



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES**

**Actualización de la modelación hidráulica de los sistemas de
distribución de agua potable de la parroquia Nulti, en los
sectores: Nulti Centro, Challuabamba y San Juan Pamba.**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES**

Autores:

LISSETH CRISTINA ROMÁN MARÍN

JOSÉ LUIS MUÑOZ COLLAGUAZO

Director:

JOSUÉ LARRIVA VÁZQUEZ

CUENCA ECUADOR

2018

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo a mis padres Humberto y Josefina, ya que gracias a ellos he podido alcanzar mis metas hasta el día de hoy. A mis hermanos Santiago y Paúl ya que ellos de una u otra manera han aportado ideales a mi vida al pasar de los años. A mi esposo Fernando que siempre ha sabido apoyarme y alentar hacia un mejor futuro. A mi familia y amigas en general. Finalmente, y el más importante a Dios, que por su gracia he llegado a esta esta etapa de mi vida con salud.

Cristina Román Marín.

Dedico este trabajo principalmente a Dios, quien mediante su voluntad me ha permitido llegar a esta etapa de la vida y me ha concedido a mis padres y hermanos: Raúl, Laura, Juan, Pablo, Diego, Santiago y Ximena, que conjuntamente han aportado con enseñanzas y conocimientos a lo largo de toda mi vida permitiéndome salir adelante. A toda mi familia que ha sido de gran sustento durante cada etapa de mí existir. Y finalmente a todos mis amigos y conocidos, que de una u otra manera supieron hacerse presente con su ayuda en cualquier forma posible.

José Muñoz Collaguazo.

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que conforman la Universidad del Azuay, en especial a los de la Facultad de Ciencia y Tecnología, a los profesores, y amigos que han sabido compartir sus conocimientos y su amistad a lo largo de estos años dentro de la universidad. A nuestro Director de Tesis el Dr. Josué Larriva, y a la Ing. Verónica Chumi, que gracias a su apoyo y dirección hemos podido concluir con este proyecto.

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIAS	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	2
OBJETIVOS	4
Objetivo general:	4
Objetivos específicos:	4
CAPITULO 1	5
1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	5
1.1 Recopilación de información topográfica, demográfica y catastral	5
1.1.1 Información topográfica	7
1.1.2 Información demográfica	9
1.1.3 Información catastral	11
1.1.3.1 Información catastral actual	13
1.2 Recopilación de información hidráulica	16
1.3 Programas aplicados para el tratamiento de la información	20
1.3.1 AutoCAD civil 3D – AutoCAD Map	20
1.3.2 ArcMap	20
1.3.3 WaterGEMS	21
CAPITULO 2	23
2. ELABORACIÓN DE MODELOS HIDRÁULICOS	23
2.1 Información de tuberías, nodos y asignación de propiedades	23
2.1.1 Tanque de almacenamiento	24
2.1.2 Válvulas de control	24
2.1.3 Válvulas de aire	24
2.1.4 Válvulas de purga	25
2.1.5 Estaciones reductoras de presión	25
2.1.6 Válvulas reguladoras de caudal	25

2.1.7	Tuberías	26
2.1.8	Nodos	26
2.2	Determinación de caudales	26
2.2.1	Caudales en los sectores Challuabamba y Nulti Centro	26
2.2.2	Factor de mayoración o ajuste (FM)	29
2.2.3	Caudal máximo diario	31
2.2.4	Caudal máximo horario	31
2.2.5	Caudal máximo horario mayorado:	32
2.3	Determinación de las áreas de aporte actuales y caudales para el sector San Juan Pamba (El Plateado)	33
2.3.1	Áreas de aporte	33
2.3.2	Cálculo de caudales	34
CAPITULO 3		38
3	SIMULACIONES HIDRÁULICAS	38
3.1	Condiciones de flujo y criterios para una red de abastecimiento	38
3.1.1	Flujo permanente	38
Ecuación de la conservación de la energía		39
Teorema de Bernoulli		39
Perdidas de energía por fricción en la conducción		40
3.1.2	Flujo no permanente	42
3.2	Criterios para una red de abastecimiento	43
3.2.1	Velocidad	43
3.2.2	Presión	43
3.2.3	Diámetro	43
3.2.4	Caudal	43
3.3	Evaluación actual	43
3.4	Calibración del modelo	50
3.4.1	Herramienta Darwin Calibrator	58
3.4.2	Presiones 2018	66
3.5	Curvas de consumo	69
3.6	Simulaciones en períodos de 5 años	74
3.6.1	Cálculo 2025	74
3.6.2	Cálculo 2030	76
3.7	Análisis y comparación de los diferentes resultados	78
3.8	Conclusiones de la calibración	84
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		86

ANEXOS	88
BIBLIOGRAFÍA	101

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO 1

Figura 1.1: Sectorizaciones del sistema del año 2015 - Nulti Centro, El Plateado y Challuabamba.....	5
Figura 1.2: Sectorización del año 2018 de Nulti Centro, El Plateado y Challuabamba.	6
Figura 1.3: Topografía del sector Nulti Centro.....	8
Figura 1.4: Topografía del sector San Juan Pamba (El Plateado).....	8
Figura 1.5: Topografía del sector Challuabamba.....	9
Figura 1.6: Base poblacional 2010 del Cantón Cuenca.....	10
Figura 1.7: Simbología de tuberías de distribución de agua potable.....	12
Figura 1.8: Simbología de elementos hidráulicos.....	13
Figura 1.9: Catastro actualizado de agua potable de la ciudad de Cuenca.....	14
Figura 1.10: Catastro del año 2018 de redes de distribución de agua potable del sector El Plateado.....	15
Figura 1.11: Catastro del año 2018 de redes de distribución de agua potable del sector El Plateado.....	15
Figura 1.12: Catastro del año 2018 de redes de distribución de agua potable del sector Challuabamba.....	16
Figura 1.13: Límites de servicio territoriales al año 2015.....	17
Figura 1.14: Límites de servicio territoriales del sistema actual (año 2018).....	17
Figura 1.15: Límites de servicio y puntos de abastecimiento actuales (año 2018) del sector Challuabamba.....	18
Figura 1.16: Límites de servicio y puntos de abastecimiento actuales (año 2018) del sector San Juan Pamba (El Plateado).....	19
Figura 1.17: Límites de servicio y puntos de abastecimiento actuales (año 2018) del sector Nulti Centro.....	19
Figura 1.18: Interfaz ArcMap.....	21
Figura 1.19: Pantalla del programa WaterGEMS.....	22

CAPITULO 2

Figura 2.1: Registro de medidores - sistema del año 2015 del sector Nulti Centro..	27
Figura 2.2: Registro de medidores – sistema del año 2018 del sector Nulti Centro..	28
Figura 2.3: Registro de medidores - sistema del año 2015 del sector Challuabamba.	28
Figura 2.4: Registro de medidores - sistema del año 2018 del sector Challuabamba.	29
Figura 2.5: Visualización de los polígonos de Thiessen en ArcGis del sector El Plateado.....	34

Figura 2.6: Extracto de un nodo con su respectivo Polígono de Thiessen.....	37
---	----

CAPITULO 3

Figura 3.1: Cargas en los extremos de una tubería.	40
Figura 3.2: Comparación de sistemas y extracto de algunas tuberías que fueron agregadas - sector Nulti Centro.....	45
Figura 3.3: Comparación de sistemas y extracto de algunas tuberías que fueron agregadas - sector El Plateado.....	46
Figura 3.4: Comparación de sistemas y extracto de algunas tuberías que fueron agregadas - sector Challuabamba.....	47
Figura 3.5: Extracto de caudales asignados para el año 2018 - sector Nulti Centro..	48
Figura 3.6: Extracto de caudales asignados para el año 2018 - sector El Plateado....	49
Figura 3.7: Extracto de caudales asignados para el año 2018 - sector Challuabamba.	49
Figura 3.8: Mapa de presiones medidas en campo – sector Nulti Centro.....	50
Figura 3.9: Mapa de presiones medidas en campo – sector EL Plateado.	51
Figura 3.10: Mapa de presiones medidas en campo – sector Challuabamba.....	52
Figura 3.11: Ubicación de la herramienta Darwin Calibrator.....	59
Figura 3.12: Grafica gradiente hidráulico observado – gradiente hidráulico simulado sector Nulti centro	60
Figura 3.13: Grafica gradiente hidráulico observado – gradiente hidráulico simulado sector El Plateado.....	60
Figura 3.14: Grafica gradiente hidráulico observado – gradiente hidráulico simulado sector Challuabamba.	61
Figura 3.15: Rango de presiones	67
Figura 3.16: Presiones 2018 - sector Nulti Centro.....	67
Figura 3.17: Presiones 2018 - sector El Plateado.....	68
Figura 3.18: Presiones 2018 - sector Challuabamba.....	68
Figura 3.19: Curva de consumo – sector Nulti Centro.....	71
Figura 3.20: Curva de consumo – sector El Plateado.	72
Figura 3.21: Curva de consumo – sector Challuabamba.	72
Figura 3.22: Variación horaria de presión y demanda del Punto 7 – Challuabamba.	73
Figura 3.23: Presiones 2025 – sector Nulti Centro.	74
Figura 3.24: Presiones 2025 – sector El Plateado.....	75
Figura 3.25: Presiones 2025 – sector Challuabamba.	75
Figura 3.26: Presiones 2030 – sector Nulti Centro.	76
Figura 3.27: Presiones 2030 – sector El Plateado.....	77
Figura 3.28: Presiones 2030 – sector Challuabamba.	77
Figura 3.29: Representación gráfica de presiones – Nulti Centro.	79
Figura 3.30: Representación gráfica de presiones – El Plateado.	80
Figura 3.31: Representación gráfica de presiones - Challuabamba.	81
Figura 3.32: Representación gráfica de perdidas unitarias – Nulti Centro.	82
Figura 3.33: Representación gráfica de perdidas unitarias – El Plateado.....	83
Figura 3.34: Representación gráfica de perdidas unitarias – Challuabamba.	84

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO 1

Tabla 1.1: Áreas del sistema del 2015.	6
Tabla 1.2: Áreas del sistema actual - año 2018.....	7
Tabla 1.3: Poblaciones proyectadas.	11

CAPITULO 2

Tabla 2.1: Cantidad de elementos hidráulicos.	23
Tabla 2.2: Longitud de tuberías.	24
Tabla 2.3: Número de medidores - Challuabamba y Nulti Centro.	29
Tabla 2.4: Porcentaje de fugas a considerarse en el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable.....	31
Tabla 2.5: Resultados de los caudales de los sectores Challuabamba y Nulti Centro para el año 2018.	32
Tabla 2.6: Resultados de los caudales proyectados para los años 2025 y 2030.....	32
Tabla 2.7: FM de los sectores Challuabamba y Nulti Centro.	33
Tabla 2.8: Resultados de los caudales del sector El Plateado para el año 2018.	36
Tabla 2.9: Resultados de los caudales proyectados para los años 2025 y 2030 del sector El Plateado.....	36
Tabla 2.10: Extracto de cálculo del nodo “PLATEADO_1113”	37

CAPITULO 3

Tabla 3.1: Presiones calculadas en estado inicial vs presiones medidas – sector Nulti Centro.....	53
Tabla 3.2: Presiones calculadas en estado inicial vs presiones medidas – sector El Plateado.....	53
Tabla 3.3: Presiones calculadas en estado inicial vs presiones medidas – sector Challuabamba.....	54
Tabla 3.4: Presiones calculadas con el sistema interconectado vs presiones medidas – sector Nulti Centro.	54
Tabla 3.5: Presiones calculadas modificada la demanda vs presiones medidas – sector Nulti Centro.	55
Tabla 3.6: Presiones calculadas agregando válvulas reguladoras de flujo o caudal (FCV) vs presiones medidas – sector Nulti Centro.....	56
Tabla 3.7: Presiones calculadas calibradas con ERP vs presiones medidas – Sector Nulti Centro.....	56
Tabla 3.8: Presiones calculadas calibradas con ERP vs presiones medidas – Sector El Plateado.....	57
Tabla 3.9: Presiones calculadas calibradas con ERP vs presiones medidas – sector Challuabamba.....	57

Tabla 3.10: Presiones calculadas con el Darwin Calibrator vs presiones medidas – sector Nulti Centro.	61
Tabla 3.11: Presiones calculadas con el Darwin Calibrator vs presiones medidas – sector El Plateado.	62
Tabla 3.12: Presiones calculadas con el Darwin Calibrator vs presiones medidas – sector Challuabamba.	62
Tabla 3.13: Diferencias y porcentajes de error de los métodos de calibración analizados del sector Nulti Centro.	63
Tabla 3.14: Resultados de los porcentajes de error de cada método para el sector Nulti Centro.	64
Tabla 3.15: Diferencias y porcentajes de error de los métodos de calibración analizados del sector El Plateado.	64
Tabla 3.16: Resultados de los porcentajes de error de cada método para el sector El Plateado.	65
Tabla 3.17: Diferencias y porcentajes de error de los métodos de calibración analizados del sector Challuabamba.	65
Tabla 3.18: Resultados de los porcentajes de error de cada método para el sector Challuabamba.	66
Tabla 3.19: Presiones en hora normal y en hora de máxima demanda – sector Nulti Centro.	70
Tabla 3.20: Presiones en hora normal y en hora de máxima demanda – sector El Plateado.	70
Tabla 3.21: Presiones en hora normal y en hora de máxima demanda – sector Challuabamba.	71
Tabla 3.22: Presiones – Nulti Centro.	79
Tabla 3.23: Presiones – El Plateado.	80
Tabla 3.24: Presiones - Challuabamba.	81
Tabla 3.25: Perdidas unitarias – sector Nulti Centro.	82
Tabla 3.26: Perdidas unitarias – sector El Plateado.	83
Tabla 3.27: Perdidas unitarias – sector Challuabamba.	84

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Estaciones reductoras de presión en estado inicial del sector Nulti Centro.	88
Anexo 2: Estaciones reductoras de presión modificado sus valores iniciales del sector Nulti Centro.	88
Anexo 3: Válvulas reguladoras de flujo agregadas en el sector Nulti Centro.	88
Anexo 4: Estaciones reductoras de presión en estado inicial - sector El Plateado. ..	88
Anexo 5: Estaciones reductoras de presión modificado sus valores iniciales - sector El Plateado.	89
Anexo 6: Estaciones reductoras de presión en estado inicial - sector Challuabamba	89
Anexo 7: Estaciones reductoras de presión modificados sus valores iniciales - sector Challuabamba.....	89
Anexo 8: Variación horaria de presión y demanda del punto 1 – Nulti Centro.....	90
Anexo 9: Variación horaria de presión y demanda del punto 2 – Nulti Centro.....	90
Anexo 10: Variación horaria de presión y demanda del punto 3 – Nulti Centro.....	91
Anexo 11: Variación horaria de presión y demanda del punto 4 – Nulti Centro.....	91
Anexo 12: Variación horaria de presión y demanda del punto 5 – Nulti Centro.....	92
Anexo 13: Variación horaria de presión y demanda del punto 6 – Nulti Centro.....	92
Anexo 14: Variación horaria de presión y demanda del punto 7 – Nulti Centro.....	92
Anexo 15: Variación horaria de presión y demanda del punto 1 – El Plateado.....	93
Anexo 16: Variación horaria de presión y demanda del punto 2 – El Plateado.....	94
Anexo 17: Variación horaria de presión y demanda del punto 3 – El Plateado.....	94
Anexo 18: Variación horaria de presión y demanda del punto 4 – El Plateado.....	95
Anexo 19: Variación horaria de presión y demanda del punto 5 – El Plateado.....	95
Anexo 20: Variación horaria de presión y demanda del punto 6 – El Plateado.....	96
Anexo 21: Variación horaria de presión y demanda del punto 7 – El Plateado.....	96
Anexo 22: Variación horaria de presión y demanda del punto 1 – Challuabamba... 97	97
Anexo 23: Variación horaria de presión y demanda del punto 2 – Challuabamba... 97	97
Anexo 24: Variación horaria de presión y demanda del punto 3 – Challuabamba... 98	98
Anexo 25: Variación horaria de presión y demanda del punto 4 – Challuabamba... 98	98
Anexo 26: Variación horaria de presión y demanda del punto 5 – Challuabamba... 99	99
Anexo 27: Variación horaria de presión y demanda del punto 6 – Challuabamba... 99	99
Anexo 28: Variación horaria de presión y demanda del punto 7 – Challuabamba. 100	100

ACTUALIZACIÓN DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA PARROQUIA NULTI, EN LOS SECTORES: NULTI CENTRO, CHALLUABAMBA Y SAÑ JUAN PAMBA

RESUMEN

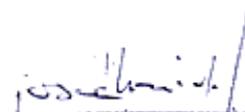
En el presente trabajo se realiza la actualización de los modelos hidráulicos de las redes de distribución de los sectores: Nulti Centro, Challuabamba y San Juan Pamba, pertenecientes a la parroquia Nulti. Se recopiló la información existente, se generaron los datos hidráulicos y se levantó información de campo sobre presiones de servicio, con el fin de calibrar los modelos elaborados. Finalmente se realizaron las valoraciones hidráulicas para diferentes escenarios presentando los resultados obtenidos de presiones, pérdidas unitarias, demandas, etc. A partir de los resultados obtenidos se muestran alternativas de mejoramiento en las redes existentes con el fin de incrementar su vida útil.

Palabras Clave: Modelación hidráulica, calibración, agua potable, redes de distribución, sistemas de agua potable.



José Vázquez Calero

Director de Escuela



Josué Bernardo Larriva Vázquez

Director de Tesis



Lisseth Cristina Román Marín

Autor



José Luis Muñoz Collaguazo

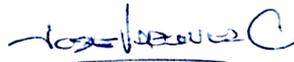
Autor

UPDATE OF THE HYDRAULIC MODELING OF THE POTABLE WATER DISTRIBUTION SYSTEMS OF THE NULTI PARISH IN THE NULTI CENTRO, CHALLUABAMBA AND SAN JUAN PAMBA SECTORS

ABSTRACT

In this work, the update of the hydraulic models of the distribution networks for the Nulti Centro, Challuabamba and San Juan Pamba sectors of the Nulti parish were developed. The existing information was collected, the hydraulic data were generated and field information on service pressures was collected in order to calibrate the models. Finally, hydraulic assessments were made for different scenarios presenting the results obtained from pressures, unit losses, demands, etc. Based on these results, improvement alternatives were shown in the existing networks to increase their useful life.

Keywords: Hydraulic modeling, calibration, drinking water, distribution networks, drinking water systems.



José Vázquez Calero

Faculty Director



Josué Bernardo Larriva Vázquez

Thesis Director



Lisseth Cristina Román Marín

Author



José Luis Muñoz Collaguazo

Author



Dpto. Idiomas



Ing. Paúl Arpi

Traductor

Román Marín Lisseth Cristina

Muñoz Collaguazo José Luis

Trabajo de Titulación

Dr. Josué Bernardo Larriva Vázquez

Septiembre, 2018

ACTUALIZACIÓN DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA PARROQUIA NULTI, EN LOS SECTORES: NULTI CENTRO, CHALLUABAMBA Y SAN JUAN PAMBA

INTRODUCCIÓN

Las redes de distribución de agua potable deben contar con un diseño acorde a los requerimientos de los diferentes sectores, con la finalidad de que sean abastecidos en condiciones de calidad y cantidad para el consumo de los habitantes. Para llevar a cabo esto, la actualización de datos se debe realizar dentro de un cierto periodo de tiempo debido a que el crecimiento poblacional se encuentra en función del tiempo, lo que exige a la empresa ETAPA-EP planificar de forma continua la modelación hidráulica.

Actualmente la red de distribución es diseñada mediante programas informáticos especializados basados en analogías físicas, métodos iterativos simples y complejos algoritmos matemáticos programados, que simulan el comportamiento hidráulico para llegar a la resolución de una serie de ecuaciones hidráulicas no lineales de presión y gasto a partir de criterios establecidos como velocidad, presión en tuberías, presión en nodos y gastos de demanda. De esta manera se obtiene mayor precisión en los resultados para el correcto funcionamiento de la red hidráulica y su respectivo mantenimiento.

La presente tesis pretende actualizar y calibrar el modelo hidráulico de los sectores Nulti Centro, Challuabamba y El Plateado, para ello es necesario conocer la información catastral, demográfica y topográfica del anterior y actual sistema de distribución, para que mediante la modelación hidráulica se pueda realizar una

evaluación del sistema en general, tratando de conseguir una representación en el modelo lo más real posible.

JUSTIFICACIÓN

Tomando en cuenta que el sistema de distribución de agua potable que se encuentra en funcionamiento fue diseñado en el 2003 y actualizado en el año 2015, existe la necesidad de que se actualicen los datos de la modelación hidráulica y se calibren las presiones en condiciones de flujo permanente y no permanente, debido a que se presentan nuevas condiciones hidráulicas por el crecimiento poblacional y por nuevas áreas de aporte. Por ejemplo, se puede dar que en ciertas zonas del sector se presenten presiones relativamente bajas, incluso negativas, debido a las pérdidas unitarias, o también se pueden presentar presiones excesivas. En general, por estas anomalías, la distribución del servicio puede no ser satisfactoria.

Con la modelación hidráulica se evaluará el funcionamiento del sistema, con un enfoque a la calibración del mismo. Se obtendrá el modelo hidráulico más aproximado a la realidad, con el que se pueda establecer políticas de operación que ayuden a mejorar el funcionamiento actual de la red.

