14 solar 5F	20.4
Vergeles	N72-1006	mz 15 solar 41	21.0
Vergeles	N72-1006	mz 16 solar 21	22.2
Vergeles	N72-1006	mz 8 solar 15b	22.5
Vergeles	N72-1006	mz 27 solar 14	23.1

Fuente: Interagua Cía. Ltda. Elaborado por: Autor

El caudal contabilizado del piloto con regulación del mes de octubre del 2022, para el periodo del 28 de septiembre al 28 de octubre (30 días), se muestra en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Caudal Contabilizado octubre sector N72-1006

Sector Residencial	Sector Hidráulico	Consumo mensual promedio por usuario (m³)	Consumo mensual del sector (m³)	Valor mensual recaudado del sector (\$)
Vergeles	N72-1006	16.75	10567	8725.55

Fuente: Interagua Cía. Ltda. Elaborado por: Autor

El caudal contabilizado del piloto con regulación del mes de noviembre del 2022, para el periodo del 28 de octubre al 29 de noviembre (32 días), se muestra en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Caudal Contabilizado noviembre sector N72-1006

Sector Residencial	Sector Hidráulico	Consumo mensual promedio por usuario (m³)	Consumo mensual del sector (m³)	Valor mensual recaudado del sector (\$)
Vergeles	N72-1006	17.01	10732	8708.58

Fuente: Interagua Cía. Ltda. Elaborado por: Autor

El lunes 24 de octubre se procedió a instalar un caudalímetro portátil en el sector mostrado en la Figura 2.7, realizando la medición del caudal entregado hasta el martes 01 de noviembre, considerando días laborables y fin de semana obteniendo los resultados mostrados en la Figura 2.11.

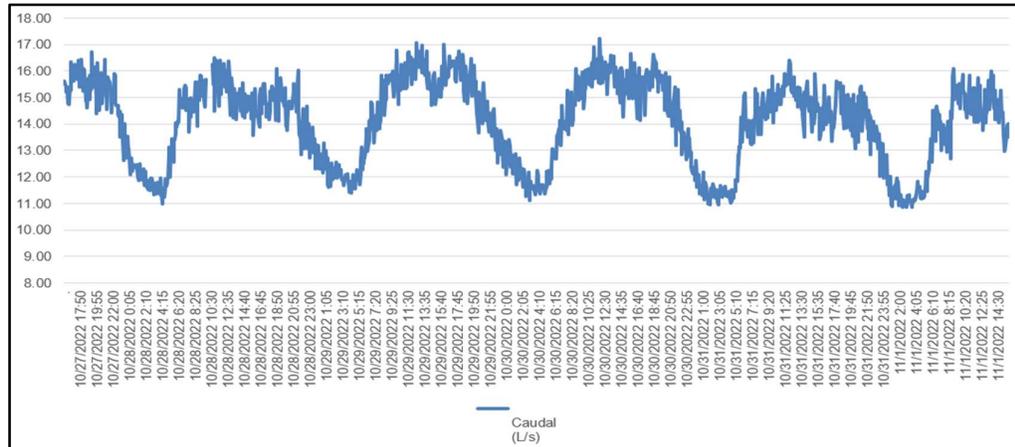


Figura 2.11 Caudal entregado al sector piloto N72-1006 con regulación

Fuente: Interagua Cía. Ltda. Elaborado por: Autor

En la Figura 2.11 podemos observar el comportamiento de caudal del sector teniendo un caudal promedio de 16.01 l/s en el horario de máximo consumo (10:00 am a 14:00 pm), y un caudal promedio de 11.42 l/s en el horario de mínimo consumo (02:00 am a 04:00 am).

Con esta proyección y con un caudal entregado promedio a la zona de 14.08 l/s, se puede inferir un caudal total entregado desde el 28 de septiembre hasta el 28 de octubre de 2022 de 36495 m³.

Es decir, el sector piloto, tendría un IANC de 71.0 %.

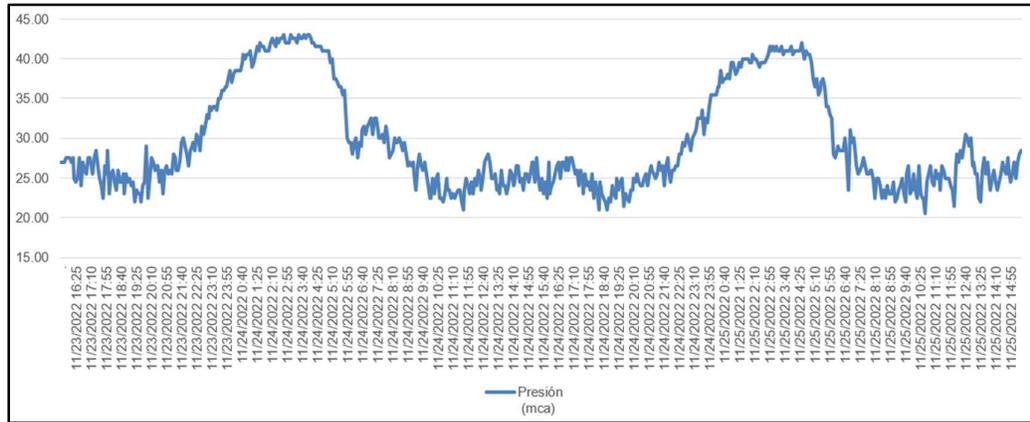


Figura 2.12 Presión registrada en el Sector Piloto N72-1006 con regulación

Fuente: Interagua Cía. Ltda. Elaborado por: Autor

En la Figura 2.12 se observa el comportamiento de la presión dentro del sector N72-1006 luego de la regulación manual, lo cual se puede concluir que en el horario de mínimo consumo la presión tiene un comportamiento similar al que tiene sin regulación, por tal motivo el caudal de pérdida será similar.