ANTECEDENTES

Según datos extraídos de la OMS y el UNICEF, alrededor de 3 de cada 10 personas (2100 millones de personas) carecen de acceso a agua potable y disponible en el hogar, y 6 de cada 10 (4500 millones), carecen de un saneamiento seguro en todo el mundo. El agua salubre es un recurso primordial para la salud pública, ya sea que se utilice para uso doméstico, para producir alimentos o para fines recreativos (Organización Mundial de la Salud, 2017).

En el año de 1942 se emite la primera ordenanza que reglamenta el consumo de agua potable en la ciudad de Cuenca. Luego en el año de 1946, se emprende la construcción de la planta de agua potable ubicándose en el sector de El Cebollar, y en 1947 al presentarse problemas para mejorar el sistema de agua se crea el departamento municipal de agua potable (Almache, 2014).

Nulti es una parroquia rural del cantón Cuenca situada al nor-este de esta y ubicada a 2577 metros sobre el nivel del mar. El sistema encargado de distribuir agua potable a los sectores de Nulti Centro, Challuabamba y El Plateado de la parroquia Nulti, se denomina “Sistema Machángara”. Dentro y fuera de los sectores anteriormente mencionados, y como parte del sistema de distribución Machángara, existen varios tanques de almacenamiento de agua, encargados de distribuir este líquido a la superficie de análisis de 22,59 km².

La planta de Tixán es abastecida por el río Machángara que se encarga de suministrar agua a varios sectores de la ciudad de Cuenca, uno de estos es la parroquia Nulti la cual según el Ing. Patricio Miller en la revista Cuenca ilustre, en el año 2012 disponía de únicamente un servicio de agua potable del 30%. En la actualidad se han realizado varios convenios con ETAPA para proyectos de abastecimiento de agua potable para los diferentes sectores de esta parroquia (Miller, 2012).

En los sectores de análisis de la parroquia Nulti existe un crecimiento poblacional considerable, por lo que la empresa ETAPA-EP ha venido trabajando en proyectos para mejorar el abastecimiento de agua a estos sectores. En el presente proyecto se utilizarán algoritmos genéticos basados en la ley natural de Darwin, del año de 1859, la cual provee una nueva herramienta en el campo de la informática que ayuda a resolver problemas de optimización.

ALCANCE

- Obtener todos los datos hidráulicos necesarios.
- Evaluar las condiciones actuales del sistema de distribución de agua potable.
- Elaborar simulaciones en diferentes escenarios de modelos hidráulicos para la parroquia Nulti (Sectores: Nulti Centro, Challuabamba, El plateado), y determinar las posibles falencias en la actualidad con el propósito de que el servicio pueda ser mejorado.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Realizar la actualización y la calibración de la modelación hidráulica de los sistemas de distribución y abastecimiento de agua potable de los sectores: Nulti Centro, Challuabamba y El Plateado, pertenecientes a la parroquia Nulti.

Objetivos específicos:

- Recopilar información topográfica, catastral, demográfica, e hidráulica del actual sistema de distribución de agua potable.
- Elaborar los diferentes modelos hidráulicos para realizar la calibración del sistema de abastecimiento rural de la parroquia Nulti, en los sectores: Nulti Centro, Challuabamba, El Plateado.
- Realizar, analizar y comparar los diferentes escenarios.

CAPITULO 1

1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

1.1 Recopilación de información topográfica, demográfica y catastral

Para realizar una adecuada optimización del diseño del sistema de distribución de agua potable, es importante y necesario realizar una recopilación y un análisis de la información de sectorización, información catastral, demográfica e hidráulica con la que ha estado funcionando el sistema de redes de abastecimiento que se pretende actualizar.

Hasta la fecha actual los modelos hidráulicos se encontraban funcionando en base a las áreas de sectorización del año 2015, las cuales se pueden apreciar en la figura 1.1:

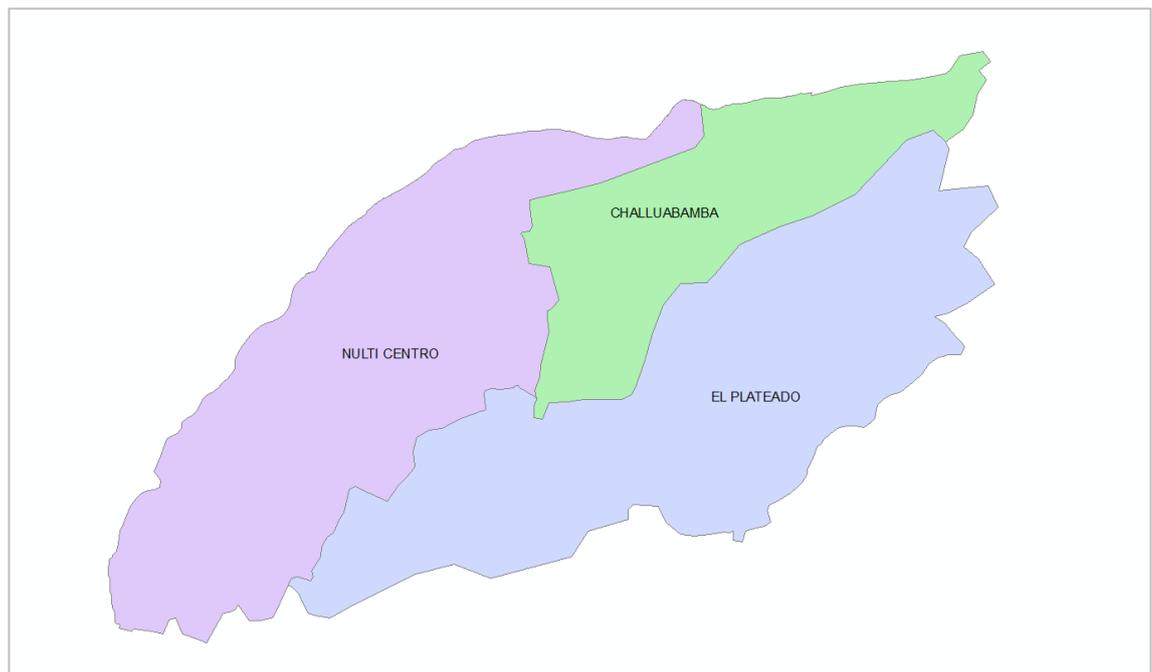


Figura 1.1: Sectorizaciones del sistema del año 2015 - Nulti Centro, El Plateado y Challuabamba.

Fuente: ETAPA-EP

Las áreas que representaban cada uno de los sectores eran las mostradas en la tabla 1.1:

Tabla 1.1: Áreas del sistema del 2015.

SECTORES	Nulti Centro	El Plateado	Challuabamba
Área (Ha)	826.155	890.909	435.608

Fuente: ETAPA-EP

Por otra parte, se obtuvieron las sectorizaciones del año 2018 de Nulti Centro, El Plateado y Challuabamba, presentándose las áreas actuales de los respectivos sectores como se puede observar en la figura 1.2

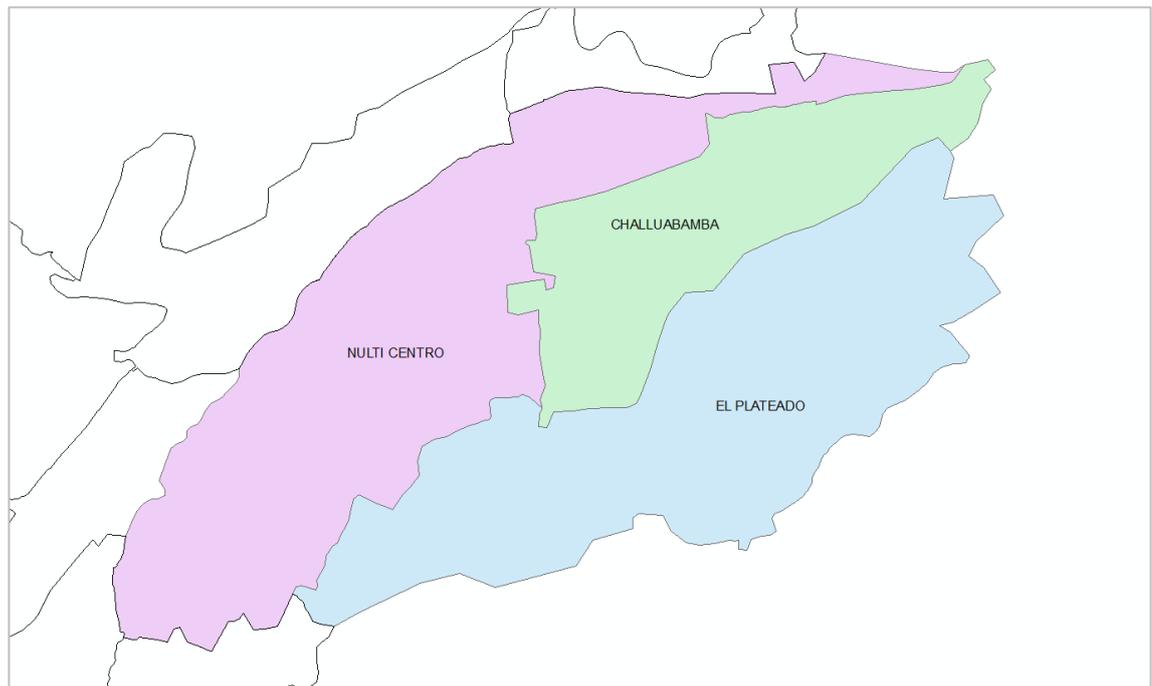


Figura 1.2: Sectorización del año 2018 de Nulti Centro, El Plateado y Challuabamba.

Fuente: ETAPA-EP

Las áreas que representan las sectorizaciones del año 2018 son las mostradas en la tabla 1.2:

Tabla 1.2: Áreas del sistema actual - año 2018.

SECTORES	Nulti Centro	El Plateado	Challuabamba
Área (Ha)	916.411	891.225	452.277

Fuente: ETAPA-EP

1.1.1 Información topográfica

El objetivo de la topografía es determinar la dimensión y posición relativa de una porción de terreno. Para la modelación hidráulica es importante conocer esta información, pues, durante el análisis de la red esto permitirá determinar la posición de los nodos y pendiente de cada una de las tuberías que conforman el sistema de agua potable y de manera consecuente conocer las direcciones del flujo de agua, velocidades, presiones, y caudales.

Para un sistema de abastecimiento en un sector, la circulación del agua en las tuberías debe inclinarse lo máximo posible al ser por gravedad, dependiendo del diseño de la red, la correcta ubicación de tanques o reservorios y de las pendientes que se puedan alcanzar de acuerdo a la topografía del lugar. En nuestro medio, debido a la topografía local, se puede alcanzar este objetivo y trabajar con flujo a gravedad.

La información topográfica de los diferentes sectores Nulti Centro, San Juan Pamba (El plateado) y Challuabamba, ha sido proporcionada por parte de ETAPA EP como se indican en las siguientes figuras.

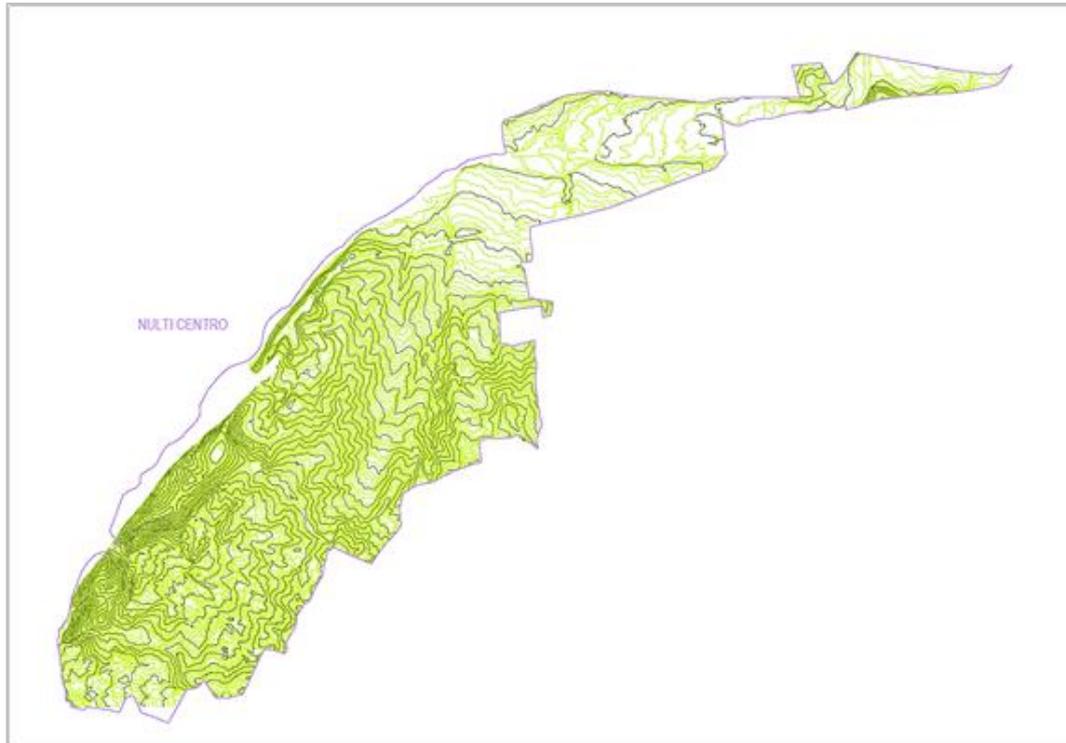


Figura 1.3: Topografía del sector Nulti Centro.

Fuente: ETAPA-EP

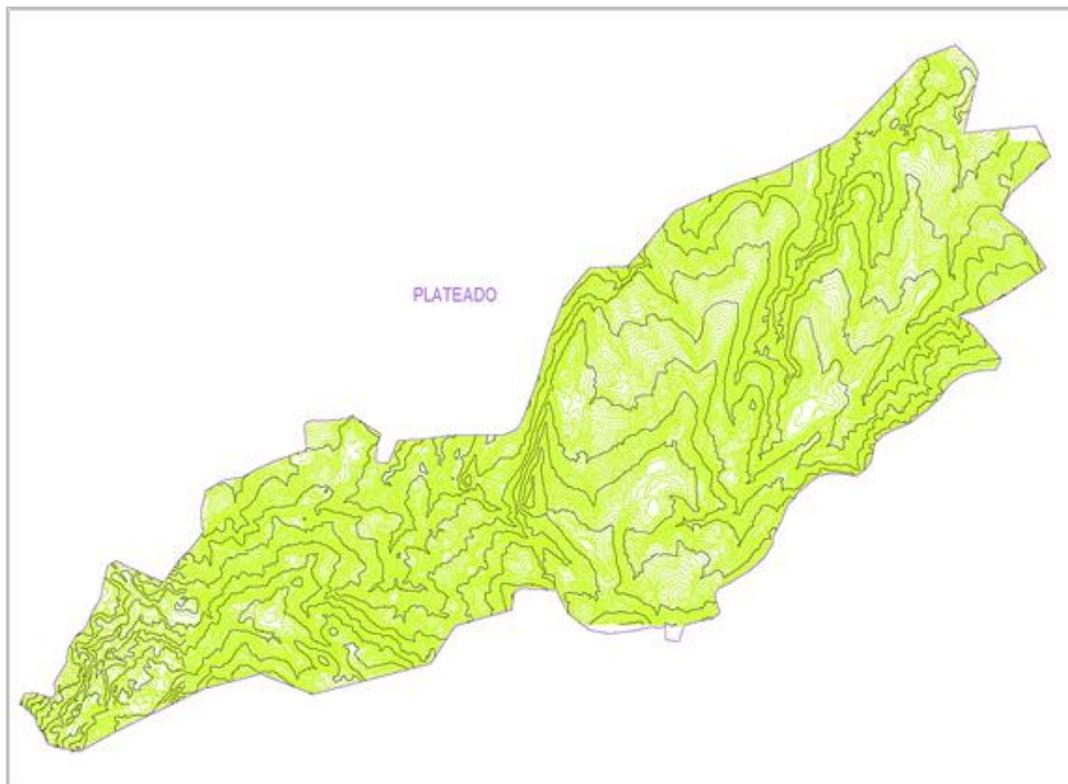


Figura 1.4: Topografía del sector San Juan Pamba (El Plateado).

Fuente: ETAPA-EP

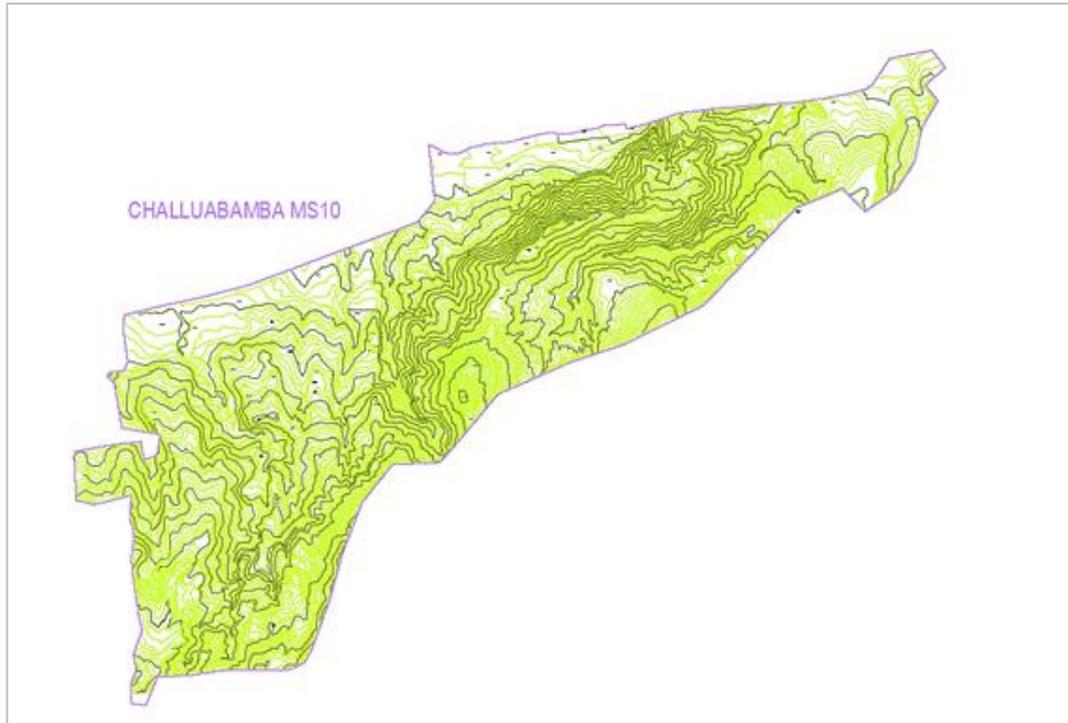


Figura 1.5: Topografía del sector Challuabamba.

Fuente: ETAPA-EP

La topografía presentada en las figuras 1.3, 1.4, 1.5 se encuentra delimitada por las sectorizaciones actuales (año 2018) de Nulti Centro, El Plateado y Challuabamba, con las cuales se proyectarán los nodos y los elementos hidráulicos en las distintas elevaciones para proceder con una adecuada actualización de la modelación hidráulica en los sectores en cuestión.

1.1.2 Información demográfica

La información demográfica es de suma importancia dentro de una modelación hidráulica por cuanto se requiere conocer la población a la cual abastecerá el sistema de agua potable.

Es necesario conocer la población actual y contrastarla con los datos de población de cuando se realizó la última actualización del sistema de agua potable en los sectores en cuestión. Además, será necesario realizar proyecciones de población para años posteriores en base a información demográfica, para que el sistema de agua potable

que será actualizado pueda cumplir las necesidades de los usuarios durante el período de diseño del sistema de abastecimiento.

La información demográfica se conoce en base a la información obtenida durante los censos, sin embargo, existe una tasa de crecimiento de población que es variable en el tiempo.

La figura 1.6 representa un documento SHP (proporcionado por la empresa ETAPA EP) de las densidades poblacionales del cantón Cuenca que se encuentra dividido en áreas de acuerdo a las parroquias. Este documento cuenta con valores de densidades poblacionales de Nulti Centro, El Plateado y Challuabamba hasta el año 2040 y se utilizará para el cálculo de las poblaciones proyectadas.

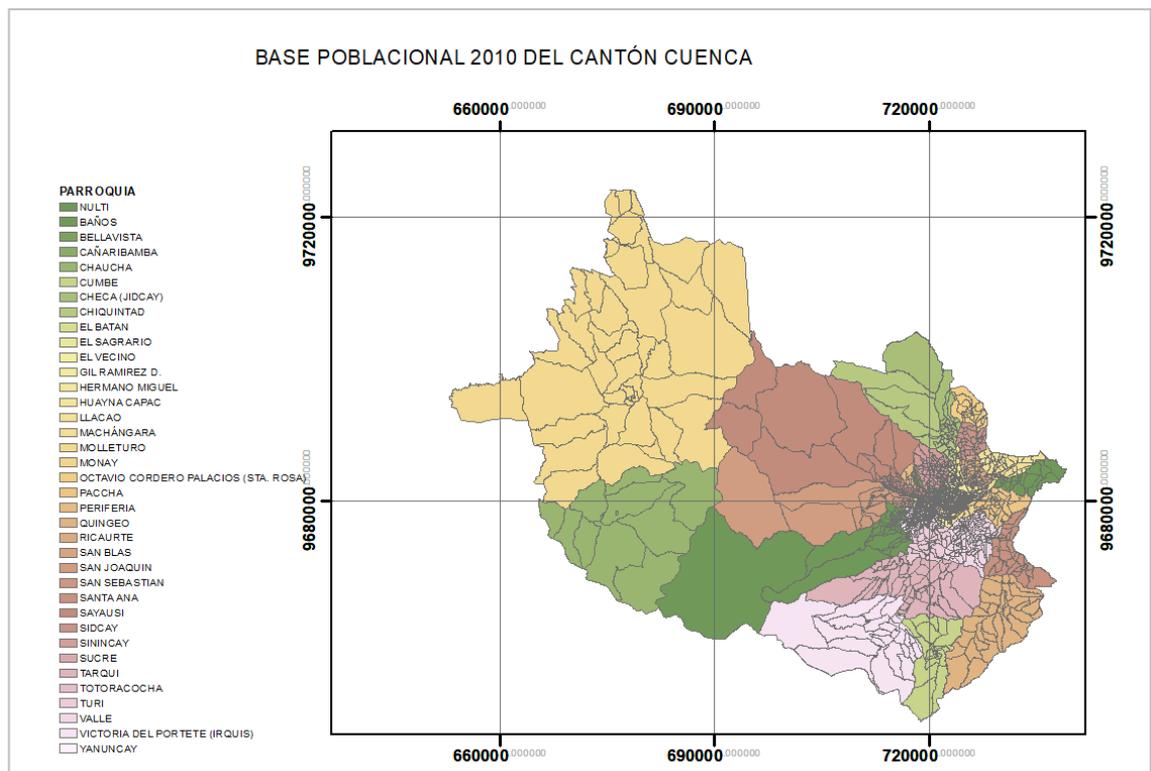


Figura 1.6: Base poblacional 2010 del Cantón Cuenca.

Fuente: ETAPA-EP

Para llegar a determinar una densidad poblacional, se puede usar la siguiente expresión:

$$Densidad\ poblacional = \frac{Población}{Área} = \frac{hab}{Ha} \quad (Ecuación\ 1)$$

Sin embargo, como ya se mencionó anteriormente, en este caso se cuenta con las densidades poblacionales y con el valor de área total de los diferentes sectores; por lo tanto, se procede a calcular las poblaciones proyectadas despejando el valor “Población” de la Ecuación 1.

Las poblaciones proyectadas se presentan a continuación en la tabla 1.3 para los diferentes sectores y para los diferentes años para los cuales se planteó este proyecto.

Tabla 1.3: Poblaciones proyectadas.

SECTORES	Población proyectada 2018	Población proyectada 2025	Población proyectada 2030
EL PLATEADO	1485	1750	1938
CHALLUABAMBA	2543	3111	3517
NULTI CENTRO	4528	5408	6047

Fuente: Autor

1.1.3 Información catastral

Las bases de información catastral son registros en los cuales constan documentos y datos correspondientes a infraestructura existente como redes de agua potable, alcantarillado, energía eléctrica, telefonía, entre otros. Estos datos son administrados por empresas privadas o instituciones públicas. Para la ciudad de Cuenca, la información catastral de los sistemas de agua potable, alcantarillado y telefonía fija, es administrada por ETAPA EP.

Para este proyecto, se ha de recopilar y trabajar únicamente con información catastral de redes de agua potable. La figura 1.7 presentada a continuación muestra la

simbología de las tuberías de acuerdo a las características de las mismas y al formato de catastros de agua potable sugerido por ETAPA EP.



Figura 1.7: Simbología de tuberías de distribución de agua potable.

Fuente: Formato catastro de agua potable y alcantarillado ETAPA EP.

De manera análoga, se presenta la simbología (figura 1.8) para cada uno de los accesorios que se pueden encontrar dentro de la red de agua potable según el formato de catastros de ETAPA EP.

<i>SIMBOLOGIA</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
	<i>REDUCTOR</i>
	<i>VALVULA DE CONTROL</i>
	<i>VALVULA DE AIRE</i>
	<i>VALVULA DE PURGA</i>
	<i>VALVULA DE OPERACION</i>
	<i>V. REDUCTORA DE PRESION</i>
	<i>TANQUE ROMPEPRESION</i>
	<i>TAPON</i>
	<i>UNION</i>
	<i>COLLARIN</i>
	<i>MEDIDOR</i>
	<i>HIDRANTE</i>
	<i>CAPTACION</i>
	<i>PLANTA DE TRATAMEINTO DE AGUA POTABLE</i>
	<i>TANQUE DE RESERVA</i>

Figura 1.8: Simbología de elementos hidráulicos.

Fuente: Formato catastro de agua potable y alcantarillado ETAPA EP.

1.1.3.1 Información catastral actual

Para poder proceder con la información catastral actualizada de cada sector, es importante indicar los límites de servicio de la red de agua potable de la Ciudad de Cuenca, así como los sectores de distribución que a la fecha se encuentran actualizados en el departamento de catastros de ETAPA EP.

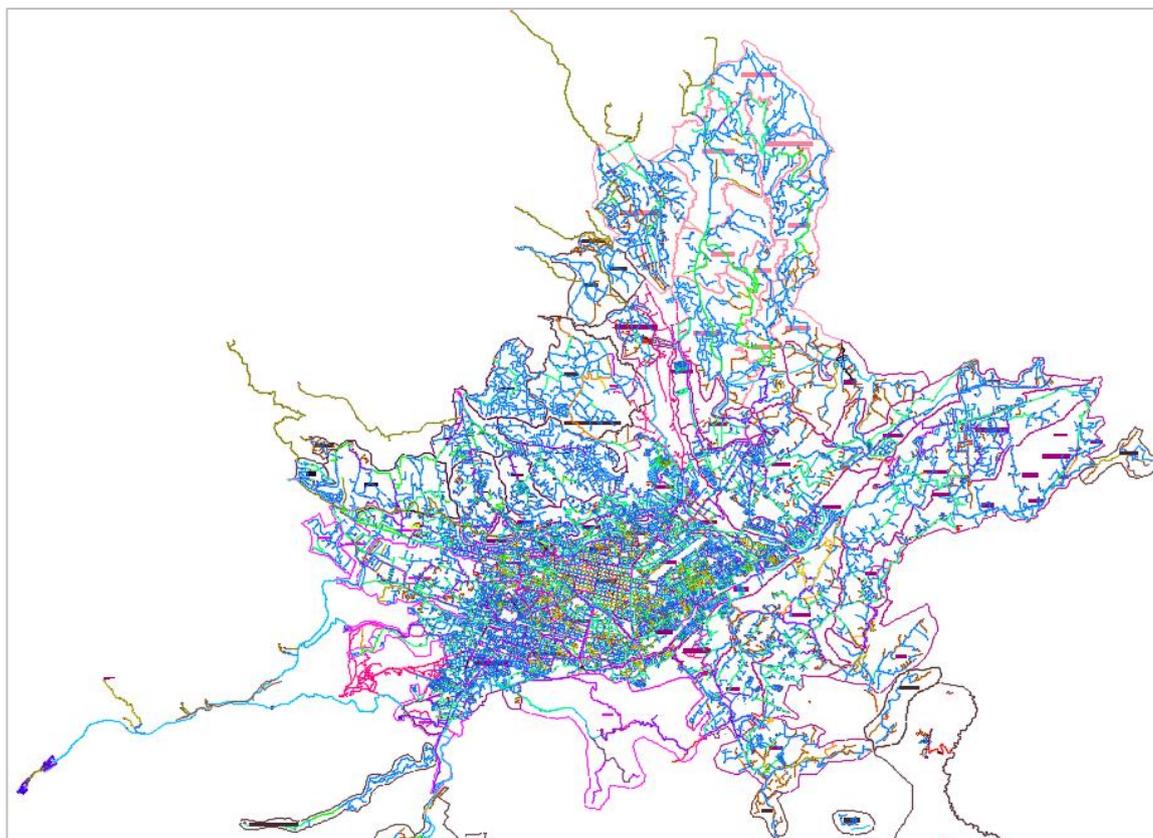


Figura 1.9: Catastro actualizado de agua potable de la ciudad de Cuenca.

Fuente: ETAPA-EP

A partir de la actual sectorización y en conjunto con la información catastral actualizada, se establece y se fijan los diferentes elementos hidráulicos en su respectivo sector, obteniendo los catastros actualizados de Nulti Centro, El Plateado y Challuabamba, que se presentan en las siguientes figuras:

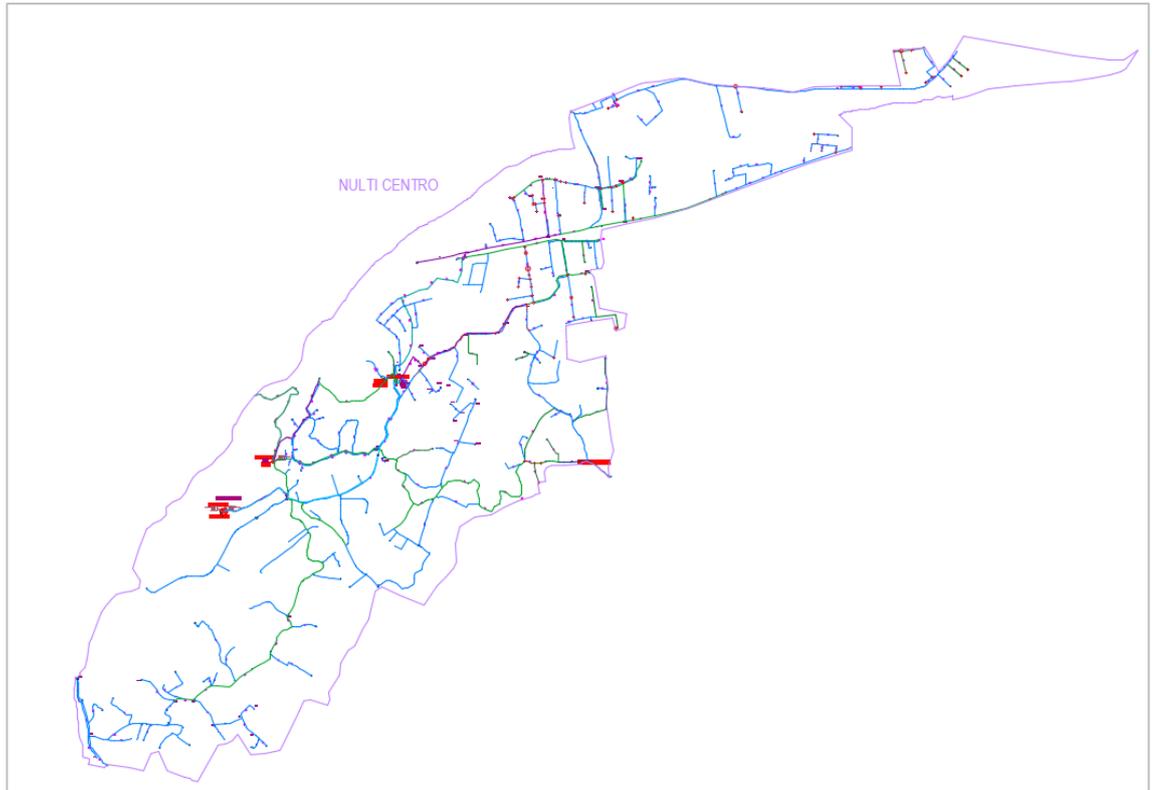


Figura 1.10: Catastro del año 2018 de redes de distribución de agua potable del sector El Plateado.

Fuente: ETAPA-EP

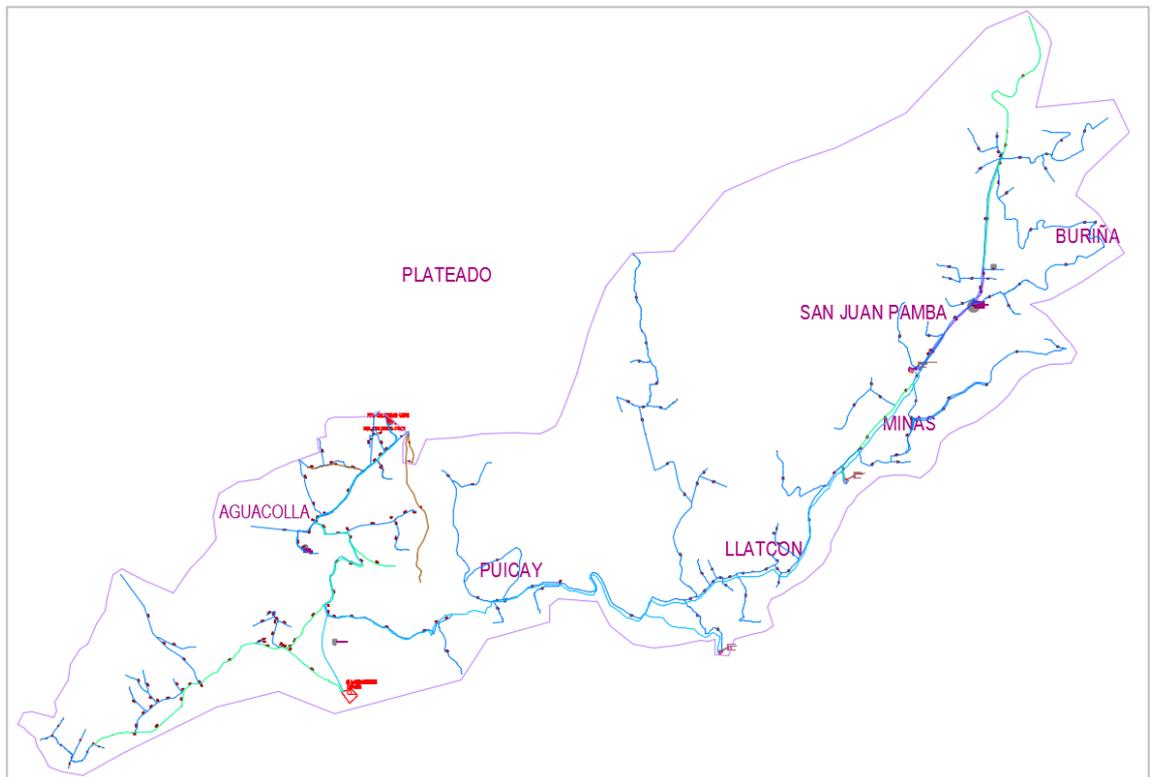


Figura 1.11: Catastro del año 2018 de redes de distribución de agua potable del sector El Plateado.

Fuente: ETAPA-EP

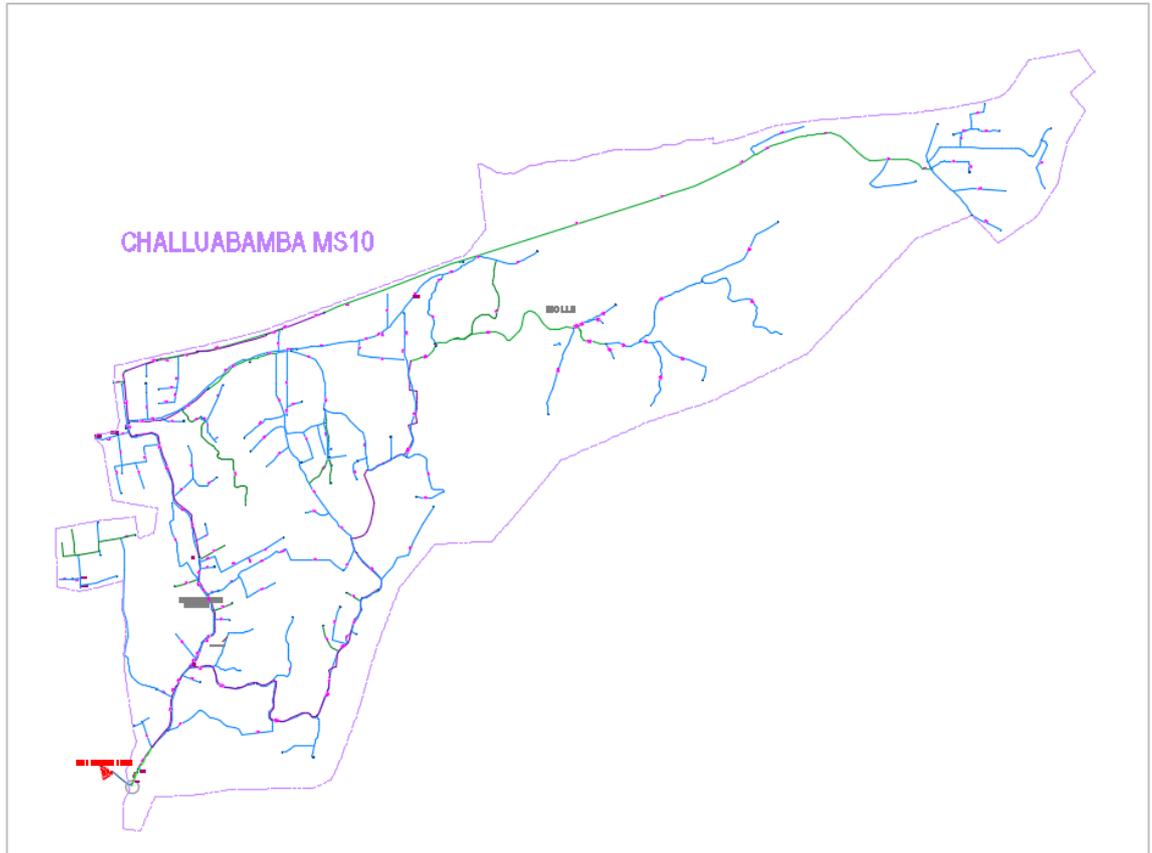


Figura 1.12: Catastro del año 2018 de redes de distribución de agua potable del sector Challuabamba.

Fuente: ETAPA-EP

Lo que se puede resaltar dentro de los catastros de agua potable actualizados, es que existen nuevas redes de tuberías con respecto al antiguo. Además, se han introducido a los diferentes sistemas nuevos elementos hidráulicos, así como se han removido otros.

1.2 Recopilación de información hidráulica

A continuación, se presentan los límites de servicio territoriales originales (figura 1.13) y actualizados (figura 1.14) de los sectores Nulti, Challuabamba y El Plateado.

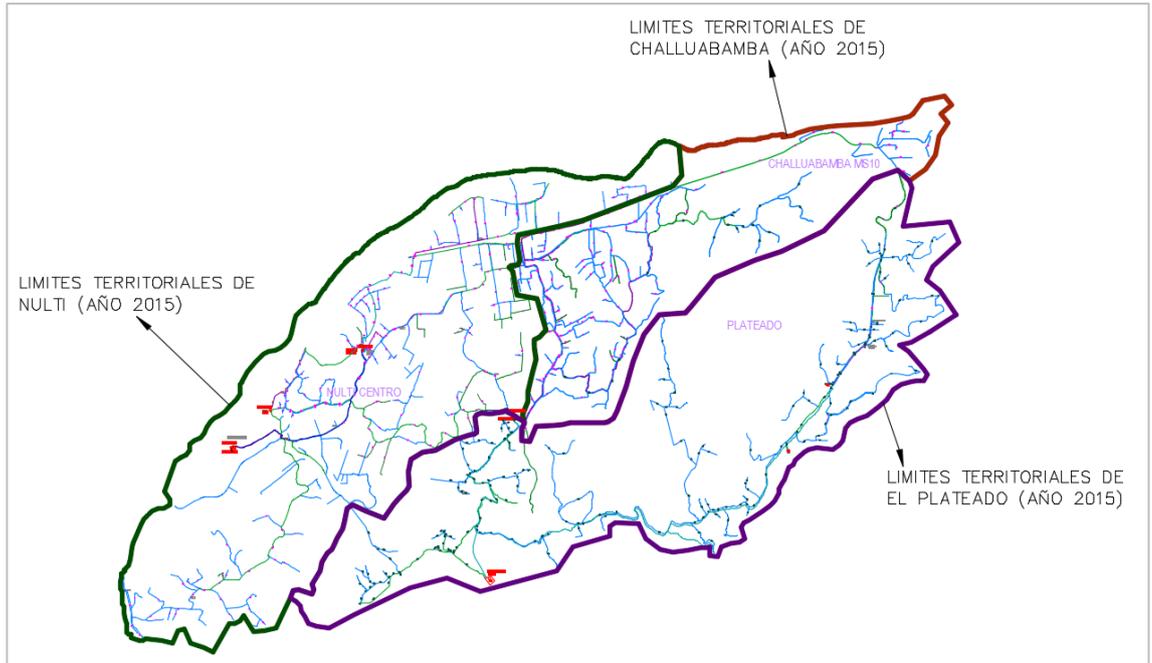


Figura 1.13: Límites de servicio territoriales al año 2015.