Este dato es comprensible si se toma en cuenta que la regulación manual no es un mecanismo efectivo sino apenas una alternativa de prueba que para los horarios de bajo consumo no resulta eficiente, caso contrario sería una opción en lugar de la implementación de reguladoras de presión.

La falta de restricciones señalaría que las pérdidas se direccionan a fugas no visibles, reforzando la estrategia de regulación de presiones como una opción para el sector.

La ligera disminución en el ANC ratifica que la regulación puede funcionar, sin embargo, el resultado será validado mediante modelación hidráulica.

Con la regulación manual, sí es posible simular la eventual afectación al caudal contabilizado considerando que esta regulación tiene resultados en horarios de consumo lo cual se refleja en la presión promedio obtenida durante

el día que es del orden de 22 mca muy cercana a la presión estable que se debería buscar obtener mediante la regulación de presiones.

Se verifica información del mes de octubre del sector y se observa que durante ese mes que se regula manualmente la válvula, no se presentaron daños visibles en el sector por tal motivo el usuario no se vio perjudicado por estas interrupciones.

CAPÍTULO 3

3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Modelación Hidráulica en Software WaterGEMS sector Piloto

El software WaterGEMS es una herramienta completa y fácil de usar para los profesionales que diseñan, planifican y operan sistemas de distribución de agua, este software nos permite conocer cómo se comporta la infraestructura como sistema, cómo reacciona a las estrategias operativas y cómo debería crecer a medida que aumentan la población y la demanda para que así nos podamos enfocar en tomar las mejores decisiones ante las diferentes necesidades.

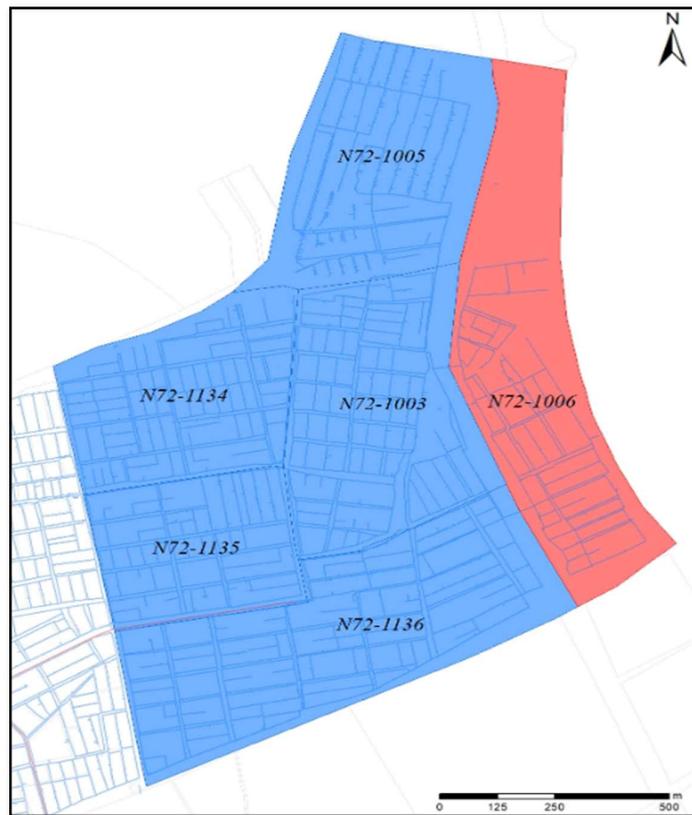


Figura 3.1 Modelo Hidráulico del N72-1006

Fuente: Interagua Cía. Ltda. Elaborado por: Autor

3.1.1 Análisis con regulación manual

Para obtener el comportamiento del caudal que se obtuvo con la regulación manual de la válvula, se procedió a calibrar el modelo con los datos de presión y caudal obtenidos en campo, y colocando una pérdida en la válvula de abastecimiento del sector se pudo obtener el comportamiento del caudal mostrado en la el cual es similar al obtenido en las pruebas iniciales.

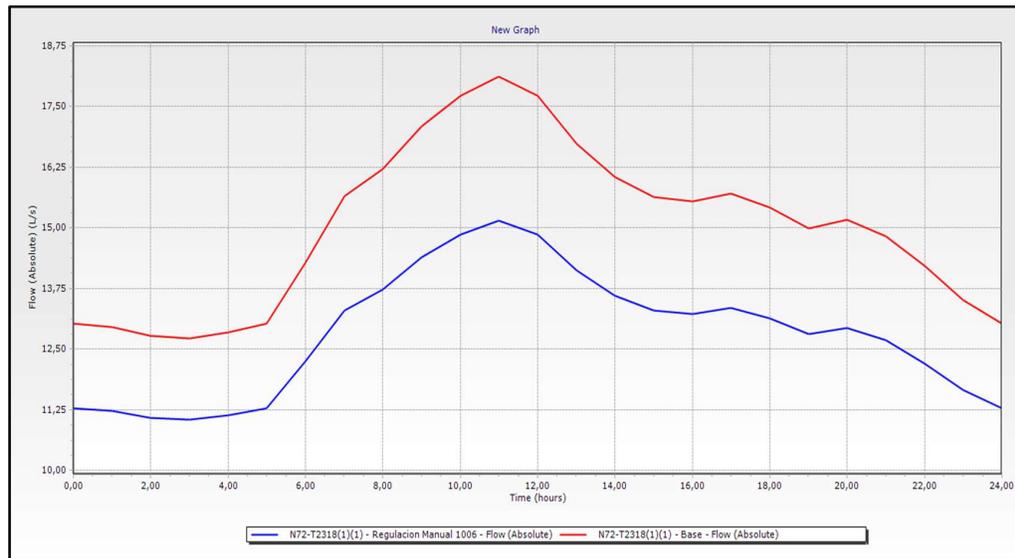


Figura 3.2 Comportamiento del caudal con regulación manual

Elaborado por: Autor

Con la regulación manual se puede observar en la Figura 3.2 una disminución del caudal promedio de aproximadamente 2 l/s, según la gráfica donde existe una menor reducción de caudal es en los horarios de mínimo consumo, esto debido a que la presión del sector aumenta cuando el volumen de agua entregado disminuye.

3.1.2 Análisis con instalación de VRP

Las presiones elevadas en la red de AAPP. aumentan el riesgo de que existan nuevas roturas, adicional, el caudal de fuga es mucho mayor a elevadas

presiones, por tal motivo al reducir la presión en la red se puede reducir las fugas y el desperdicio de agua.

Para el modelo se procedió a instalar una VRP en el abastecimiento del sector piloto, dicha válvula nos permite ajustar la presión de salida a un nivel óptimo que permita cumplir con la presión de servicio requerida en el punto crítico de la red, considerando que éste puede variar dependiendo las condiciones del sistema a lo largo del tiempo.

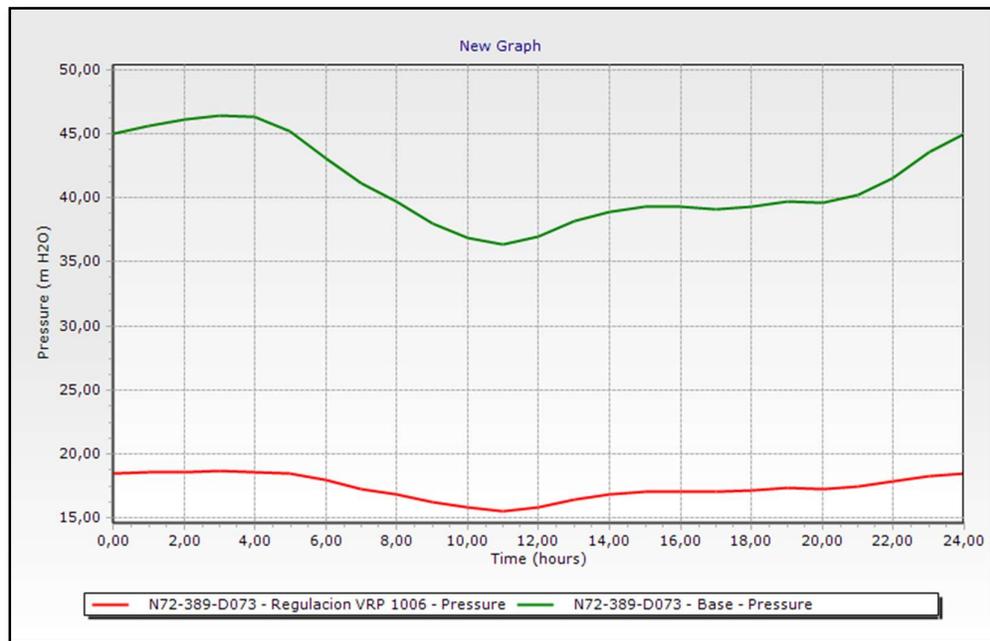


Figura 3.3 Comportamiento de la presión en el punto crítico del sector piloto con VRP

Elaborado por: Autor

En la Figura 3.3 se puede observar la reducción de la presión en el punto crítico luego de poner en marcha la VRP, vemos el comportamiento de la presión en el punto crítico del sector piloto con una presión a la salida de la VRP de 22 mca (línea color rojo), esta presión se mantiene fija a la salida de la VRP con la finalidad de obtener 15 mca en el horario de máximo consumo del sector, la línea verde representa la presión del punto crítico sin regulación.

También podemos observar que en los horarios de mínimo consumo la presión en el punto crítico aumenta hasta llegar a una presión máxima de 18.5 mca.