Fuente: ETAPA-EP

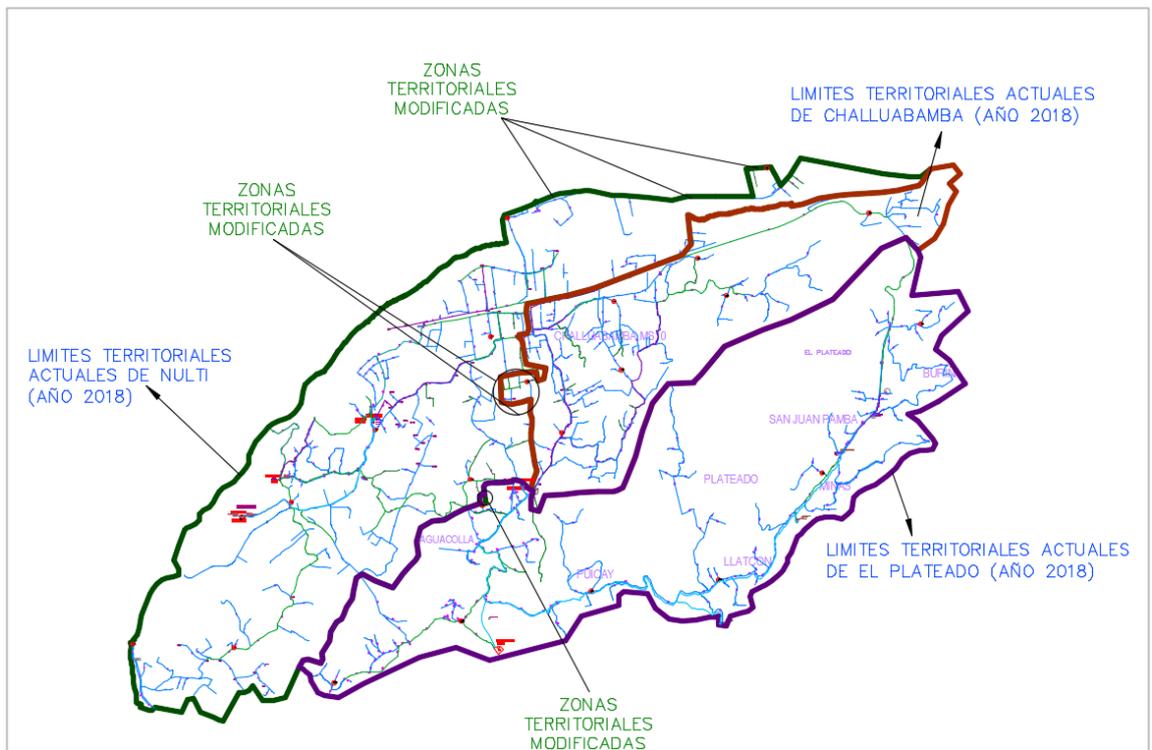


Figura 1.14: Límites de servicio territoriales del sistema actual (año 2018).

Fuente: ETAPA-EP

En las figuras 1.15, 1.16, 1.17 se observan los puntos de abastecimiento actuales para cada uno de los sectores de análisis. También se tomará en cuenta que las redes de distribución de cada sector mantienen contacto con ramales de otros sistemas aledaños que abastecen a pequeños puntos dado el caso de Nulti.



Figura 1.15: Límites de servicio y puntos de abastecimiento actuales (año 2018) del sector Challuabamba.

Fuente: ETAPA-EP



Figura 1.16: Límites de servicio y puntos de abastecimiento actuales (año 2018) del sector San Juan Pamba (El Plateado).

Fuente: ETAPA-EP

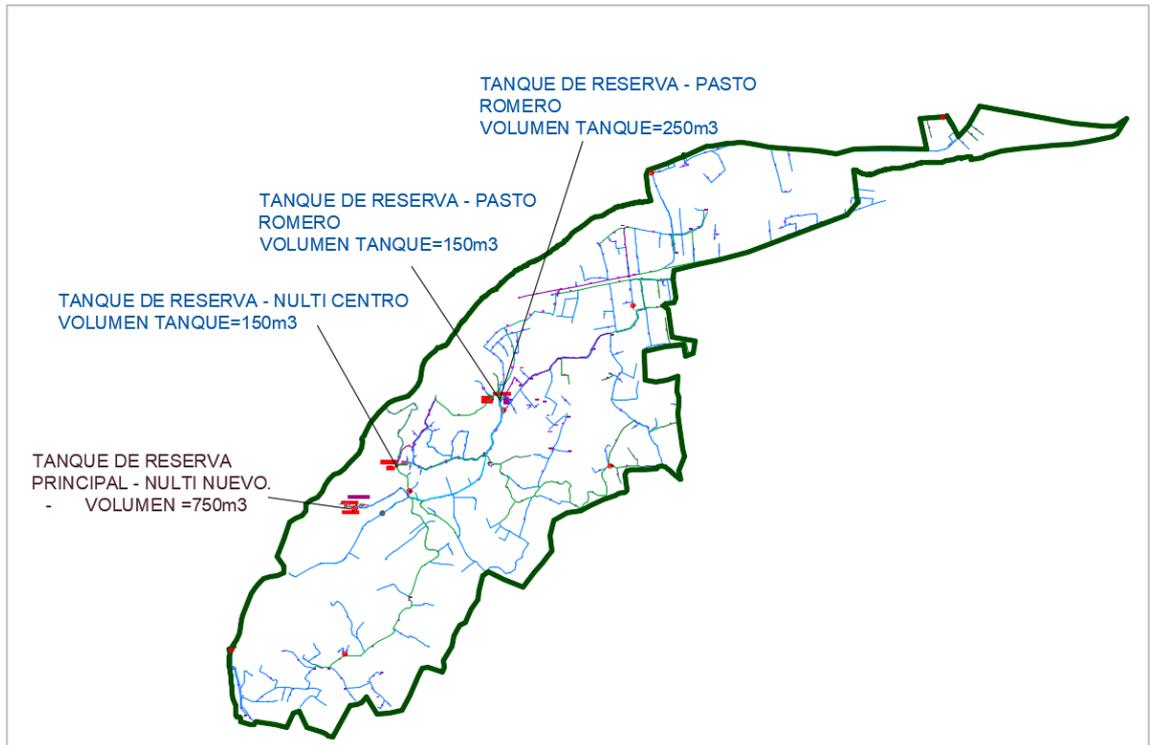


Figura 1.17: Límites de servicio y puntos de abastecimiento actuales (año 2018) del sector Nulti Centro.

Fuente: ETAPA-EP

1.3 Programas aplicados para el tratamiento de la información

AutoCAD Map en conjunto con AutoCAD Civil 3D, ArcMap y WaterGEMS, son las aplicaciones que se utilizarán para llevar a cabo el análisis de la modelación hidráulica.

1.3.1 AutoCAD civil 3D – AutoCAD Map

Uno de los softwares más utilizados y esenciales para el análisis y documentación de proyectos de Ingeniería Civil es AutoCAD civil 3D, en el cual la funcionalidad topográfica automatiza varias tareas, además en la rama de la hidráulica se puede trazar y completar el borrador final de la red de tuberías en vistas de planta, perfil y sección, haciendo posible de esta manera detectar interferencias en las redes de tuberías. Cuenta con otras funciones como composición de parcelas, modelado de obra lineal, cálculo de movimientos de tierras, herramientas específicas para el diseño de carreteras y autopistas, etc. (Otter, 2010)

Cabe recalcar que el AutoCAD Map es un conjunto de herramientas incorporadas en AutoCAD civil 3D que se aproxima a los sistemas de información geográfica (SIG), el cual tiene como principal función exportar datos CAD a GIS, generando archivos SHP, los cuales serán necesarios para el desarrollo de la tesis.

1.3.2 ArcMap

ArcMap, es la aplicación central utilizada en ArcGIS. En esta aplicación se visualiza y explora los datos SIG de su área de estudio, donde asigna símbolos y crea los diseños de mapa para su publicación e impresión. ArcMap representa la información geográfica como una colección de capas y otros elementos en un mapa. Los elementos de mapa comunes son el marco de datos que contiene las capas de mapa para una extensión determinada, más la barra de escala, la flecha de norte, el título, texto descriptivo, una leyenda de símbolos, etc. (ESRI, 2016).

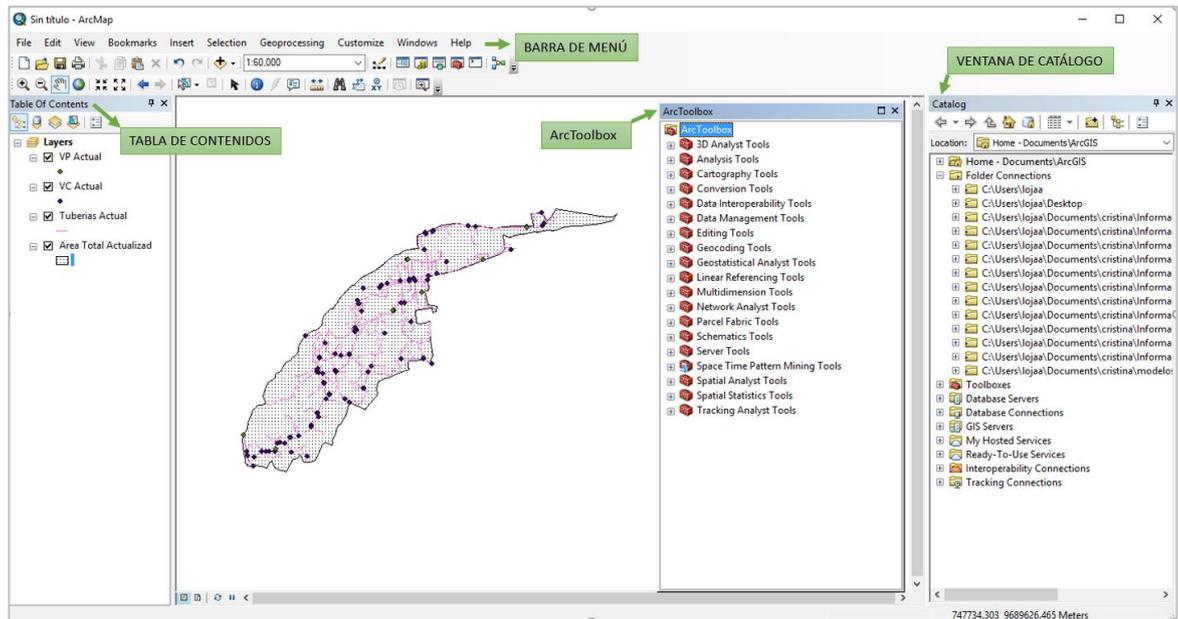


Figura 1.18: Interfaz ArcMap.

Fuente: Autor

1.3.3 WaterGEMS

WaterGEMS es una herramienta de ayuda para la toma de decisiones completa y fácil de usar para los profesionales del agua que diseñan, planifican y operan sistemas de distribución de agua. El software le ayuda a mejorar su conocimiento acerca del comportamiento de la infraestructura como un sistema, la forma en que reacciona ante las estrategias operativas y cómo debe crecer a medida que aumenta la población y las demandas. (Bantley Systems Incorporated, 2017)

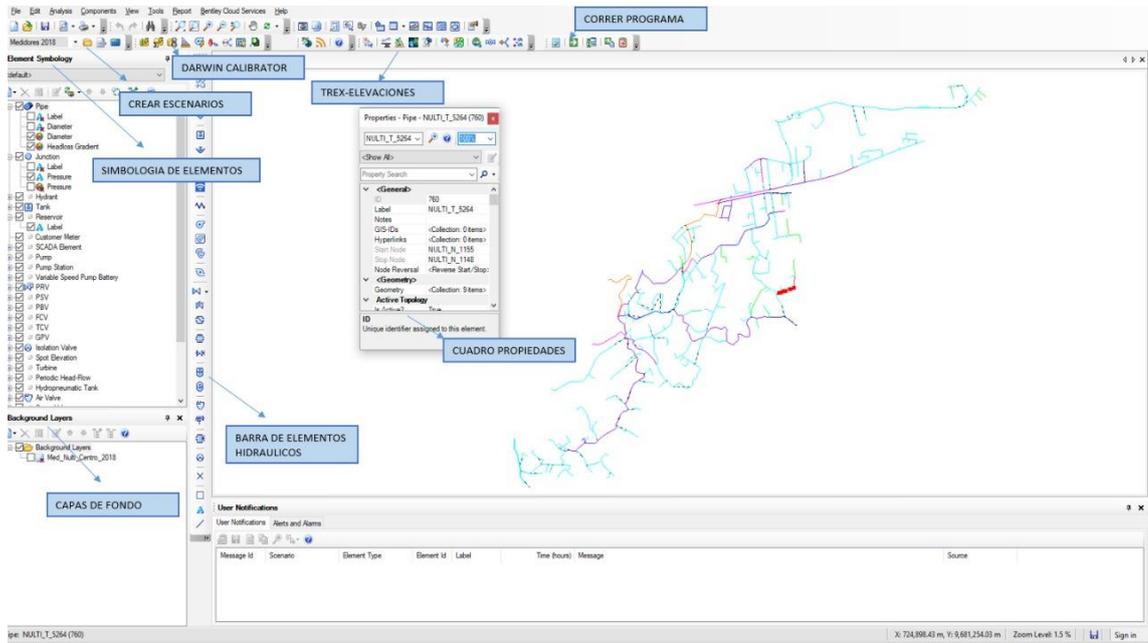


Figura 1.19: Pantalla del programa WaterGEMS.

Fuente: Autor

WaterGEMS proporciona numerosas herramientas de software para:

- Planificación inteligente para la fiabilidad del sistema
- Operaciones optimizadas para la eficiencia del sistema
- Soporte fiable a las decisiones sobre renovaciones de activos para la sustentabilidad del sistema

CAPITULO 2

2. ELABORACIÓN DE MODELOS HIDRÁULICOS

Se ha determinado que la actualización de datos de la parroquia Nulti, se la realizará mediante el software WaterGEMS, y su objetivo es llegar al modelo más aproximado a la realidad para, en un futuro poder llegar a tomar decisiones que ayuden al mejor funcionamiento de la red.

2.1 Información de tuberías, nodos y asignación de propiedades

Entre los elementos hidráulicos que se encuentran en la red de distribución de agua potable de los sectores Nulti centro, El Plateado y Challuabamba son: tanques de almacenamiento, reductores de diámetro, tapones, uniones, válvulas de control, válvulas de operación, válvulas de aire, válvulas de purga, estaciones reductoras de presión y tuberías.

Para determinar la cantidad total de accesorios dentro de cada sistema, se ha realizado un conteo de todos los elementos anteriormente mencionados y se los presenta en la siguiente tabla:

Tabla 2.1: Cantidad de elementos hidráulicos.

SECTORES	NULTI CENTRO	EL PLATEADO	CHALLUABAMBA
Válvulas de control	104	36	41
Válvulas de operación	5	5	0
Válvulas de aire	14	17	3
Válvulas de purga	7	12	4
Estaciones reductoras de presión	8	16	5
TOTAL	138	86	53

Fuente: Autor

Para el caso de las tuberías se ha determinado la longitud total de las mismas que cubren cada sector, distinguiendo la longitud por cada diámetro y material.

Tabla 2.2: Longitud de tuberías.

SECTORES	NULTI CENTRO	EL PLATEADO	CHALLUABAMBA
32 mm PVC	2556.07	1490.86	2433.93
50 mm PVC	888.97	0	0
63 mm PVC	38916.33	29691.02	23473.18
90 mm PVC	196.44	0	0
110 mm PVC	10040.71	5736.84	4511.57
160 mm PVC	3404.14	745.62	4957.39
200 mm PVC	2259.56	0	0
250 mm PVC	0	0	128.25
TOTAL (m)	58262.22	37664.34	35504.31
TOTAL (km)	58.262	37.664	35.504

Fuente: Autor

Antes de realizar la modelación hidráulica es necesario revisar en el catastro que los elementos hidráulicos tengan asignados cada una de sus propiedades, es decir, que las válvulas, tuberías y las estaciones reductoras de presión tengan todos los datos necesarios. Además, se debe verificar que todas las tuberías y demás accesorios se encuentren conectados a la red, pues si no lo están causará problemas durante la modelación o el modelo se alejará de la realidad.

2.1.1 Tanque de almacenamiento

“Depósito cerrado en el cual se mantiene una provisión de agua suficiente para cubrir las variaciones horarias de consumo, la demanda para combatir incendios y la demanda de agua durante emergencias” (Código Ecuatoriano de la Construcción, 1992).

2.1.2 Válvulas de control

Son elementos que controlan y regulan distintos parámetros de operación en redes de agua y demás fluidos. Las válvulas de control hidráulico operan en general de forma libre, aunque también pueden ser comandadas a distancia utilizando la energía del sistema para modular, abrir o cerrar (Ingeniería De Fluidos, 2016).

2.1.3 Válvulas de aire

Son válvulas que durante el proceso de llenado y vaciado de una tubería permiten la expulsión o admisión de aire, de funcionamiento automático. Deben ubicarse en los puntos altos de los conductos siempre que la presión en dicho punto no sea muy alta o menor que la presión atmosférica (Greene, 2014).

Estas válvulas tienen varias funciones:

- Expeler el aire de adentro de la tubería durante su llenado.
- Expulsar el aire que tiende a acumularse en los puntos más altos.
- Admitir aire en el caso de operación de una válvula de purga que pueden crear presiones negativas en la tubería.
- Expulsar el aire del interior de la tubería o permitir que entre desde el exterior.
- Extraer el aire de las conducciones e impedir su entrada.
- Permitir la entrada de aire del exterior a las conducciones, pero evita su expulsión.

2.1.4 Válvulas de purga

Las válvulas de purga se dimensionarán de acuerdo a la velocidad de drenaje, se recomienda que su diámetro sea menor que el diámetro de la tubería y su instalación se la debe realizar en la cota más baja y en cámaras seguras que permitan su cómoda operación y mantenimiento, además se debe tomar en cuenta la calidad del agua a conducirse y la modalidad de funcionamiento de la línea (NORMA - OS. 010, 2006).

2.1.5 Estaciones reductoras de presión

Se emplea generalmente para abastecer de agua a zonas bajas de servicio y proteger tuberías, teniendo como objetivo reducir la presión aguas arriba a una presión prefijada aguas abajo, independientemente de los cambios de presión y consumos. Algunas de ventajas de las estaciones reductoras de presión son que se ajustan a las condiciones de la tubería, evita el contacto directo del agua con la atmósfera, reduciendo el riesgo de contaminación del agua y pueden tener un control local o periódico. Sin embargo, las estaciones reductoras tienen mecanismos más complejos que requieren de un mejor mantenimiento y de una calibración periódica (Comisión Nacional del Agua , 2007).

2.1.6 Válvulas reguladoras de caudal

Las válvulas reguladoras de flujo o caudal, también llamadas válvulas limitadoras de caudal, regulan a un caudal fijo, independientemente de la variación de las presiones de trabajo y caudales de inicio. Previene, por ejemplo, el funcionamiento de bombas o tanques a un rendimiento demasiado elevado o regula el rendimiento de todos los sistemas e instalaciones (Honeywell, 2013).

2.1.7 Tuberías

Es un conjunto de tubos y accesorios unidos por una serie de puntos para formar una red de distribución de agua, sin las cuales no sería posible hacer llegar el agua a los distintos usos como pueden ser: doméstico, industrial, riego de parques y jardines, limpieza de calles, incendios, etc. Los materiales de las tuberías del sistema de distribución pueden ser de diferentes materiales como PVC, hierro dúctil, entre otros y sus diámetros son comerciales (Gallego, 2014).

2.1.8 Nodos

Son puntos en donde concurren dos o más tuberías o en donde termina la misma. En condiciones de simulación hidráulica en estado permanente, generalmente los nodos requieren dos datos: la cota de terreno y la demanda y si es el caso, el tipo de consumo, la conectividad a la red, el sector de consumo al que pertenece, los niveles de fugas en la zona de influencia del punto, los usuarios o el número de viviendas que se abastecen del nodo y el tipo de suministro. Para las simulaciones en períodos extendidos se requiere, además, la curva de la variación de la demanda (Comisión Nacional del Agua, 2016).

2.2 Determinación de caudales

Luego de haber revisado y corregido las propiedades de la información catastral de los elementos hidráulicos se procede con los cálculos de los caudales de la parroquia Nulti, los cuales se realizan mediante el software ArcMap.

2.2.1 Caudales en los sectores Challuabamba y Nulti Centro

Para la determinación de caudales la empresa ETAPA EP ha facilitado los datos de los usuarios (medidores) de los sistemas antiguos y actuales, mediante un archivo SHP de ArcGis, de los sectores Nulti y Challuabamba, en donde se registran datos de los consumos y con los cuales se procede a realizar el cálculo de los caudales de los dos sectores. No se tiene un registro de medidores para el sector El Plateado por ello se trabaja con áreas de aporte para el cálculo de caudales.

Es evidente que, por el crecimiento poblacional, la cantidad de medidores aumentará y por lo tanto el caudal. En las siguientes imágenes se muestra el incremento de medidores del sistema actual con respecto al sistema antiguo.

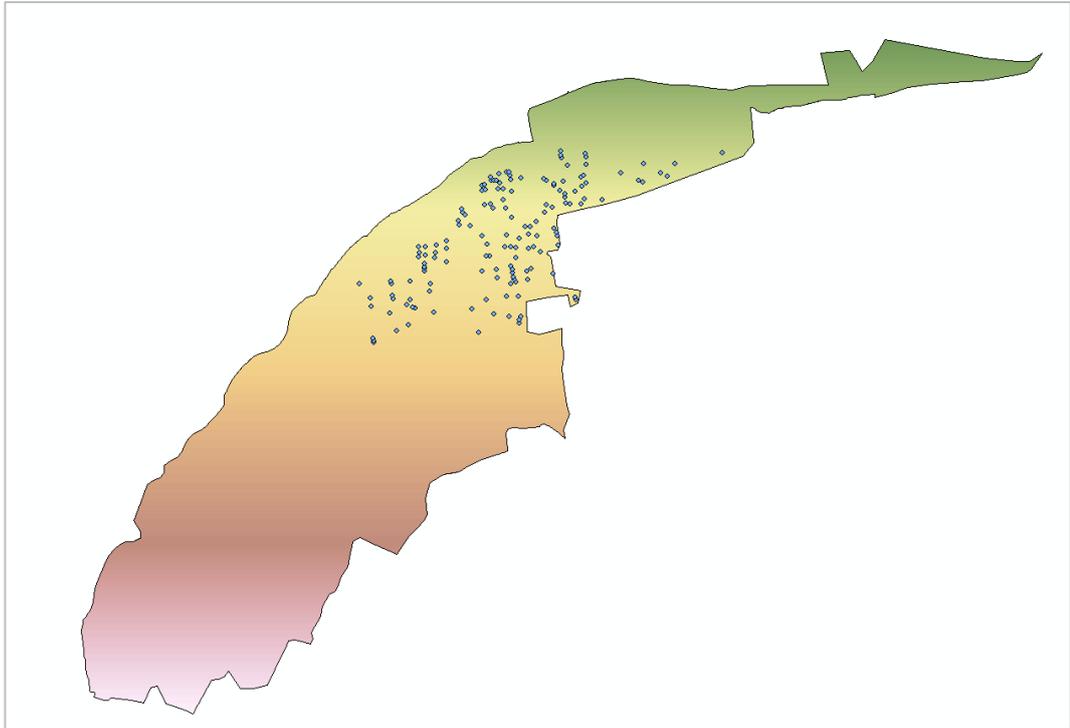


Figura 2.1: Registro de medidores - sistema del año 2015 del sector Nulti Centro.