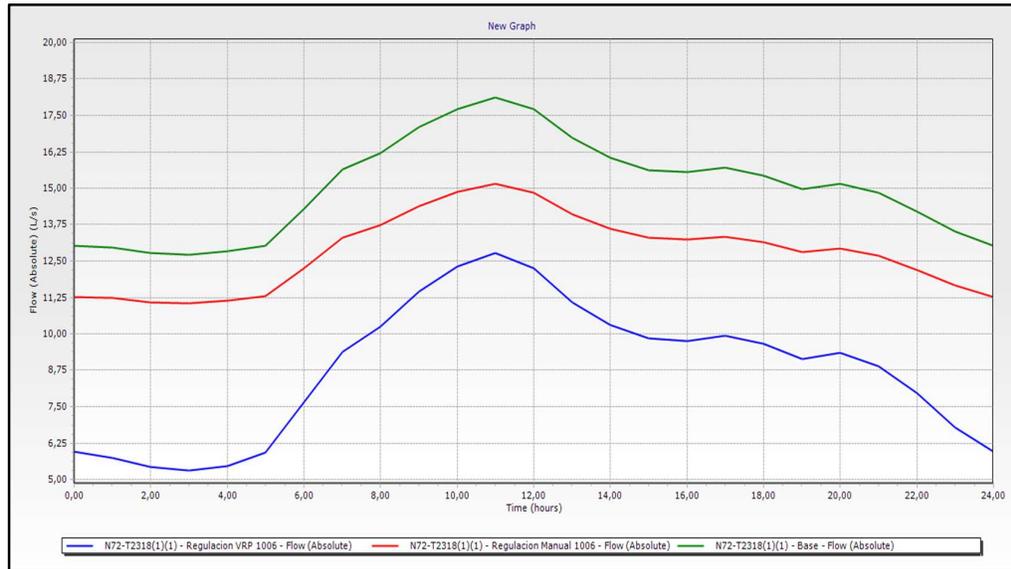


Figura 3.4 Comportamiento del caudal con VRP del sector piloto

Elaborado por: Autor

En la Figura 3.4 hacemos la comparación del comportamiento del caudal inicial del sector piloto sin regulación (línea verde), el comportamiento del caudal mediante regulación manual (línea roja) y el comportamiento del caudal luego de poner en marcha la VRP a una presión fija de 21 mca a la salida (línea azul), aquí podemos observar una reducción notable del caudal entregado al sector luego de considerar la instalación de una válvula reguladora de presión, con la VRP funcionando obtenemos según el modelo una reducción de caudal promedio de 6.4 l/s.

3.1.3 Análisis con instalación de VRP y régulo

El régulo es un controlador inteligente de válvulas reguladoras de presión, convencionalmente, la reducción de la presión es alcanzada mediante una válvula reguladora, la cual entrega una presión fija a la red, el régulo permite

controlar el piloto de la válvula reguladora, reduciendo la presión durante la noche.

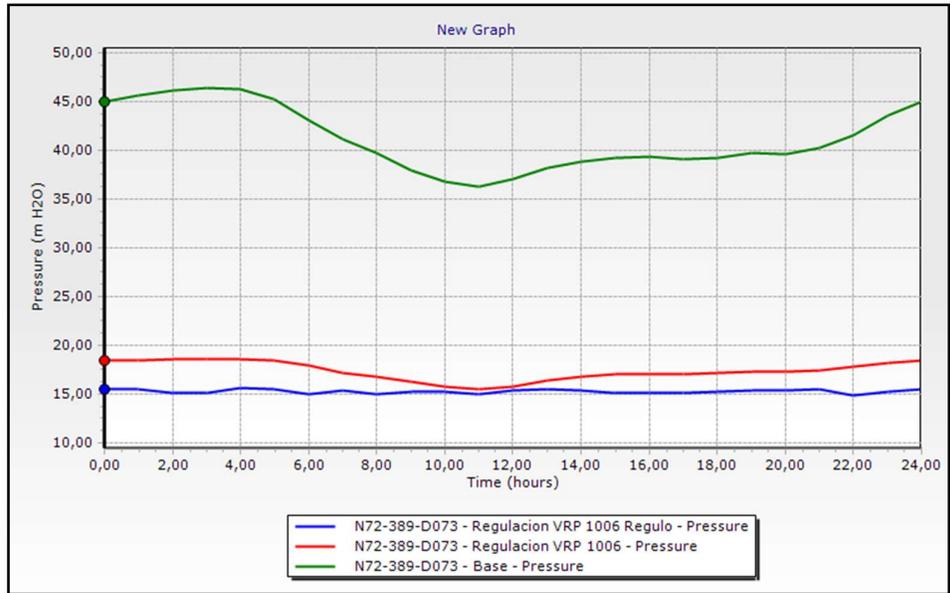


Figura 3.5 Comportamiento de la presión en el punto crítico del sector piloto con VRP y régulo

Elaborado por: Autor

En la Figura 3.5 se observa el comportamiento de la presión en el punto crítico del sector piloto luego de la colocación del régulo (línea color azul), el cual cumple su función manteniendo la presión cercana a 15 mca durante todo el día, con línea roja se observa la presión del punto crítico con la VRP funcionando y sin régulo, y la línea verde representa la presión del punto crítico sin regulación.

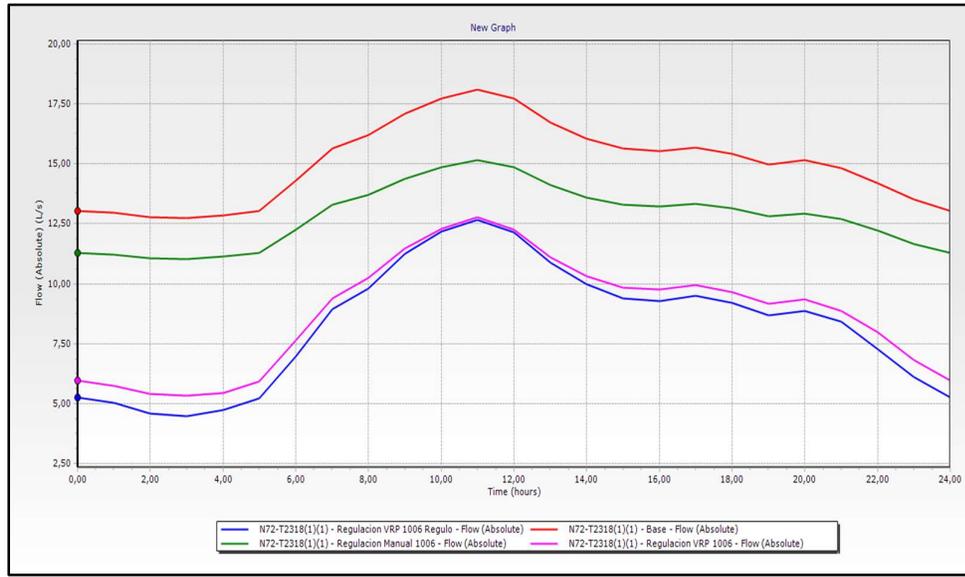


Figura 3.6 Comportamiento del caudal con VRP y régulo

Elaborado por: Autor

La Figura 3.6 muestra la comparación del comportamiento del caudal inicial del sector piloto sin regulación (línea roja), el comportamiento del caudal mediante regulación manual (línea verde), el comportamiento del caudal luego de poner en marcha la VRP a una presión fija de 21 mca a la salida (línea rosa) y el comportamiento del caudal luego de poner en marcha la VRP con el régulo (línea azul), aquí se observa una leve reducción del caudal entre usar el régulo y no usarlo, teniendo una diferencia de caudal de 0.15 l/s lo cuál para este sector no justifica el uso del régulo.

3.2 Modelación Hidráulica en Software WaterGEMS sector Vergeles

El sector de Vergeles actualmente consta de 3 sectores hidráulicos N72-1003, N72-1005 y N72-1006, dentro de estos sectores existe una zona irregular que tiene una cota baja de 5 msnm y una cota alta de 28 msnm. Analizando la configuración de la red existente en vergeles se descartó realizar una regulación general utilizando una VRP sobre la conducción debido a que por la zona alta que existe no se aprovecharía al máximo la estrategia de gestión de la presión, por tal motivo se procedió a dividir en 6 sectores hidráulicos todo Vergeles con la finalidad de poder realizar una correcta modelación y

aprovechar de mejor manera la estrategia, quedando conformado como se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Sectores Hidráulicos vergeles modelación

Sector Hidráulico	Número de usuarios
N72-1003	921
N72-1005	859
N72-1006	631
N72-1134	939
N72-1135	709
N72-1136	1436

Fuente: Interagua Cía. Ltda. **Elaborado por:** Autor

En la Figura 3.7, se observa cómo queda la división de los sectores hidráulicos en el plano general de vergeles.

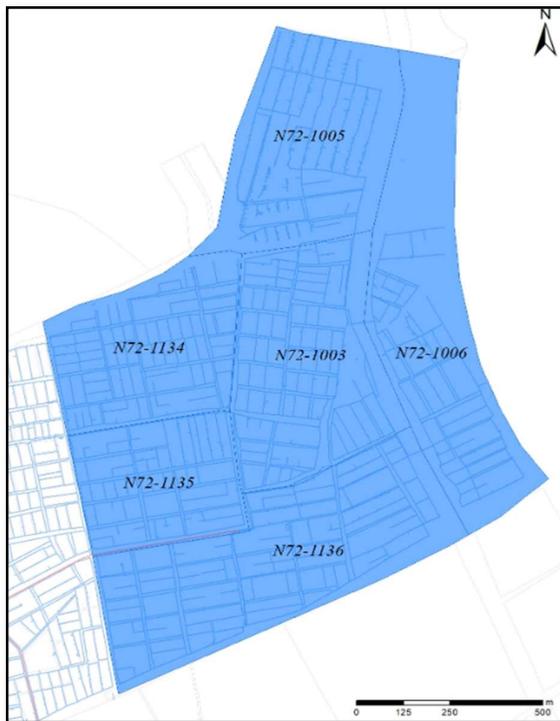


Figura 3.7 Sectores Hidráulicos de Vergeles

Elaborado por: Autor

Una vez dividido los sectores hidráulicamente se procedió a ingresar en el modelo los datos de caudal entregado al sector, estos valores fueron obtenidos del caudalímetro fijo existente sobre la red de conducción que abastece al sector de vergeles.

En la Figura 3.8 se observa el comportamiento del caudal entregado al sector teniendo un caudal en máximo consumo de 115 l/s, un caudal en mínimo consumo de 88 l/s y un caudal promedio de 101.8 l/s.