Fuente: ETAPA-EP



Figura 2.2: Registro de medidores – sistema del año 2018 del sector Nulti Centro.

Fuente: ETAPA-EP

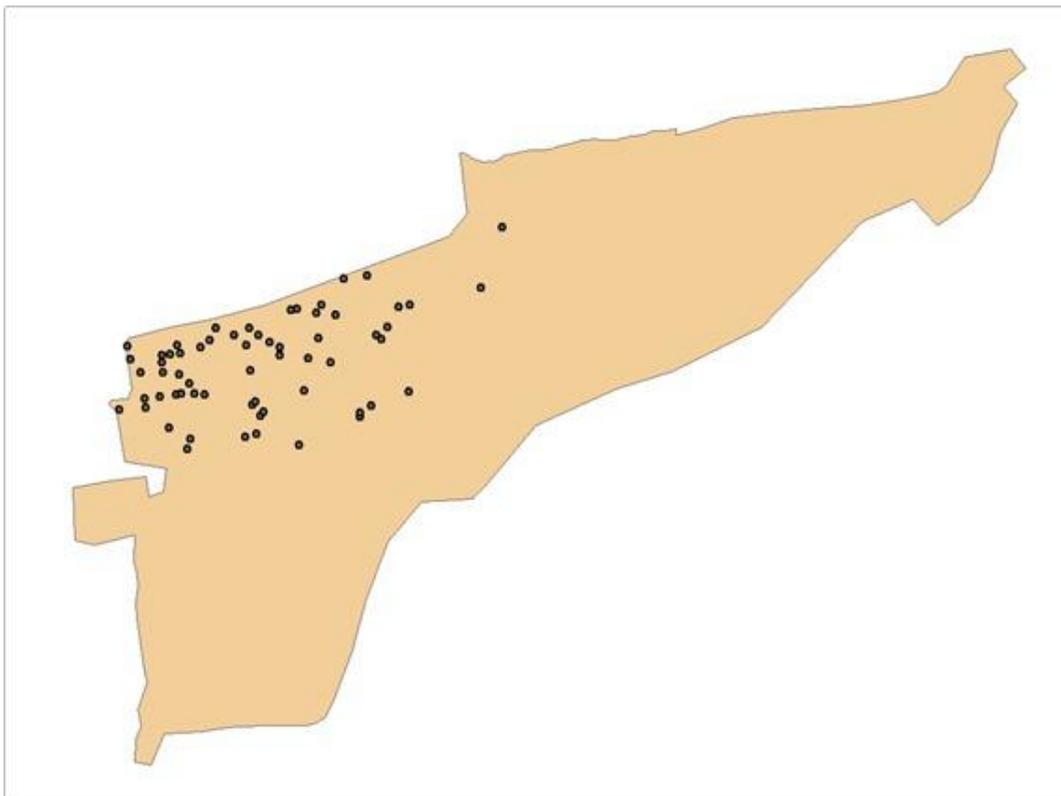


Figura 2.3: Registro de medidores - sistema del año 2015 del sector Challuabamba.

Fuente: ETAPA-EP

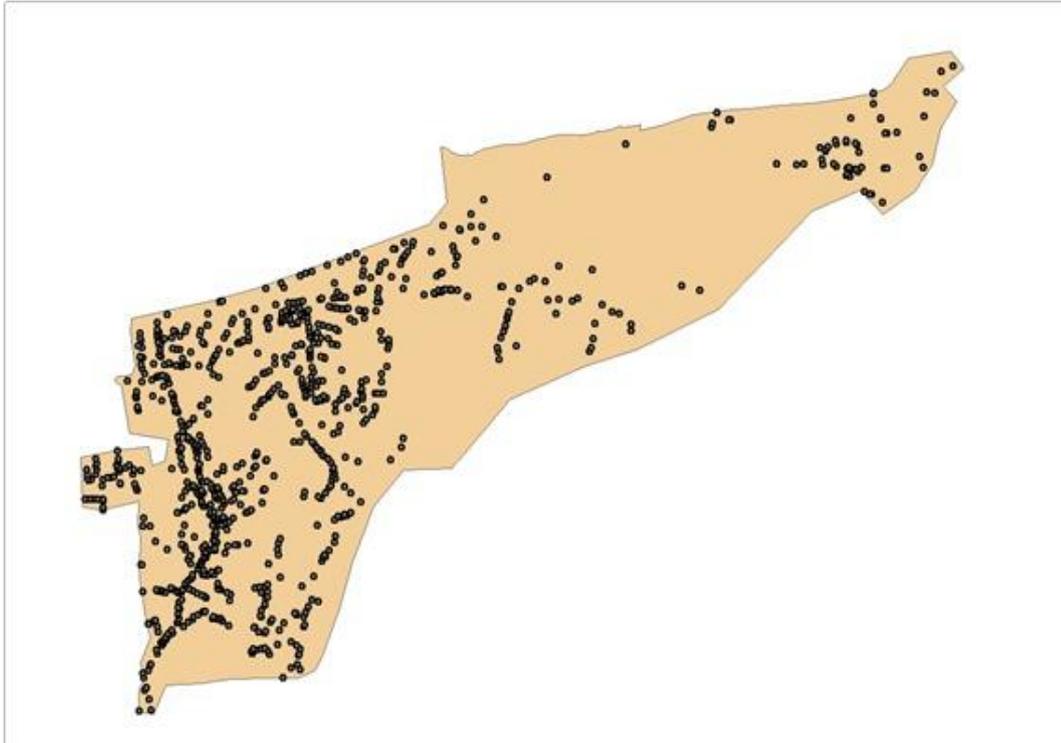


Figura 2.4: Registro de medidores - sistema del año 2018 del sector Challuabamba.

Fuente: ETAPA-EP

Tabla 2.3: Número de medidores - Challuabamba y Nulti Centro.

MEDIDORES	SISTEMA DEL AÑO 2015	SISTEMA DEL AÑO 2018
CHALLUABAMBA	77	1177
NULTI CENTRO	172	2035

Fuente: ETAPA-EP

- La cantidad de medidores del sistema de Challuabamba 2015 representa el 6.54% de medidores del sistema actual.
- La cantidad de medidores del sistema de Nulti 2015 representa el 8.45% de medidores del sistema actual.

2.2.2 Factor de mayoración o ajuste (FM)

Previo al cálculo de caudales se ha determinado un factor denominado FM, el cual se ha calculado de la siguiente manera:

$$FM = \frac{\text{Población proyectada}}{\text{Poblacion calculada}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

- Población proyectada = es la obtenida en la tabla 1.3
- Población calculada = Número de medidores del sector respectivo \times 3.8

Nota= se considera al valor de 3.8 como el numero promedio de personas que habitan una vivienda. (Determinado y proporcionado por ETAPA-EP)

Además de esto se debe tomar en cuenta las siguientes condiciones:

Si:

- $FM \leq 1$ entonces, se deberá asignar a los nodos la demanda QMH calculado.
- $1 \leq FM \leq 2$ entonces, se deberá asignar a los nodos la demanda QMH mayorado.
- $FM \geq 2$ se deberá realizar una redistribución, en la cual en primera instancia se asigna los valores de demanda QMH a los nodos y luego se resta de la diferencia del total del consumo QMH mayorado.

Posteriormente se analiza el consumo registrado.

$$Qd = \frac{\sum \text{Instalaciones promedio} \times 1000}{30 \times 86400} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

- Qd = Caudal calculado de consumo (l/s)
- Instalaciones promedio = representa el valor del consumo promedio mensual por medidor.

Nota = Se considera 30 como el número de días por mes.

Luego,

$$Qm = Qd \times f \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

- Q_m = Caudal medio (l/s)
- Q_d = Caudal calculado de consumo (l/s)
- f = Factor de fugas (ver tabla 2.4)

Para nuestro análisis se consideró un factor de fugas del 20%

Tabla 2.4: Porcentaje de fugas a considerarse en el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable.

NIVEL DE SEVICIO	PORCENTAJE DE FUGAS
Ia y Ib	10 %
IIa y IIb	20 %

Fuente: Norma CO 10.7 - 602

2.2.3 Caudal máximo diario

El caudal máximo diario se lo determina mediante:

$$QMD = KMD \times Qm \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

- QMD = Caudal máximo diario (l/s)
- KMD = Factor de mayoración máximo diario (Adimensional)

Se ha planteado un factor de mayoración máximo diario (KMD) de 1.25, para todos los niveles de servicio.

2.2.4 Caudal máximo horario

Para el caso del caudal máximo diario, se determina mediante:

$$QMH = KMH \times Qm \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

- QMD = Caudal máximo diario (l/s)
- KMD = Factor de mayoración máximo diario (Adimensional)

Para este caso, se ha definido un factor de mayoración máximo horario de valor de 1.82 (factor utilizado en ETAPA EP.)

Los resultados de los cálculos de los diferentes valores de caudal del año 2018 para los sectores de Nulti y Challuabamba, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2.5: Resultados de los caudales de los sectores Challuabamba y Nulti Centro para el año 2018.

SECTORES	Qd (l/s)	Qm (l/s)	QMD (l/s)	QMH (l/s)
CHALLUABAMBA	8.1	9.72	12.15	17.69
NULTI CENTRO	16.41	19.69	24.61	35.84

Fuente: Autor

De manera similar se muestra en la tabla 2.6 los caudales proyectados para los años 2025 y 2030

Tabla 2.6: Resultados de los caudales proyectados para los años 2025 y 2030

AÑO 2025				
SECTORES	Qd (l/s)	Qm (l/s)	QMD (l/s)	QMH (l/s)
CHALLUABAMBA	10.01	12.01	15.01	21.86
NULTI CENTRO	19.63	23.56	29.45	42.88
AÑO 2030				
CHALLUABAMBA	11.32	13.58	16.98	24.72
NULTI CENTRO	21.96	26.35	32.94	47.96

Fuente: Autor

2.2.5 Caudal máximo horario mayorado:

$$QM\text{H}Mayorado = QMH \times FM \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

- FM: Factor de mayoración o Factor de ajuste (Adimensional) ver ecuación 2
- QMH = Caudal máximo horario (l/s)

Tabla 2.7: FM de los sectores Challuabamba y Nulti Centro.

Factor de mayoración o ajuste (FM)	
CHALLUABAMBA	0.57
NULTI	0.59

Fuente: Autor

Al resolver la ecuación se obtuvo como resultado un FM menor que uno para los sectores Nulti Centro y Challuabamba, por lo tanto, al incorporar en el modelo las demandas en los puntos de consumo se utilizará directamente el caudal máximo diario (QMH).

2.3 Determinación de las áreas de aporte actuales y caudales para el sector San Juan Pamba (El Plateado)

2.3.1 Áreas de aporte

Para el cálculo de las áreas de aporte se utilizó el método de los Polígonos de Thiessen, el cual consiste en determinar zonas de influencia partiendo de un conjunto de puntos.

Como se mencionó con anterioridad, en este sector (El Plateado) no se cuentan con datos de medidores, es por esto que se ha procedido con este método para el cálculo de las demandas para cada nodo.

A continuación, en la imagen 2.5 se presenta el sector El Plateado seccionado por Polígonos de Thiessen.

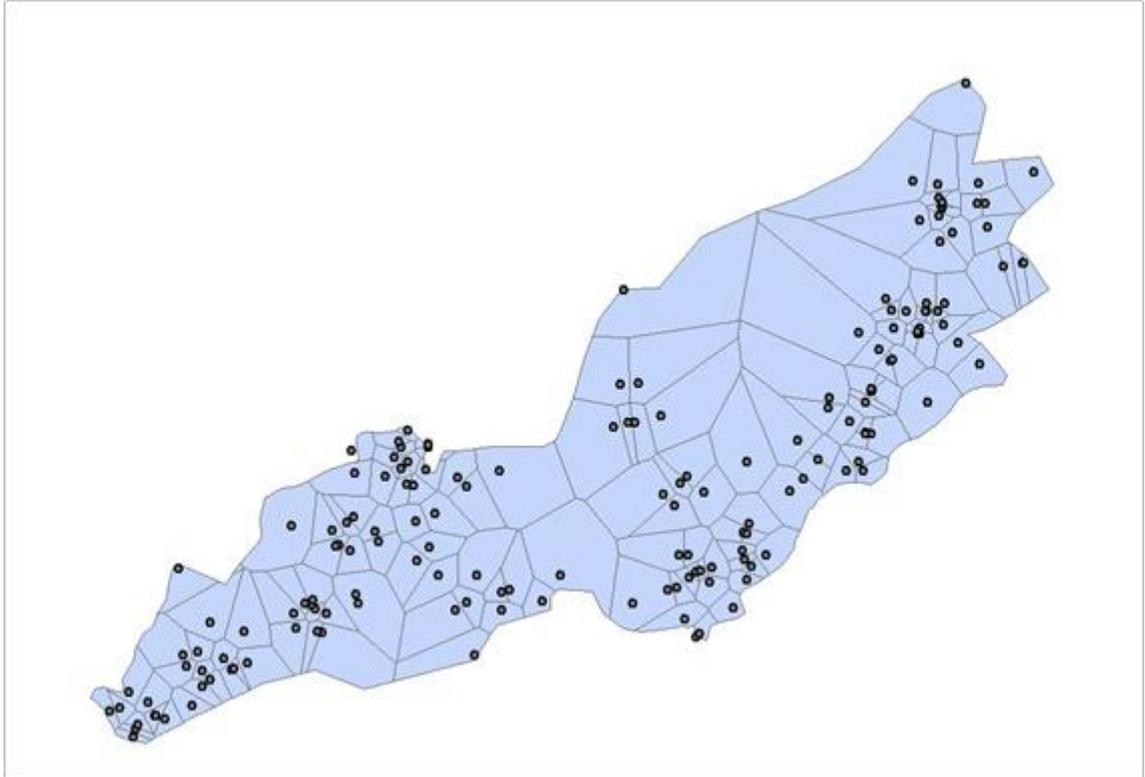


Figura 2.5: Visualización de los polígonos de Thiessen en ArcGis del sector El Plateado.

Fuente: Autor

2.3.2 Cálculo de caudales

Para determinar el caudal se empleó la fórmula obtenida de la norma CO 10.7-602-REVISION, y además se ha considerado una dotación de 250 *litros/habitante × día*

- **Caudal Medio**

$$Q_m = \frac{\text{Dotación} \times \text{Población} \times f}{86400} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

- Q_m = Caudal medio (l/s)
- f: factor de fugas (ver tabla 2.6)

Población: ver tabla 1.3

Para el presente análisis se consideró un factor de fugas del 20%

- **Caudal Máximo Diario**

El caudal máximo diario se lo determinará mediante la ecuación:

$$QMD = KMD \times Qm \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

- QMD = Caudal máximo diario (l/s)
- KMD = Factor de mayoración máximo diario (Adimensional)

Al igual que para los casos anteriores, el factor de mayoración máximo diario (KMD) se ha considerado de 1.25, para todos los niveles de servicio.

- **Caudal máximo horario**

El caudal máximo horario se lo determinará mediante:

$$QMH = KMH \times Qm \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

- QMH = Caudal máximo horario (l/s)
- KMH = Factor de mayoración máximo horario (Adimensional)

El factor de mayoración máximo horario tiene un valor de 1.82 (factor utilizado en ETAPA EP.)

Los resultados de los cálculos de los diferentes valores de caudal del año 2018 para el sector El Plateado, se presentan en la tabla 2.8.

Tabla 2.8: Resultados de los caudales del sector El Plateado para el año 2018.

SECTOR	Qm (l/s)	QMD (l/s)	QMH (l/s)
EL PLATEADO	5.16	6.44	9.39

Fuente: Autor.

De manera similar a lo realizado anteriormente, se muestra en la tabla 2.9 los caudales proyectados para los años 2025 y 2030.

Tabla 2.9: Resultados de los caudales proyectados para los años 2025 y 2030 del sector El Plateado.

AÑO 2025			
SECTOR	Qm (l/s)	QMD (l/s)	QMH (l/s)
EL PLATEADO	6.07	7.59	11.05
AÑO 2030			
SECTOR	Qm (l/s)	QMD (l/s)	QMH (l/s)
EL PLATEADO	11.68	14.59	21.25

Fuente: Autor.

Como ejemplo de cálculo en la tabla 2.10 se presenta el nodo “PLATEADO_N_1113” con sus respectivos datos y valores calculados:

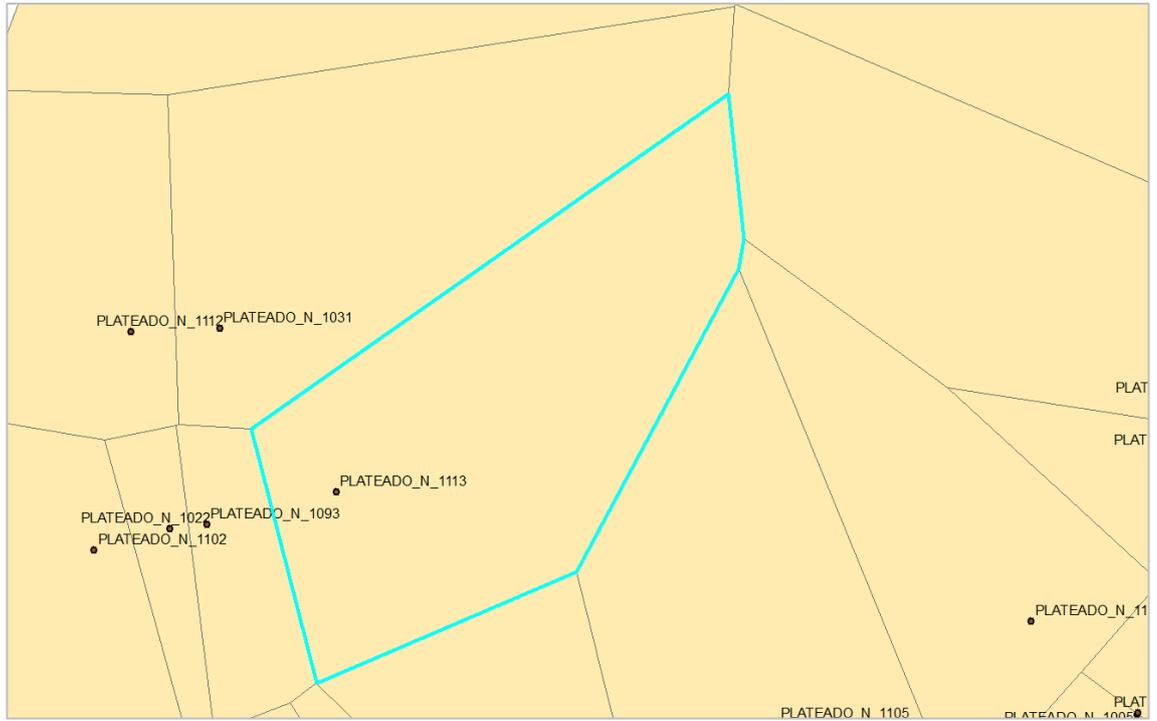


Figura 2.6: Extracto de un nodo con su respectivo Polígono de Thiessen.

Fuente: Autor

Tabla 2.10: Extracto de cálculo del nodo “PLATEADO_1113”

Nodo	Área (Ha)	Población 2018	Población 2025	Población 2030	Dotación (l/s)	Consumo 2018 (QMH)	Consumo 2025 (QMH)	Consumo 2030 (QMH)
PLATEADO_N_1113	21	20	24	27	250	0.1273	0.1517	0.1689

Fuente: Autor

CAPITULO 3

3 SIMULACIONES HIDRÁULICAS

En el presente capítulo se realizan las simulaciones hidráulicas con la respectiva calibración de los modelos en los cuales se va a seguir el siguiente procedimiento:

1. Se compararán los valores de las presiones calculadas en un estado inicial, con las medidas obtenidas en campo.
2. Se revisará el estado operativo de los elementos hidráulicos y se verificará que las conexiones estén bien realizadas lo cual se explicó en el capítulo anterior.
3. Se realizarán dos tipos de calibraciones, una calibración mediante el software Darwin calibrador y una calibración manual. Dentro de las calibraciones manuales pueden existir diferentes alternativas de calibración, ya sea interconectando redes, modificando valores de demanda por número de usuarios, modificando valores iniciales de operación en estaciones reductoras de presión, etc.
4. Se procederá a realizar diferentes curvas de consumo para el año 2018 con la simulación que presente la mejor calibración en cada sector respectivo; y además se realizarán proyecciones para los años 2025 y 2030.

Una vez que se ha establecido una metodología a seguir, se considera de gran importancia presentar los diferentes conceptos de condiciones de flujo, y los criterios que se deben tomar en cuenta para poder llevar a cabo las simulaciones hidráulicas.

3.1 Condiciones de flujo y criterios para una red de abastecimiento

3.1.1 Flujo permanente

Se considera flujo permanente cuando la velocidad y demás propiedades de las partículas del fluido en un punto son constantes en el tiempo (Giles, 1962)

Por lo tanto, se supone:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial Q}{\partial t} = 0 \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

- V= Velocidad media
- P= Presión
- ρ = Densidad
- Q= Caudal

Además, para este tipo de flujos se debe tener en cuenta el cálculo de cargas y pérdidas de energía que se obtienen a partir de la aplicación de los principios de la conservación de la energía.

Ecuación de la conservación de la energía

De la física y la química aprendimos que la energía no se crea ni se destruye, de una forma en otra, solo se transforma.

Teorema de Bernoulli

Hay tres formas de energía que se consideran durante el análisis de flujo de una tubería: Energía potencial, Energía cinética y Energía de flujo. Entonces, la cantidad de energía total que posee el elemento fluido en un punto es la suma de estas tres (Mott, 2006)

$$E = EP + EC + EF \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

- EP = z =Energía potencial (Debida a la elevación)
- $EC = \frac{v^2}{2g}$ =Energía cinética (Debida a la velocidad)
- $EF = \frac{p}{\gamma}$ =Energía de flujo (Llamada también energía de presión o trabajo de flujo)

Cuando se resuelve un problema de flujo dentro de una tubería de un punto a otro, se conoce que existe una pérdida de energía a lo largo de la longitud de la tubería, por lo tanto, se expresa:

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + hf \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

- Z = Elevación (m)
- P = Presión interna en las secciones (Kpa)
- V = Velocidad media del flujo (m/s)
- γ = Peso específico del agua (KN/m³)
- g = Aceleración gravitacional (m/s²)
- h_f = pérdidas de energía (m)

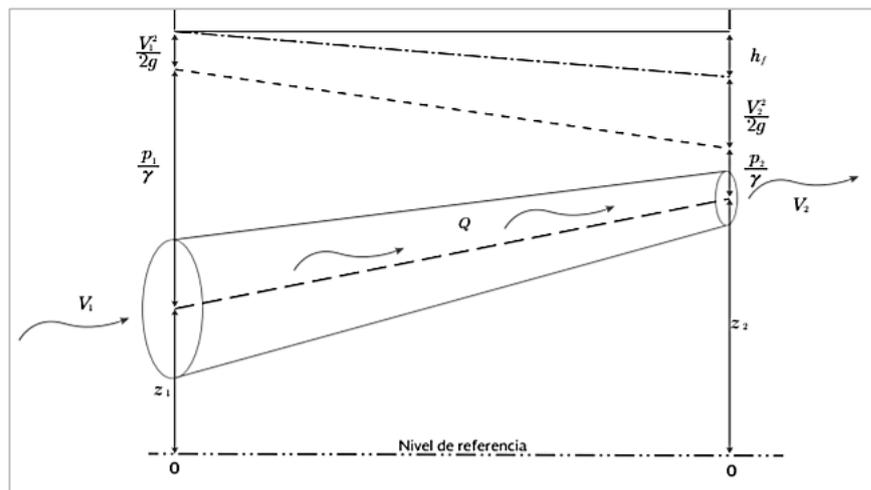


Figura 3.1: Cargas en los extremos de una tubería.

Fuente: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Comisión Nacional del Agua.

Perdidas de energía por fricción en la conducción

Las pérdidas de energía se calculan mediante la ecuación de Darcy-Weisbach (1856):

$$h_f = f \frac{LV^2}{D2g} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde:

- f = Coeficiente de pérdidas (Adimensional)
- L = Longitud de la tubería (m)
- D = Diámetro de la tubería (m)
- V = Velocidad media del flujo (m/s)

- g = Aceleración gravitacional (m/s²)
- h_f = pérdidas de energía por fricción (m)

El coeficiente de pérdidas se encuentra en función de la rugosidad del material de la tubería, sin embargo, esta rugosidad no es homogénea a lo largo de la conducción por lo que se debe establecer un valor medio equivalente.

El coeficiente f se encuentra asociado al diámetro, rugosidad del material y número de Reynolds, el cual se define como:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad \text{Ecuación (15)}$$

Donde:

- ν = viscosidad cinemática del fluido (m²/s)
- Re = Número de Reynolds (Adimensional)

El cálculo del coeficiente de pérdidas se puede aproximar mediante la ecuación de Swamme – Jain (1976):

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{s/D}{3.71} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right]^2} \quad \text{Ecuación (16)}$$

Donde:

- f = Factor de fricción
- s = medida del tamaño de las proyecciones de rugosidad
- D = Diámetro
- Re = Número de Reynolds

Por otra parte, con el fin de conseguir un factor de fricción mucho más preciso, Coolebrok y White (1939) presentaron la siguiente ecuación empírica en tubos comerciales:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{s}{3.7D} + \frac{2.523}{Re\sqrt{f}} \right) \quad \text{Ecuación (17)}$$

Donde:

- f = Factor de fricción
- s = medida del tamaño de las proyecciones de rugosidad
- D = Diámetro
- Re = Número de Reynolds

3.1.2 Flujo no permanente

Flujo no permanente, es aquel en el que en una sección determinada se presentan variaciones de las características hidráulicas en función o a través del tiempo.

En las redes de distribución que abastecen a los diferentes sectores en cuestión, la demanda es variable a lo largo del día, es por eso que para un estudio más profundo del funcionamiento del sistema se debe considerar al tiempo dentro de las ecuaciones de flujo.

Un estudio del sistema considerando el tiempo permite simular la red de una manera más acercada a la realidad, dando la posibilidad de verificar que los caudales, presiones, etc. se cumplan, con la finalidad de proporcionar al diseñador información útil para que mediante la misma se puedan establecer políticas de operación.

3.2 Criterios para una red de abastecimiento

3.2.1 Velocidad

Las velocidades mínimas y máximas del flujo dentro de la red de agua potable deben ser de 0,4 m/s y 3 m/s respectivamente. Sin embargo, como recomendación, deberá mantenerse la velocidad del agua dentro de las tuberías en un valor cercano a 1,5 m/s (Código Ecuatoriano de la Construcción, 1992).

3.2.2 Presión

La norma establece un mínimo de presión de 10 metros de columna de agua para los puntos que se encuentran en las condiciones más desfavorables. Sin embargo, para proyectos en los que el abastecimiento se lo realice mediante grifos públicos se podrá reducir la presión a 5 metros de columna de agua.

En lo posible, la presión estática y la presión dinámica no deberán superar los valores de 70 y 50 metros de columna de agua, respectivamente (Código Ecuatoriano de la Construcción, 1992).

3.2.3 Diámetro

El diámetro de las tuberías para las redes deberá ser el comercial que más se acerque al determinado por los cálculos hidráulicos. Sin embargo, se establece diámetro mínimo de 19mm (3/4") (Código Ecuatoriano de la Construcción, 1992).

3.2.4 Caudal

El caudal para redes de distribución, será el máximo diario al final del período de diseño.

3.3 Evaluación actual

Dentro de la evaluación actual se pretende llevar a cabo la metodología planteada al inicio del capítulo y llegar a obtener resultados para el año 2018, siempre pretendiendo que las simulaciones hidráulicas sean lo más apegadas a la realidad, tanto en régimen permanente como en periodo extendido. Posterior a la evaluación de las simulaciones, al final del capítulo se presentarán los resultados obtenidos en rangos de presión y rangos de pérdidas unitarias.

En el capítulo 2 se determinaron los caudales para las redes de los sectores de análisis, los cuales no se validaron; es decir, se obtuvo un modelo hidráulico sin validar. Ahora estos caudales ya calculados serán asignados a los puntos de consumo con sus respectivas elevaciones. Se trata de incorporar en los diferentes modelos las demandas para el año 2018.

En la figura 3.2 se muestra las redes de tuberías del sistema del año 2015 comparadas con la red de los sistemas actuales (año 2018) del sector Nulti Centro, donde se indica un extracto de las tuberías agregadas en el WaterGEMS, esto se lo realiza antes de añadir las respectivas demandas a cada uno de los nodos de los tres sistemas de análisis, con el fin de poder realizar las simulaciones hidráulicas.

Por el registro de catastros se observa que en el norte del sector hay un mayor número de tuberías agregadas, también se observa que existen tuberías en las cuales se realizaron cambios de geometría.

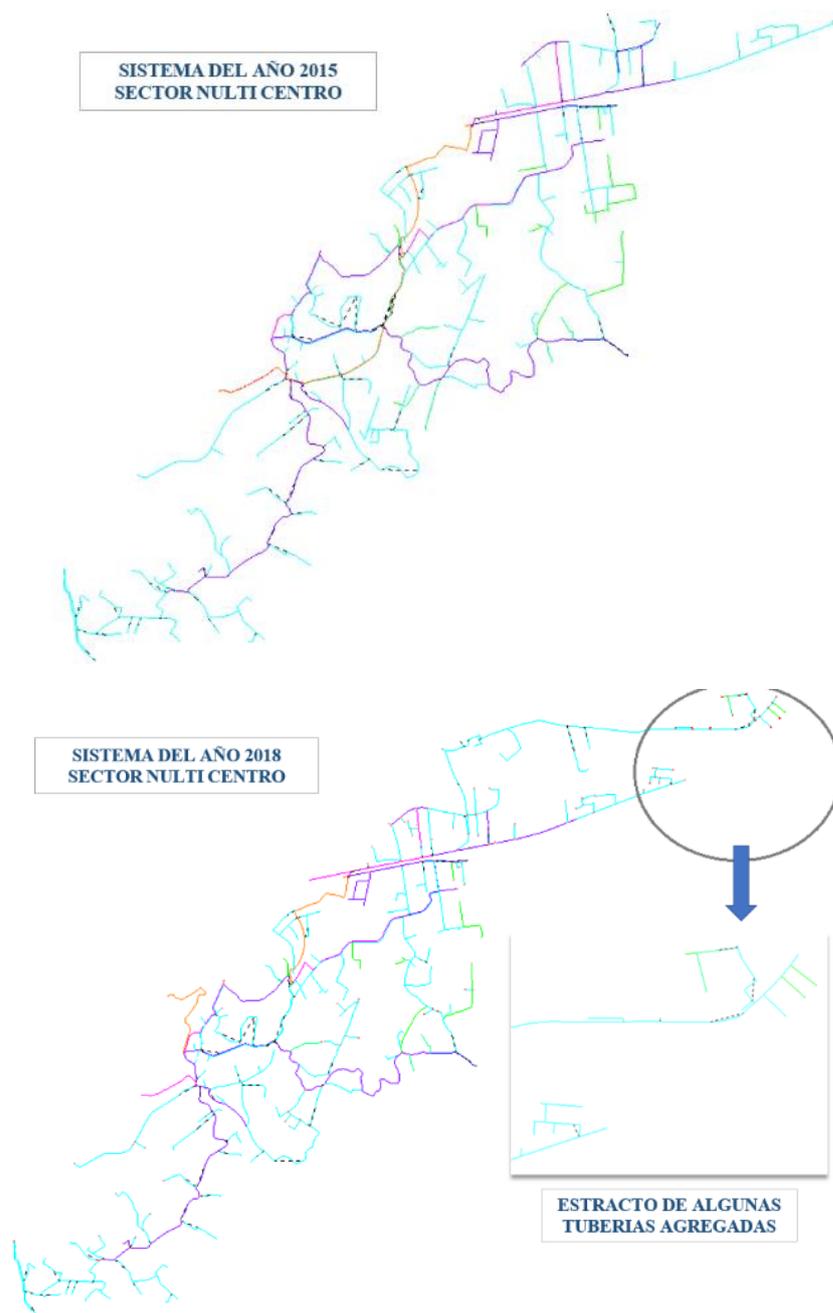


Figura 3.2: Comparación de sistemas y extracto de algunas tuberías que fueron agregadas - sector Nulti Centro.

Fuente: Autor

En la figura 3.3 se muestra las redes de tuberías del sistema del año 2015 comparadas con la red de los sistemas actuales (año 2018) del sector El Plateado, en donde se indica un extracto de las tuberías agregadas en el WaterGEMS. En este sector se agregaron

pocas tuberías en todo el sistema y la cantidad más considerable de estas se observan en el sur del sector, también existieron varios cambios de geometría.

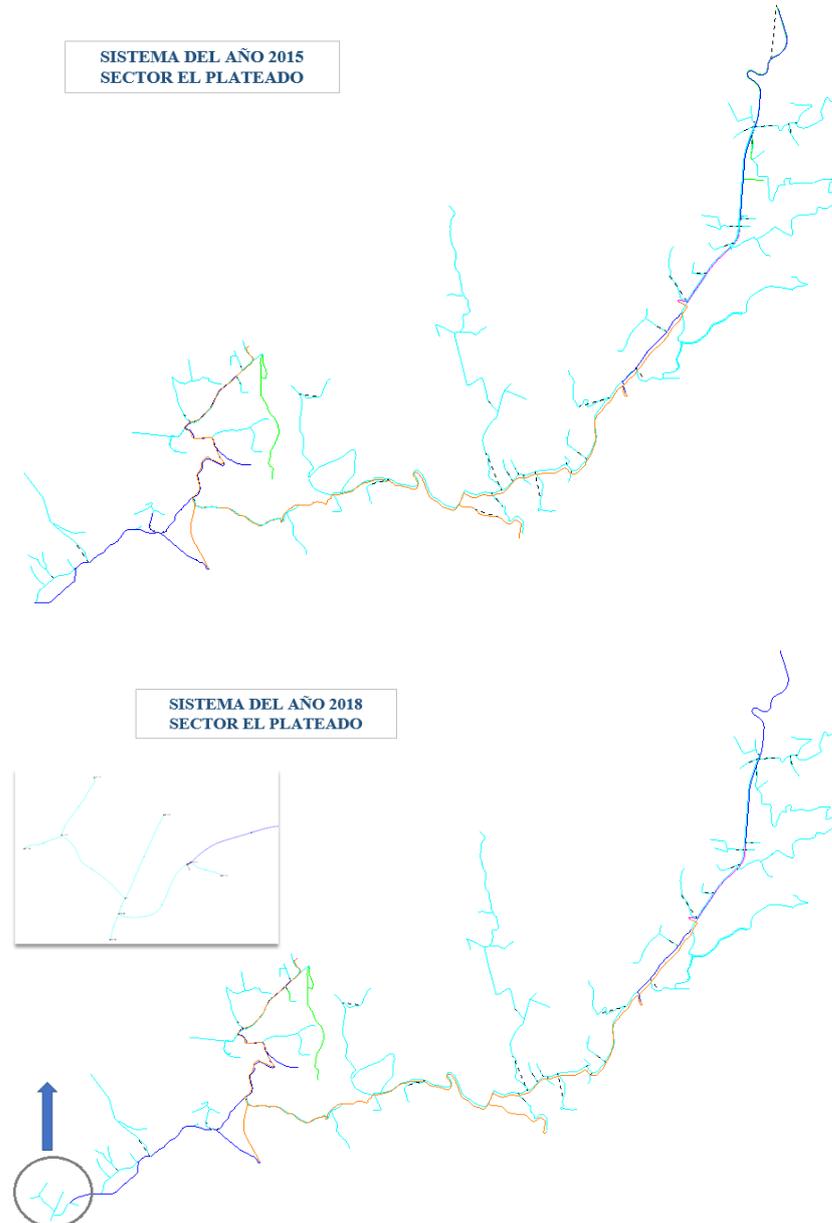


Figura 3.3: Comparación de sistemas y extracto de algunas tuberías que fueron agregadas - sector El Plateado.

Fuente: Autor.

En la figura 3.4 se muestra las redes de tuberías del sistema del año 2015 comparadas con la red de los sistemas actuales (año 2018) del sector Challuabamba, en donde se indica un extracto de las tuberías agregadas en el WaterGEMS. En este se puede observar, así mismo, que se agregaron tuberías a lo largo y ancho del sistema, de igual manera se realizó cambios de geometría en varias tuberías.

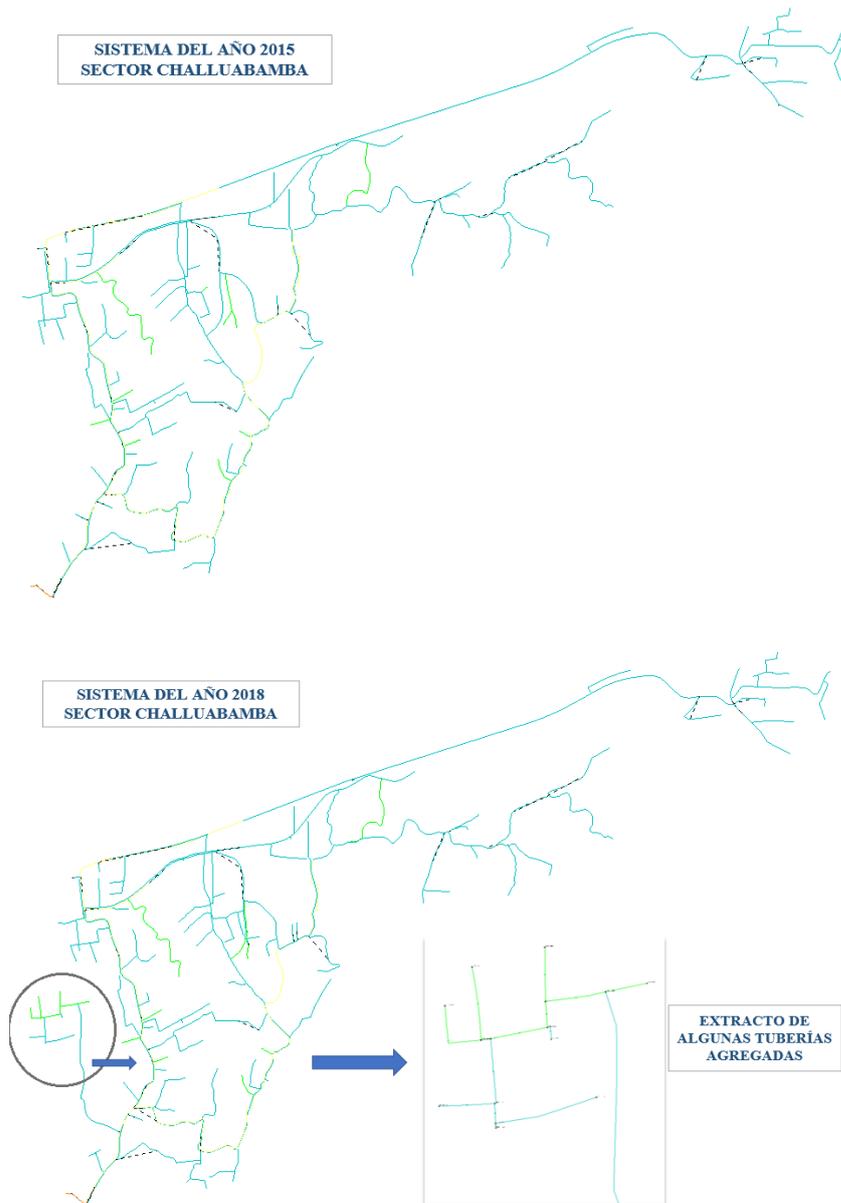


Figura 3.4: Comparación de sistemas y extracto de algunas tuberías que fueron agregadas - sector Challuabamba.

Fuente: Autor

A continuación, se muestra en la figura 3.5 el modelo de Nulti Centro del año 2018 en conjunto con un extracto de los caudales ya asignados a cada nodo.

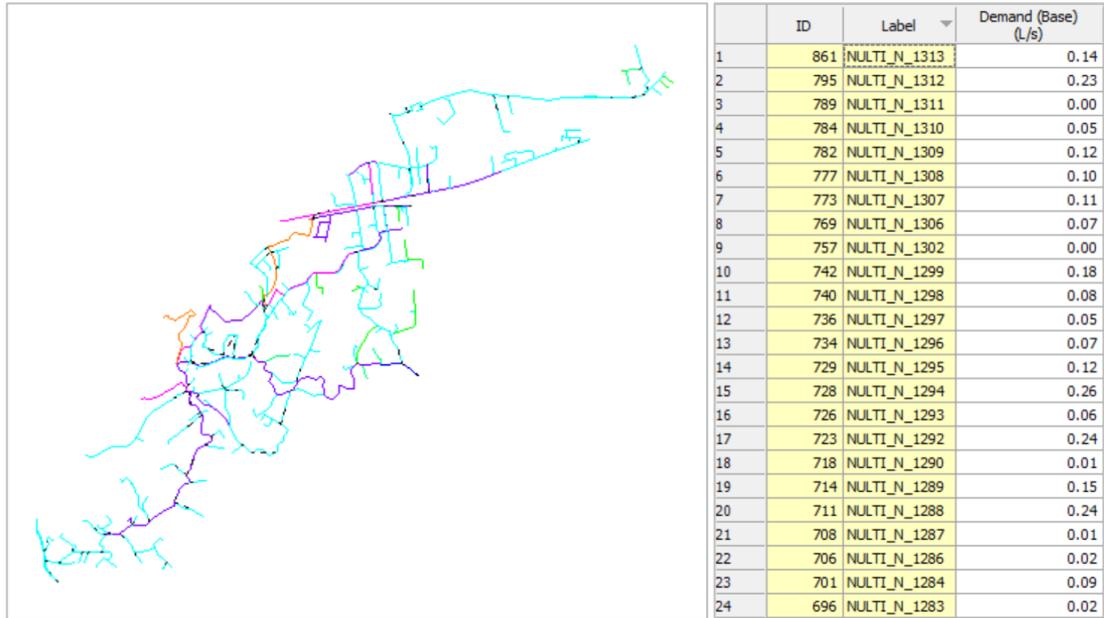


Figura 3.5: Extracto de caudales asignados para el año 2018 - sector Nulti Centro.