Figura 3.8 Comportamiento del caudal de vergeles inicial

Elaborado por: Autor

Teniendo un caudal contabilizado de vergeles de 104145 m³/mes y el caudal entregado promedio de 263865.6 m³/mes nos da que este sector tiene actualmente un ANC del 60.5%.

Para continuar con el estudio se procedió a seleccionar 5 de los 6 sectores para regulación dejando por fuera el sector irregular (N72-1006), estos sectores se muestran en la Figura 3.9.

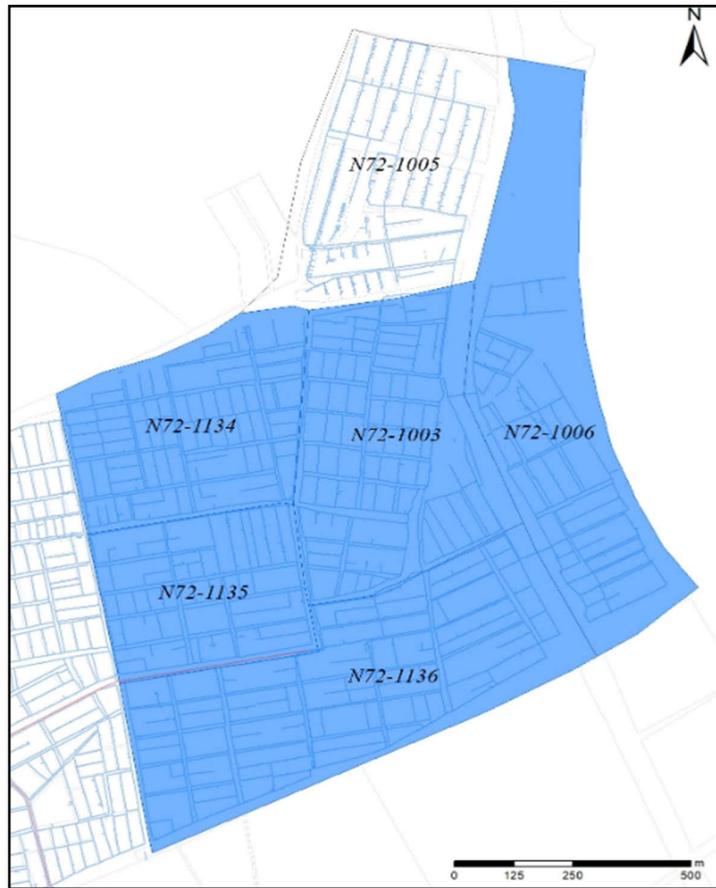


Figura 3.9 Sectores de vergeles a regular

Elaborado por: Autor

Según la configuración de la red, en el modelo se consideró la instalación de 4 válvulas reguladoras de presión, una que controlaría el sector N72-1003, otra para el sector N72-1006, otra para el sector N72-1136 y otra que controlaría los sectores N72-1134 y N72-1135.

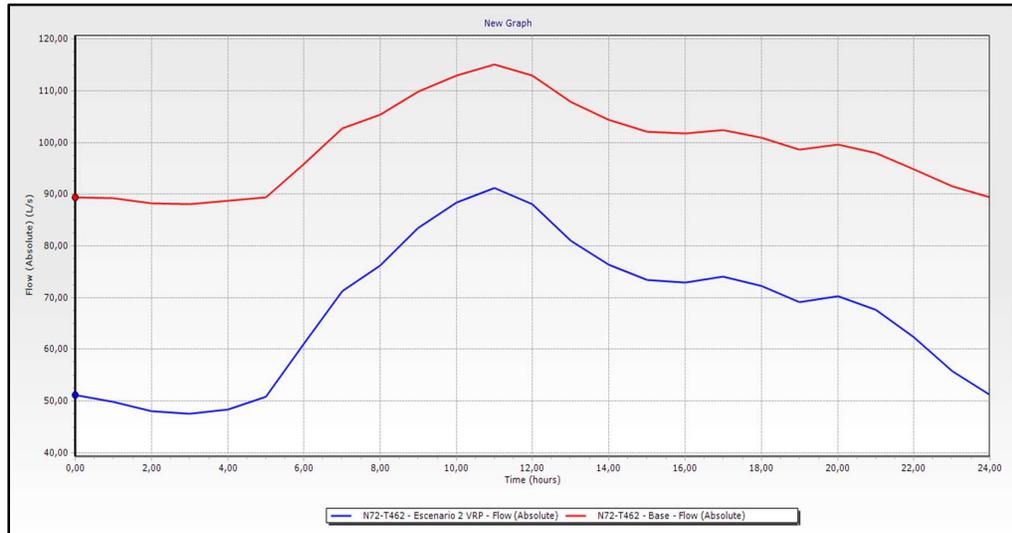


Figura 3.10 Comportamiento del caudal de vergeles con regulación

Elaborado por: Autor

En la Figura 3.10 se hace la comparación del comportamiento del caudal inicial que se entrega al sector de vergeles sin regulación (línea roja) con el comportamiento del caudal que se entrega al sector de vergeles luego de la regulación, aquí se observa una reducción notable del caudal entregado al sector luego de considerar la instalación de las 4 válvulas reguladoras de presión, con las VRP funcionando se obtiene según el modelo una reducción de caudal promedio de 30.4 l/s.