Fuente: Autor

En la figura 3.6 se muestra el modelo de El Plateado del año 2018 en conjunto con un extracto de los caudales ya asignados a cada nodo.

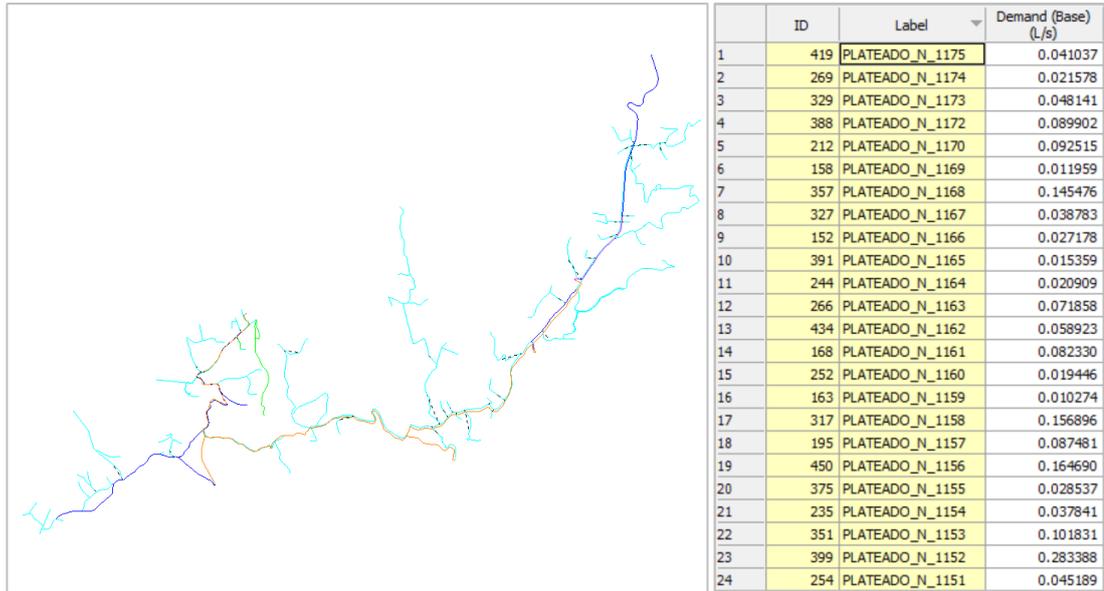


Figura 3.6: Extracto de caudales asignados para el año 2018 - sector El Plateado.

Fuente: Autor

En la figura 3.7 se muestra el modelo de Challuabamba del año 2018 en conjunto con un extracto de los caudales ya asignados a cada nodo.

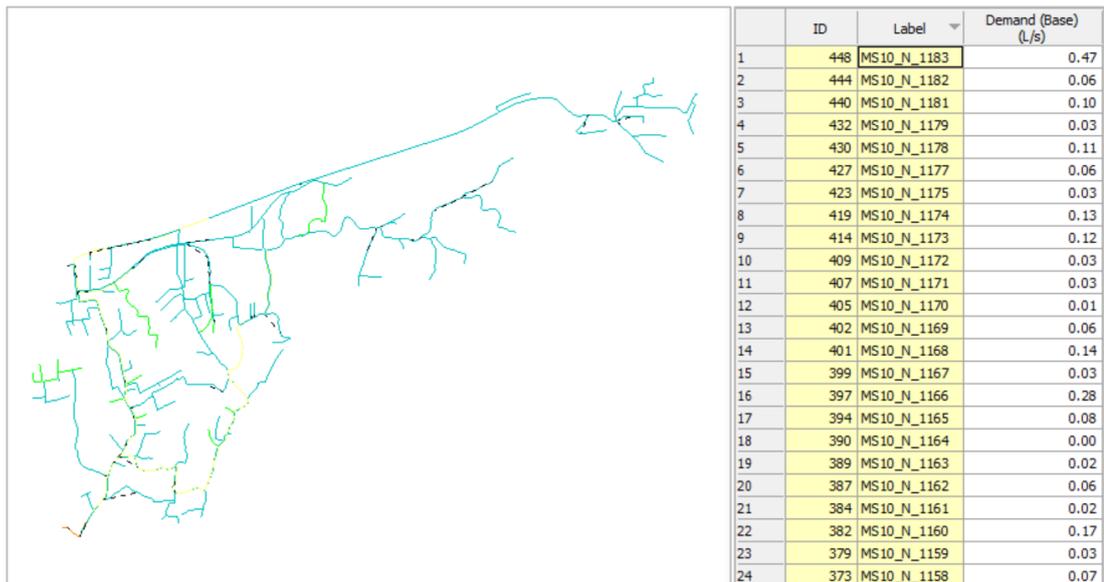


Figura 3.7: Extracto de caudales asignados para el año 2018 - sector Challuabamba.

Fuente: Autor

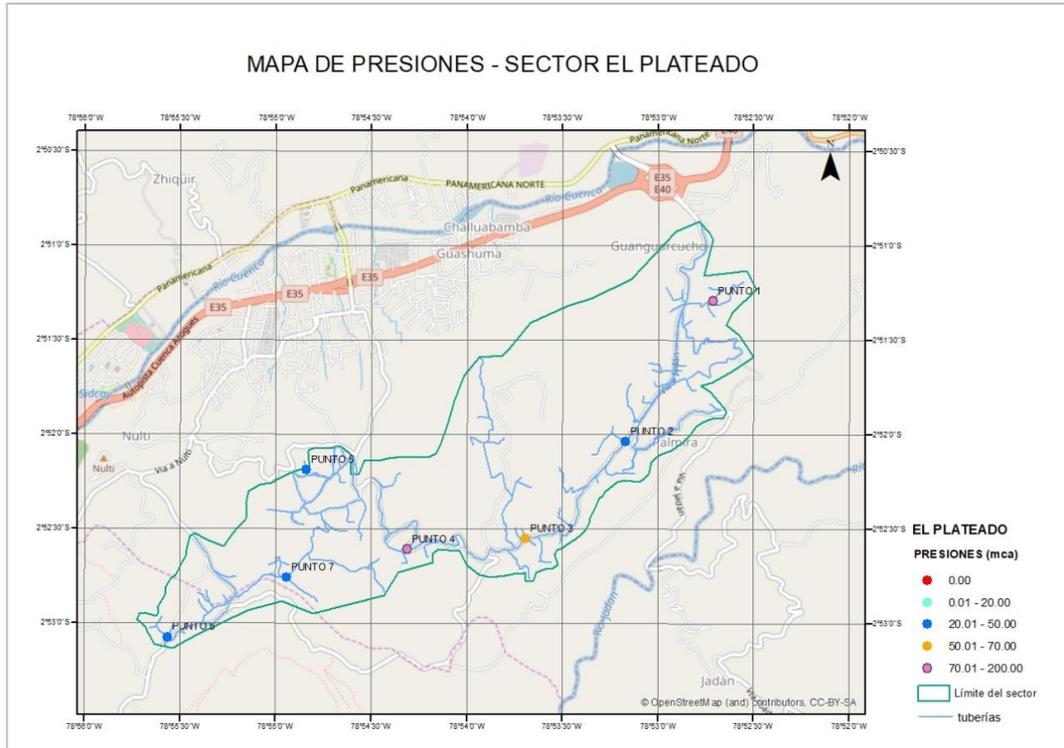


Figura 3.9: Mapa de presiones medidas en campo – sector EL Plateado.

Fuente: Autor

En la figura 3.10 se presenta el mapa de presiones del sector Challuabamba, en donde se puede observar la ubicación de los siete puntos de las presiones que se midieron en campo mediante el uso de un manómetro.

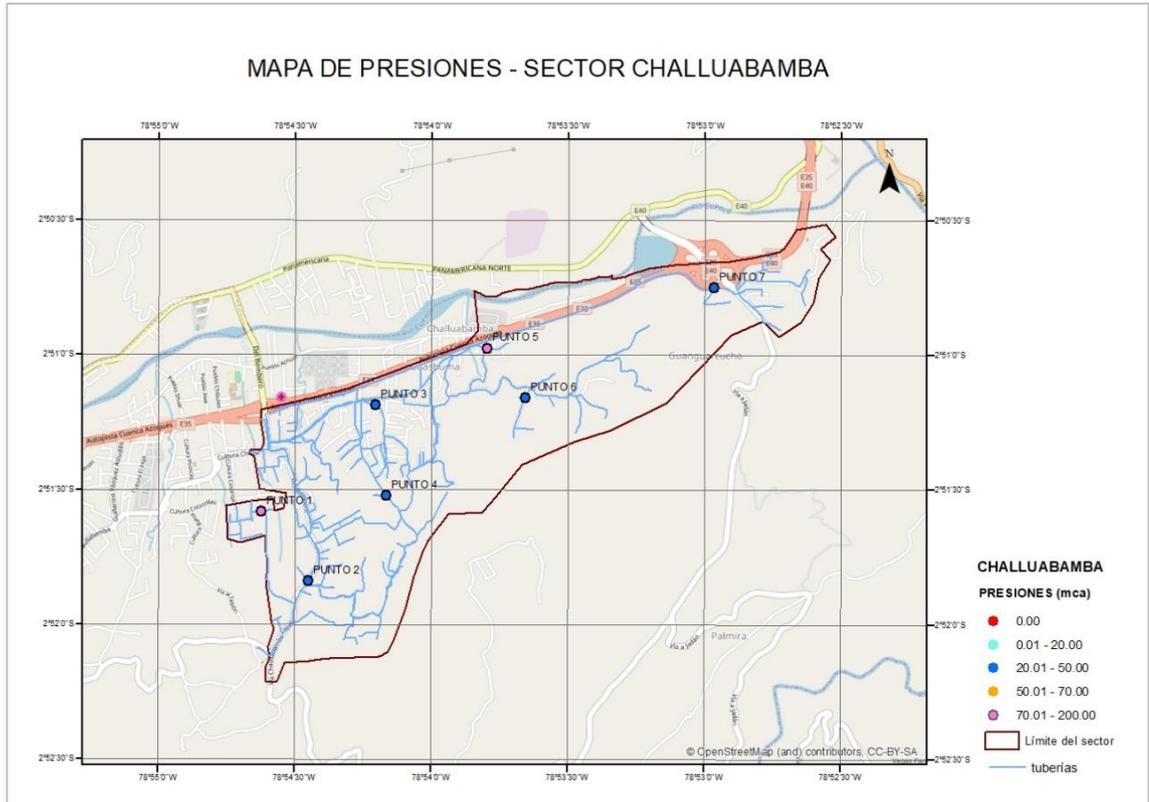


Figura 3.10: Mapa de presiones medidas en campo – sector Challuabamba.

Fuente: Autor

En los distintos puntos de los diferentes sectores en los que se llegó a medir las presiones, existen valores que fueron muy similares a los que se obtuvieron durante la primera etapa de la simulación hidráulica; sin embargo, existen puntos en donde la diferencia de los valores medidos es considerable por lo que dichos puntos se calibrarán de diferentes maneras, explicadas posteriormente durante el desarrollo.

En la tabla 3.1 se observa las presiones calculadas en un estado inicial y las presiones medidas del sector Nulti Centro en donde hay ciertos puntos con valores de presiones muy alejadas a las medidas además de valores negativos, es por ello que se revisarán principalmente esos puntos.

Tabla 3.1: Presiones calculadas en estado inicial vs presiones medidas – sector Nulti Centro.

Nulti Centro				
Punto	Coordenadas		Presión calculada (m.c.a.)	Presión medida (m.c.a.)
	X	Y		
1	728727.63	9681335.81	93	35.17
2	729630.05	9681283.41	72.4	89.35
3	730150.10	9682595.02	32.5	50.65
4	731760.68	9682821.41	45.9	45.73
5	730919.49	9683261.33	-3.1	58.39
6	732092.44	9685198.79	1.2	42.21
7	734461.94	9685641.32	-67	31.65

Fuente: Autor

En la tabla 3.2 se observa las presiones calculadas en un estado inicial y las presiones medidas en el sector El Plateado en donde se observa un punto con el valor de presión muy alejada a la medida tomada.

Tabla 3.2: Presiones calculadas en estado inicial vs presiones medidas – sector El Plateado.

El Plateado				
Punto	Coordenadas		Presión calculada (m.c.a.)	Presión medida (m.c.a.)
	x	y		
1	735822.82	9684224.12	77.7	87.94
2	734975.41	9682854.09	51.5	49.24
3	734012.00	9681914.43	50.6	52.76
4	732852.74	9681797.68	21.7	68.94
5	731885.07	9682530.03	19.6	22.51
6	730526.71	9680948.35	36.9	49.24
7	731679.43	9681530.23	33.8	32.36

Fuente: Autor

En la tabla 3.3 se observa las presiones calculadas en un estado inicial y las presiones medidas en el sector de Challuabamba en donde se observa que los valores de las presiones calculadas son muy similares a las medidas, sin embargo, se realizará la calibración para que se ajusten más las presiones.

Tabla 3.3: Presiones calculadas en estado inicial vs presiones medidas – sector Challuabamba.

Challuabamba				
Punto	Cooordenadas		Presión calculada (m.c.a.)	Presión medida (m.c.a.)
	X	Y		
1	732298.06	9683709.861	88.6	87.94
2	732598.53	9683226.46	38.8	38.69
3	732978.22	9684463.1	40.7	38.69
4	733126.53	9683813.47	38.5	37.99
5	733792.56	9684824.59	80.6	82.31
6	734100.25	9684554.43	39	39.39
7	735355.29	9685230.43	38	37.99

Fuente: Autor

Las calibraciones que se llevarán a cabo son de dos tipos. Una calibración manual y una calibración logarítmica mediante el uso de un software. En Nulti centro se realizó tres métodos adicionales de calibración manual, los cuales se explican posteriormente.

En la tabla 3.4 se muestran los resultados obtenidos luego de haber interconectado el sistema de Nulti Centro con el sistema de Miguel Díaz, aledaño al sector, esto se realizó debido a que se presentaron presiones negativas en varios nodos ubicados en el norte del sistema, luego de la conexión se observó que en los nodos del norte se hicieron positivos, sin embargo, los resultados de presiones observados en la tabla no se acercan a las presiones medidas, además se aprecia que el punto 5 tiene una presión negativa, por lo que esta calibración manual indica que realizar este enlace no es la alternativa correcta.

Tabla 3.4: Presiones calculadas con el sistema interconectado vs presiones medidas – sector Nulti Centro.

Nulti Centro				
Punto	Cooordenadas		Presión calculada (m.c.a.)	Presión medida (m.c.a.)
	X	Y		
1	728727.63	9681335.81	93	35.17
2	729630.05	9681283.41	72.4	89.35
3	730150.10	9682595.02	32.5	50.65
4	731760.68	9682821.41	45.9	45.73
5	730919.49	9683261.33	-3.1	58.39
6	732092.44	9685198.79	51	42.21
7	734461.94	9685641.32	57.2	31.65

Fuente: Autor

Se realizó un cambio de demandas en los nodos en donde se vio necesario realizar esto, es decir en donde se encontraron altas pérdidas unitarias en las tuberías y en donde se observó un caudal excesivo para un diámetro pequeño. Además, en la tabla 3.5 se muestra que aún hay puntos con diferencias de presiones no aproximadas, también la presión negativa en el punto 5 se mantiene, es por esto que este método de calibración no es tampoco el más aproximado, sin embargo, se observó una mejora.

Tabla 3.5: Presiones calculadas modificada la demanda vs presiones medidas – sector Nulti Centro.

Nulti Centro				
Punto	Cooordenadas		Presión calculada (m.c.a.)	Presión medida (m.c.a.)
	X	Y		
1	728727.63	9681335.81	36.9	35.17
2	729630.05	9681283.41	72.4	89.35
3	730150.10	9682595.02	32.5	50.65
4	731760.68	9682821.41	45.9	45.73
5	730919.49	9683261.33	-3.1	58.39
6	732092.44	9685198.79	43.4	42.21
7	734461.94	9685641.32	30	31.65

Fuente: Autor

Luego de haber calibrado las demandas, se agregaron válvulas de control de flujo o caudal aguas arriba, es decir en cada entrada de los tanques en los que se encontró inconvenientes debido a que el flujo de entrada de cada tanque se vio excesivo. Los resultados de haber realizado esto se muestran en la tabla 3.6 en donde de igual manera se observa una diferencia aun considerable entre las presiones calculadas y medidas, sin embargo, el punto 5 ya no presenta una presión negativa y se ve una mejora en la calibración con respecto a lo realizado anteriormente.

Tabla 3.6: Presiones calculadas agregando válvulas reguladoras de flujo o caudal (FCV) vs presiones medidas – sector Nulti Centro.

Nulti Centro				
Punto	Cooordenadas		Presión calculada (m.c.a.)	Presión medida (m.c.a.)
	X	Y		
1	728727.63	9681335.81	36.9	35.17
2	729630.05	9681283.41	89.7	89.35
3	730150.10	9682595.02	49.9	50.65
4	731760.68	9682821.41	48	45.73
5	730919.49	9683261.33	60	58.39
6	732092.44	9685198.79	43.4	42.21
7	734461.94	9685641.32	30	31.65

Fuente: Autor

Para los tres sistemas se realiza la calibración manual efectuando la modificación de los valores iniciales de las estaciones reductoras de presión (ERP), para que la presión aguas abajo de las mismas se ajuste a los valores medidos en campo. Una vez que se ha llegado a modificar los valores de las ERP, los valores de las presiones medidas en campo se ajustan mucho más a los valores que devuelve el software.

Luego de haber modificado las demandas y agregado las válvulas FCV, para el caso de Nulti Centro, se modificó los valores de los ERP, estos resultados se pueden observar en la tabla 3.7 en donde las presiones calculadas versus las presiones medidas presentan un rango de diferencia mínimo.

Tabla 3.7: Presiones calculadas calibradas con ERP vs presiones medidas – Sector Nulti Centro.

Nulti Centro				
Punto	Cooordenadas		Presión calculada (m.c.a.)	Presión medida (m.c.a.)
	X	Y		
1	728727.63	9681335.81	35.2	35.17
2	729630.05	9681283.41	89.7	89.35
3	730150.10	9682595.02	49.4	50.65
4	731760.68	9682821.41	48	45.73
5	730919.49	9683261.33	60	58.39
6	732092.44	9685198.79	43.6	42.21
7	734461.94	9685641.32	30.2	31.65

Fuente: Autor

En la tabla 3.8 se observan las presiones calculadas luego de haber modificado los valores de los ERP en el sector El Plateado, versus las presiones calculadas en donde la diferencia de presiones es bastante aproximada.

Tabla 3.8: Presiones calculadas calibradas con ERP vs presiones medidas – Sector El Plateado.

El Plateado				
Punto	Coordenadas		Presión calculada (m.c.a.)	Presión medida (m.c.a.)
	x	y		
1	735822.82	9684224.12	87.8	87.94
2	734975.41	9682854.09	51.5	49.24
3	734012.00	9681914.43	50.6	52.76
4	732852.74	9681797.68	68.3	68.94
5	731885.07	9682530.03	22.5	22.51
6	730526.71	9680948.35	49.2	49.24
7	731679.43	9681530.23	33.8	32.36

Fuente: Autor

En la tabla 3.8 se observan las presiones calculadas luego de haber modificado los valores de los ERP en el sector Challuabamba, versus las presiones calculadas en donde la diferencia de presiones es bastante aproximada.

Tabla 3.9: Presiones calculadas calibradas con ERP vs presiones medidas – sector Challuabamba.

Challuabamba				
Punto	Cooordenadas		Presión calculada (m.c.a.)	Presión medida (m.c.a.)
	X	Y		
1	732298.06	9683709.861	88.6	87.94
2	732598.53	9683226.46	38.8	38.69
3	732978.22	9684463.1	40.5	38.69
4	733126.53	9683813.47	38	37.99
5	733792.56	9684824.59	80.4	82.31
6	734100.25	9684554.43	39.4	39.39
7	735355.29	9685230.43	38	37.99

Fuente: Autor

Después de haber realizado la calibración manual modificando los valores iniciales de las estaciones reductoras de presión, se procederá a realizar una calibración logarítmica

mediante el uso de software, en el cual para llevar a cabo la calibración dicho programa itera diferentes valores de coeficientes de Chow tratando de que se llegue a obtener las presiones medidas en campo, para esto se utilizará la herramienta conocida como Darwin Calibrator, la cual se encuentra dentro del software WaterGEMS.

3.4.1 Herramienta Darwin Calibrator

“La calibración es un problema inverso asociado con la identificación y es usado para determinar constantes o parámetros desconocidos en un modelo” (Wasantha 1995), lo cual es necesario para que la simulación hidráulica sea capaz de: primero, reproducir las condiciones observadas en campo calibradas por el software, y luego poder predecir condiciones o escenarios futuros. (Lippo, 2002).

En este análisis la herramienta Darwin Calibrator se utiliza para encontrar la mejor solución calibrada del sistema de estudio (Nulti Centro, Challuabamba, El Plateado). Luego del proceso inicial de calibración, se llevará acabo ajustes individuales para lograr un buen ajuste final del modelo. Los datos de campo a ser utilizados para nuestro análisis son la de las presiones medidas en varios nodos durante condiciones estáticas.