3.3 Caudales contabilizados

En el proyecto piloto con la regulación se obtuvo una disminución del caudal contabilizado de 11600 m³/mes a 10732 m³/mes lo que corresponde al 7,48%.

Al tener los caudales contabilizados y presiones del sector piloto para ambos escenarios y mediante la ecuación de FAVAD se procede a simular el N3 mostrados en la Tabla 3.2 que es el coeficiente que expresa el efecto del cambio en las condiciones de presión sobre el consumo de agua.

$$\frac{C_1}{C_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N_3} \quad (3.1)$$

donde,

C_0 = Consumo con presión más alta.

C_1 = Consumo con presión más baja.

P_0 = Presión más alta.

P_1 = Presión más baja.

N_3 = Coeficiente.

Tabla 3.2 Cálculo coeficiente N_3 sector piloto

C_0 (m ³ /mes)	C_1 (m ³ /mes)	P_0 (mca)	P_1 (mca)	N_3
11600	10650	37	26	0.242

Fuente: Interagua Cía. Ltda. Elaborado por: Autor

Para el proyecto de vergeles se tiene un caudal contabilizado de 104145 m³/mes lo que equivale aproximadamente a \$85086,47, considerando que el caudal contabilizado del sector N72-1005 no se afectará debido a que no se lo regulará, queda un caudal para el resto de los sectores de 89055 m³/mes.

Teniendo el valor de caudal contabilizado de vergeles adicional a las presiones antes y después de la regulación y utilizando el coeficiente N_3 obtenido del sector piloto procedemos a reemplazar los valores en la ecuación (3.1) para obtener el caudal contabilizado con la regulación C_1 como se muestra en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Cálculo del caudal contabilizado futuro de vergeles C_1

C_0 (m ³ /mes)	C_1 (m ³ /mes)	P_0 (mca)	P_1 (mca)	N_3
89,055	74,795.26	37	18	0.242

Fuente: Interagua Cía. Ltda. Elaborado por: Autor

Luego del cálculo se obtuvo que el caudal contabilizado esperado de los sectores regulados es de 74795.26 m³/mes, añadiendo el caudal contabilizado del sector N72-1005 nos da un caudal total contabilizado luego de la regulación de 89885.26 m³/mes, lo cual equivale a una recaudación aproximada de \$ 73436,26, teniendo una disminución estimada en el ingreso del orden de \$11650.

Teniendo un caudal contabilizado aproximado de vergeles regulado de 89885.26 m³/mes y el caudal entregado regulado de 185068.8 m³/mes nos da que este sector tiene un ANC de 51.4% luego de la regulación, es decir 9.1 puntos de disminución de ANC.

3.4 Caudales Entregados

Para el proyecto de vergeles según la modelación muestra que recuperamos un caudal promedio de 30.4 l/s lo que equivale a 78796.8 m³/mes que en dólares corresponde a \$50745.14 mensuales considerando una tarifa por m³ de \$0.644.

Considerando que el agua que se recupera se la distribuye a otra zona y teniendo como referencia el % de ANC actual de la ciudad de Guayaquil del 51.2% el total de valor recuperado sería de \$24763.63 mensuales.

3.5 Implementación de VRP e instalación de tubería

Para la ejecución del proyecto es necesario la instalación de 4 válvulas reguladoras de presión, que ayudará a disminuir la presión en los sectores, instalación de tramos de tuberías y válvulas de sectorización que nos permitirán sectorizar y mejorar la configuración hidráulica de los sectores, este proyecto requiere una inversión aproximada de \$251,000.00 tal como se muestra en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Presupuesto referencial del proyecto

No.	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
1	Tubería de 160mm incluye accesorios, rotura, reposición, movimiento de tierra, pruebas hidráulicas e interconexiones	m	420	\$170.00	\$71,400.00
2	Válvula de Compuerta incluye accesorios (Protección en cámara)	u	4	\$4,800.00	\$19,600.00
3	Válvula reguladora de presión con accesorios (Protección en cámara)	u	4	\$40,000.00	\$160,000.00
TOTAL					\$251,000.00

Elaborado por: Autor

3.6 Análisis de frecuencia de roturas

En la Tabla 3.5 se observa la cantidad de fugas que fueron reparadas en el año 2021 en el sector analizado de vergeles. Considerando las experiencias en proyectos de regulación, se estima una reducción de daños entre el 70% y el 80%, para el presente ejercicio se ha considerado una reducción esperada del orden del 75%, con lo cual la proyección de fugas a reparar luego de la instalación de las válvulas reguladoras de presión, evaluadas en función del costo promedio por reparación en el sector (dato facilitado por Interagua), se obtiene un ahorro estimado por disminución de reparaciones del orden de los \$38,000 dólares anuales.

Tabla 3.5 Ahorros esperados por reparaciones

No.	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo por reparación	Costo Total
1	Fugas año 2021	u	233	\$217,2	\$50.600,6
2	Fugas futuras por año	u	58	\$217,2	\$12.595,9
Ahorro Aproximado por año					\$38.004,8

Elaborado por: Autor

Tabla 3.6 Cálculo de tiempo de retorno de la inversión

	Mes 0	Mes 1	Mes 3	Mes 6	Mes 10	Mes 15	Mes 16
Inversión inicial (\$)	-\$251,000						
Facturación perdida (\$)		-\$11,650	-\$11,650	-\$11,650	-\$11,650	\$11,650	-\$11,650
Agua recuperada (\$)		\$24,763	\$24,763	\$24,763	\$24,763	\$24,763	\$24,763
Ahorro por reparaciones (\$)		\$3,167	\$3,167	\$3,167	\$3,167	\$3,167	\$3,167
Flujo Normal (\$)		\$16,280	\$16,280	\$16,280	\$16,280	\$16,280	\$16,280
Flujo Acumulado (\$)	-\$251,000	-\$234,720	-\$202,160	-\$153,320	-\$88,200	-\$6,800	\$9,480

Elaborado por: Autor

Como se observa en la Tabla 3.6 en 15 meses recuperamos la inversión del proyecto, desde el mes 16 corresponde a ganancias para la empresa de lo invertido.

CAPÍTULO 4

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Para realizar una regulación de presiones efectiva en el sector, es necesaria la instalación de una válvula reguladora de presión debido a que, si se regula la válvula de abastecimiento sea de compuerta o mariposa, en la noche el sistema se presuriza por el poco consumo y las presiones se vuelven similares al sector sin regulación lo cual provoca que la pérdida de agua por fugas sea similar sin regulación y con regulación manual.
- Cuando se utiliza válvulas reguladoras de presión en los sectores, disminuyen los daños que se presentan en las redes de agua potable y demás elementos del sistema debido a que no existe presión excesiva en la red que provoque estrés a la tubería, por ende, disminuye también las afectaciones de servicio mejorando así la calidad de vida de los usuarios.
- Al instalar válvulas reguladoras de presión, el caudal contabilizado en los medidores de los usuarios disminuye, esto debido a que gran parte de los consumos depende directamente de la presión que se tiene en la red como son duchas, grifos y dispositivos de riego.
- El sector en análisis es viable para un proyecto de regulación de presiones, el cual considera la instalación de 4 válvulas reguladoras de presión, 4 válvulas de seccionamiento y 420 metros de tubería.
- El tiempo de recuperación del proyecto es de 15 meses con una TIR esperada a 3 años de 58.16%.
- La disminución de los consumos efecto de la regulación de presiones no afecta la viabilidad del proyecto, el cual queda justificado con la recuperación de agua, la estimación de entrega a otros sectores, la disminución de daños y demás beneficios detallados en el presente proyecto.

Recomendaciones

- La regulación manual de las válvulas no se la debe realizar por mucho tiempo debido a que el mecanismo de la válvula puede fallar y provocar desabastecimiento del sector ya que las mismas no fueron diseñadas para cumplir la función de regulación.
- Considerar la ejecución de las otras estrategias de pérdidas físicas con la finalidad de poder disminuir en un mayor porcentaje las pérdidas existentes en el sector debido a que al tener las válvulas reguladoras de presión el sistema no sentirá la variación de presiones al reparar fugas.
- Para poder instalar una válvula reguladora de presión en un sector es necesario dimensionar correctamente la misma, considerando el caudal que voy a mover y el diferencial de presiones.
- Las válvulas reguladoras de presión deben ser empleadas en sectores que poseen presiones elevadas, caudal de pérdidas alto, que presente fugas constantes debido a la alta presión.
- La zona de Vergeles requiere la implementación de otras estrategias de recuperación de pérdidas, dado el índice alcanzado luego de la regulación, se recomienda además una revisión general del catastro, el status del parque de medidores y la posible existencia de pérdidas por defraudaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- *El Universo, P. (Junio de 2006). Coop. Los Vergeles tendrá agua potable desde agosto.*
- *Enrique Cabrera, J. A.-S. (1999). AUDITORÍA DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA. 389.*
- *Marcet, E. C. (2004). Evaluación y Control de Pérdidas de Aguas en Redes Urbanas. Valencia.*
- *Ziegler, D., Sorg, F., Fallis, P., Hübschen, K., Happich, L., Baader, J., . . . Knobloch, A. (2011). Guía para la reducción de las pérdidas de agua. Eschborn: GIZ.*
- *Molina Arce, S. X. (2009). Metodología para reducción de pérdidas técnicas en el sistema de distribución de AA.PP. del Suburbio Oeste de la ciudad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.*
- *Instrumentos, A. (s.f.). Technolog Regulo*
- *MDPI. (2 de August de 2018). The Dependence of Water Consumption on the Pressure Conditions and Sensitivity Analysis of the Input Parameters. Basel, Switzerland*
- *SEWERIN. (s.f.). Obtenido de SEWERIN: https://www.sewerin.com/fileadmin/redakteure/BEA/es/bea_aquaphon_a_100_es.pdf*
- *Megger. (s.f.). Obtenido de Megger: https://www.megger-sebakmt.de/produktdetails-2/CORRELUX-C-3_ES.html*
- *SEWERIN. (s.f.). Obtenido de SEWERIN: <https://www.sewerin.com/es/productos/gas/deteccion-de-fugas-de-gas-en-el-exterior/variotec-460-tracergas>*