Uno de los grandes beneficios de Darwin Calibrator es que se puede exportar cualquiera de las soluciones como un nuevo escenario en el modelo, de manera de utilizarlo como punto de partida para nuevas modelaciones calibradas o para comparar con modelos anteriores.

En la siguiente figura se muestra la ubicación de la herramienta Darwin Calibrator en el software WaterGEMS.

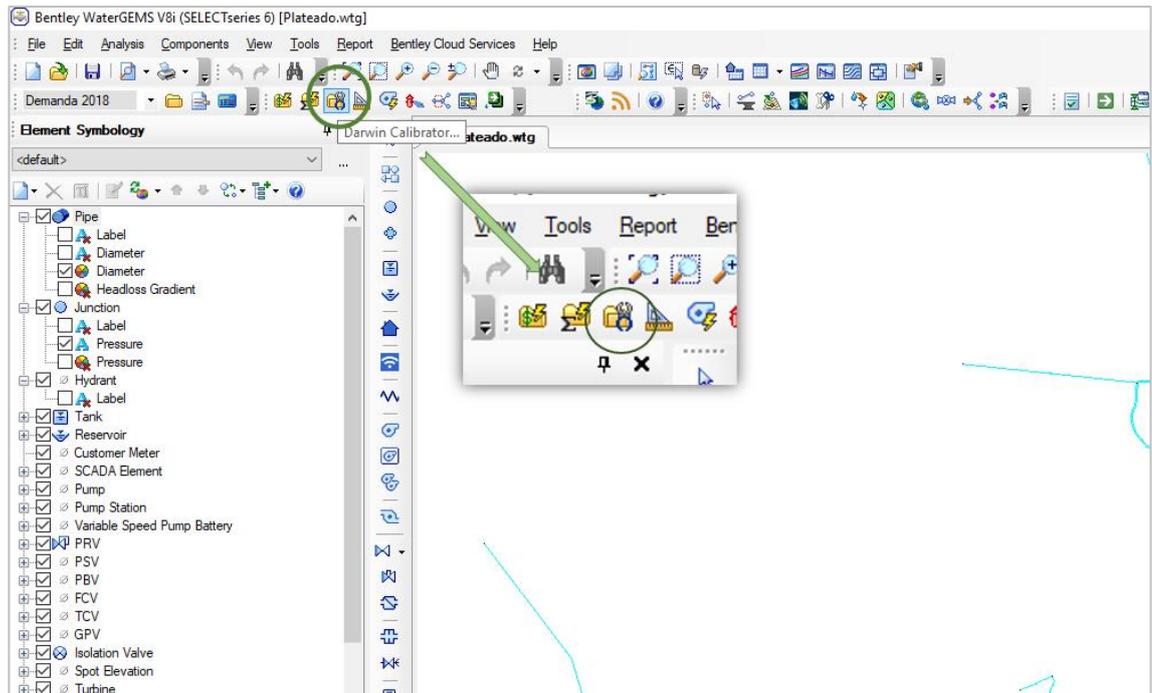


Figura 3.11: Ubicación de la herramienta Darwin Calibrator.

Fuente: autor.

Una vez ejecutada la simulación con el Darwin Calibrator, se obtuvieron las siguientes correlaciones graficas entre el gradiente hidráulico observado y los valores de gradiente hidráulico simulado.

Vale recalcar que el gradiente hidráulico observado se genera a partir de las presiones medidas en campo, y el gradiente hidráulico simulado lo genera el software.

En la figura 3.12, se muestra en la abscisa y en la ordenada el gradiente hidráulico observado y el gradiente hidráulico simulado respectivamente del sector Nulti Centro.

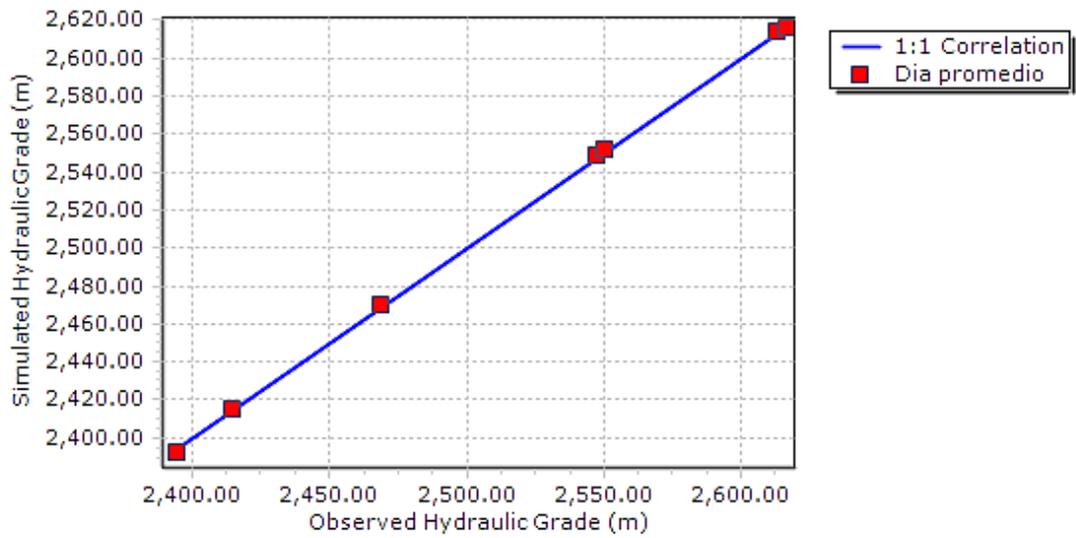


Figura 3.12: Grafica gradiente hidráulico observado – gradiente hidráulico simulado sector Nulti centro

Fuente: Autor

En la figura 3.13, se muestra en la abscisa y en la ordenada el gradiente hidráulico observado y el gradiente hidráulico simulado respectivamente del sector El Plateado.

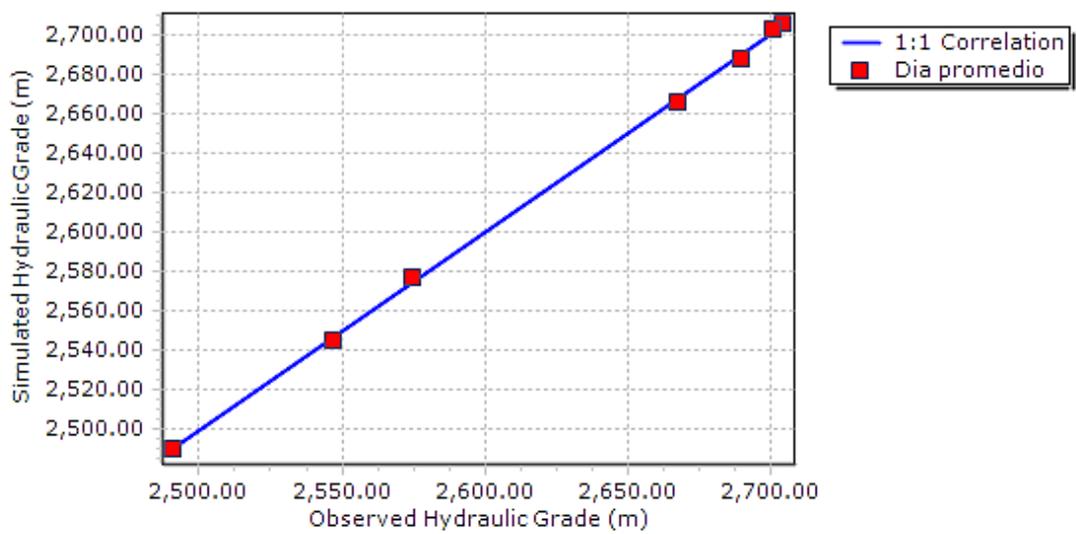


Figura 3.13: Grafica gradiente hidráulico observado – gradiente hidráulico simulado sector El Plateado.

Fuente: Autor

En la figura 3.14, se muestra en la abscisa y en la ordenada el gradiente hidráulico observado y el gradiente hidráulico simulado respectivamente del sector Challuabamba.

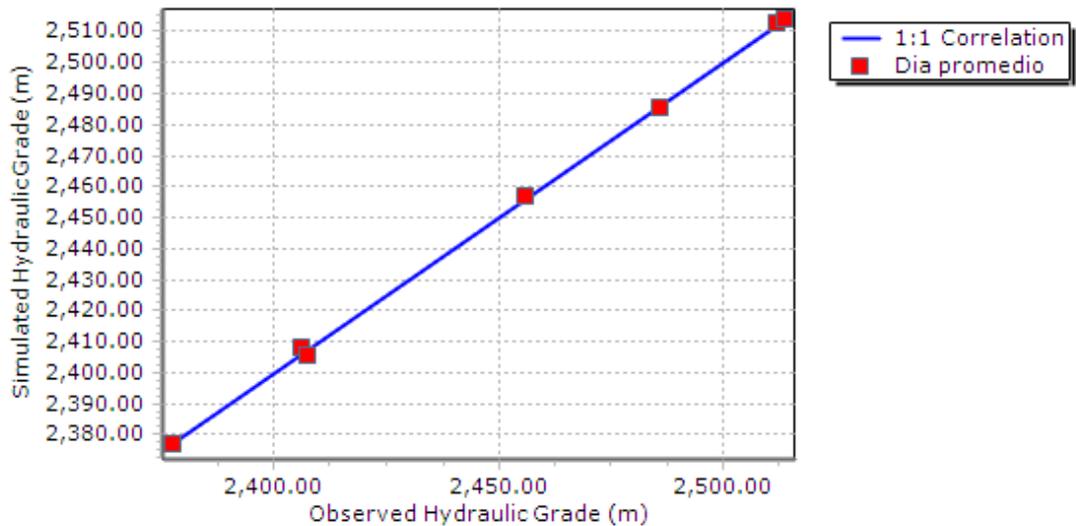


Figura 3.14: Grafica gradiente hidráulico observado – gradiente hidráulico simulado sector Challuabamba.

Fuente: Autor

Posteriormente se presenta en la tabla 3.10 las presiones obtenidas luego de haber aplicado la herramienta Darwin Calibrator del sector Nulti Centro, en donde se observa una calibración no aproximada con valores de presión en el punto 6 y 7 negativos.

Tabla 3.10: Presiones calculadas con el Darwin Calibrator vs presiones medidas – sector Nulti Centro.

Nulti Centro				
Punto	Cooordenadas		Presión calculada (m.c.a.)	Presión medida (m.c.a.)
	X	Y		
1	728727.63	9681335.81	35.2	35.17
2	729630.05	9681283.41	87	89.35
3	730150.10	9682595.02	49.9	50.65
4	731760.68	9682821.41	43.2	45.73
5	730919.49	9683261.33	58.4	58.39
6	732092.44	9685198.79	-7.3	42.21
7	734461.94	9685641.32	-48.7	31.65

Fuente: Autor

En la tabla 3.10 se muestran las presiones obtenidas luego de haber aplicado la herramienta Darwin Calibrator del sector El Plateado, en donde se observa una calibración no aproximada con valores de presión menos precisa con respecto a la calibración de los ERP realizada anteriormente.

Tabla 3.11: Presiones calculadas con el Darwin Calibrator vs presiones medidas – sector El Plateado.

El Plateado				
Punto	Coordenadas		Presión calculada (m.c.a.)	Presión medida (m.c.a.)
	x	y		
1	735822.82	9684224.12	87.8	87.94
2	734975.41	9682854.09	51.5	49.24
3	734012.00	9681914.43	49.6	52.76
4	732852.74	9681797.68	68.3	68.94
5	731885.07	9682530.03	22.5	22.51
6	730526.71	9680948.35	49.2	49.24
7	731679.43	9681530.23	33.7	32.36

Fuente: Autor

En la tabla 3.11 se muestran las presiones obtenidas luego de haber aplicado la herramienta Darwin Calibrator del sector Challuabamba, en donde se observa una calibración no aproximada con valores de presión menos precisa con respecto a la calibración de los ERP realizada anteriormente.

Tabla 3.12: Presiones calculadas con el Darwin Calibrator vs presiones medidas – sector Challuabamba.

Challuabamba				
Punto	Cooordenadas		Presión calculada (m.c.a.)	Presión medida (m.c.a.)
	X	Y		
1	732298.06	9683709.86	87.4	87.94
2	732598.53	9683226.46	38.1	38.69
3	732978.22	9684463.1	40.4	38.69
4	733126.53	9683813.47	37.4	37.99
5	733792.56	9684824.59	79.8	82.31
6	734100.25	9684554.43	39.1	39.39
7	735355.29	9685230.43	37.8	37.99

Fuente: Autor

En la tabla 3.13 se observan los porcentajes de error determinados luego de haber realizado la diferencia entre cada uno de los métodos de análisis en donde el promedio obtenido de los siete puntos del sector Nulti Centro es el porcentaje de error determinado para el sector, el porcentaje más alto es el obtenido luego de la calibración en un estado inicial.

Tabla 3.13: Diferencias y porcentajes de error de los métodos de calibración analizados del sector Nulti Centro.

Nulti Centro												
Presión medida (m.c.a.)	Presión calculada en estado inicial (m.c.a.)	Presión calculada con el sistema Interconectado	Presión calculada modificando la demanda	Presión calculada agregando válvulas controladoras de flujo (FCV)	Presión calculada posterior a la calibración de los ERP (m.c.a.)	Presión calculada posterior a la calibración con el Darwin calibrator(m.c.a.)	DIFERENCIAS					
35.17	93	93	36.9	36.9	35.2	35.2	57.83	57.83	1.73	1.73	0.03	0.03
89.35	72.4	72.4	72.4	89.7	89.7	87	16.95	16.95	16.95	0.35	0.35	2.35
50.65	32.5	32.5	32.5	49.9	49.4	49.9	18.15	18.15	18.15	0.75	1.25	0.75
45.73	45.9	45.9	45.9	48	48	43.2	0.17	0.17	0.17	2.27	2.27	2.53
58.39	-3.1	-3.1	-3.1	60	60	58.4	61.49	61.49	61.49	1.61	1.61	0.01
42.21	1.2	51	43.4	43.4	43.6	-7.3	41.01	8.79	1.19	1.19	1.39	49.51
31.65	-67	57.2	30	30	30.2	-48.7	98.65	25.55	1.65	1.65	1.45	80.35

Porcentaje de error de los métodos de calibración analizados					
164.43%	164.43%	4.92%	4.92%	0.09%	0.09%
18.97%	18.97%	18.97%	0.39%	0.39%	2.63%
35.83%	35.83%	35.83%	1.48%	2.47%	1.48%
0.37%	0.37%	0.37%	4.96%	4.96%	5.53%
105.31%	105.31%	105.31%	2.76%	2.76%	0.02%
97.16%	20.82%	2.82%	2.82%	3.29%	117.29%
311.69%	80.73%	5.21%	5.21%	4.58%	253.87%
104.82%	60.9%	24.8%	3.2%	2.6%	54.4%

Fuente: Autor

En la tabla 3.14 se muestran los resultados de los porcentajes de error de las cuatro calibraciones manuales realizadas en el sector Nulti Centro y de la calibración mediante el Darwin Calibrator, en donde se puede apreciar que el porcentaje de error menor fue de 2.65% el cual corresponde a la calibración manual de los ERP.

Tabla 3.14: Resultados de los porcentajes de error de cada método para el sector Nulti Centro.

Nulti Centro	
Porcentaje de error posterior a la calibración con el sistema interconectado (calibración manual)	60.92%
Porcentaje de error posterior a la modificación de la demanda (calibración manual)	24.78%
Porcentaje de error posterior a las válvulas de control de flujo agregadas (calibración manual)	3.22%
Porcentaje de error posterior a la calibración de los ERP (calibración manual)	2.65%
Porcentaje de error posterior a la calibración con el Darwin calibrator	54.42%

Fuente: Autor

En la tabla 3.15 se observan los porcentajes de error determinados luego de haber realizado la diferencia entre cada uno de los métodos de análisis en donde el promedio obtenido de los siete puntos del sector El Plateado es el porcentaje de error determinado para el sector, el porcentaje más alto es el obtenido luego de la calibración en un estado inicial.

Tabla 3.15: Diferencias y porcentajes de error de los métodos de calibración analizados del sector El Plateado.

El Plateado										
Presión medida (m.c.a.)	Presión calculada en estado inicial (m.c.a.)	Presión calculada posterior a la calibración de los ERP (m.c.a.)	Presión calculada posterior a la calibración con el Darwin calibrator(m.c.a.)	Diferencias (error)			Porcentaje de error de los métodos de calibración analizados			
87.94	77.7	87.8	87.8	10.24	0.14	0.14	11.64%	0.16%	0.16%	
49.24	51.5	51.5	51.5	2.26	2.26	2.26	4.59%	4.59%	4.59%	
52.76	50.6	50.6	49.6	2.16	2.16	3.16	4.09%	4.09%	5.99%	
68.94	21.7	68.3	68.3	47.24	0.64	0.64	68.52%	0.93%	0.93%	
22.51	19.6	22.5	22.5	2.91	0.01	0.01	12.93%	0.04%	0.04%	
49.24	36.9	49.2	49.2	12.34	0.04	0.04	25.06%	0.08%	0.08%	
32.36	33.8	33.8	33.7	1.44	1.44	1.34	4.45%	4.45%	4.14%	
							18.76%	2.05%	2.28%	

Fuente: Autor

En la tabla 3.16 se muestran los resultados de la calibración manual realizada en el sector El Plateado y la calibración mediante el Darwin Calibrator, en donde se puede

apreciar que el porcentaje de error menor fue de 2.05% el cual corresponde a la calibración manual de los ERP.

Tabla 3.16: Resultados de los porcentajes de error de cada método para el sector El Plateado.

El Plateado	
Porcentaje de error posterior a la calibración de los ERP (calibración manual)	2.05%
Porcentaje de error posterior a la calibración con el Darwin calibrator	2.28%

Fuente: Autor

En la tabla 3.17 se observan los porcentajes de error determinados luego de haber realizado la diferencia entre cada uno de los métodos de análisis en donde el promedio obtenido de los siete puntos del sector Challuabamba es el porcentaje de error determinado para el sector, el porcentaje más alto es el obtenido luego de la calibración en un estado inicial.

Tabla 3.17: Diferencias y porcentajes de error de los métodos de calibración analizados del sector Challuabamba.

Challuabamba									
Presión medida (m.c.a.)	Presión calculada en estado inicial (m.c.a.)	Presión calculada posterior a la calibración de los ERP (m.c.a.)	Presión calculada posterior a la calibración con el Darwin calibrator(m.c.a.)	Diferencias (error)			Porcentaje de error de los métodos de calibración analizados		
87.94	88.6	88.6	87.4	0.66	0.66	0.54	0.75%	0.75%	0.61%
38.69	38.8	38.8	38.1	0.11	0.11	0.59	0.28%	0.28%	1.52%
38.69	40.7	40.5	40.4	2.01	1.81	1.71	5.20%	4.68%	4.42%
37.99	38.5	38	37.4	0.51	0.01	0.59	1.34%	0.03%	1.55%
82.31	80.6	80.4	79.8	1.71	1.91	2.51	2.08%	2.32%	3.05%
39.39	39	39.4	39.1	0.39	0.01	0.29	0.99%	0.03%	0.74%
37.99	38	38	37.8	0.01	0.01	0.19	0.03%	0.03%	0.50%
							1.52%	1.16%	1.77%

Fuente: Autor

En la tabla 3.18 se muestran los resultados de la calibración manual realizada en el sector El Plateado y la calibración mediante el Darwin Calibrator, en donde se puede apreciar que el porcentaje de error menor fue de 1.16 % el cual corresponde a la calibración manual de los ERP.

Tabla 3.18: Resultados de los porcentajes de error de cada método para el sector Challuabamba.

Challuabamba	
Porcentaje de error posterior a la calibración de los ERP (calibración manual)	1.16%
Porcentaje de error posterior a la calibración con el Darwin calibrator	1.77%

Fuente: Autor

Debido a los resultados obtenidos, se establece que el mejor método de calibración es por el método manual para los tres sistemas, en donde se modificó los valores de las estaciones reductoras de presión (ERP) que se encuentran integradas en las redes de los diferentes sectores.

Por lo tanto, los posteriores cálculos se realizan en base al mejor resultado obtenido del método de calibración para cada sector correspondiente.

En los anexos del 1 al 7 se puede observar el cambio de valores que se realizaron en los elementos y los elementos agregados, para tener una mejor calibración.

3.4.2 Presiones 2018

Una vez validado el modelo hidráulico, se obtienen las presiones simuladas por el software que se generan en cada uno de los nodos de las redes para la demanda del año 2018, las cuales se pueden apreciar a continuación en las figuras 3.9, 3.10 y 3.11.

Para un mejor entendimiento de las presiones en la red se las ha clasificado dentro de rangos de valores, con un color específico por rango, siendo de color rojo aquellas presiones en la red que son iguales o están por debajo de cero, y de color rosa aquellas presiones que superan el valor de 70 metros de columna de agua. Anteriormente, al inicio del capítulo, se indicó los valores de presiones que el Código Ecuatoriano de la Construcción establece, y en base a este se ha considerado como valores óptimos de presión a los que se encuentran comprendidos dentro del rango de 20 a 50 metros de columna de agua. Estos valores óptimos de presión en la modelación hidráulica se los indica con un color Azul.



Figura 3.15: Rango de presiones

Fuente: Autor

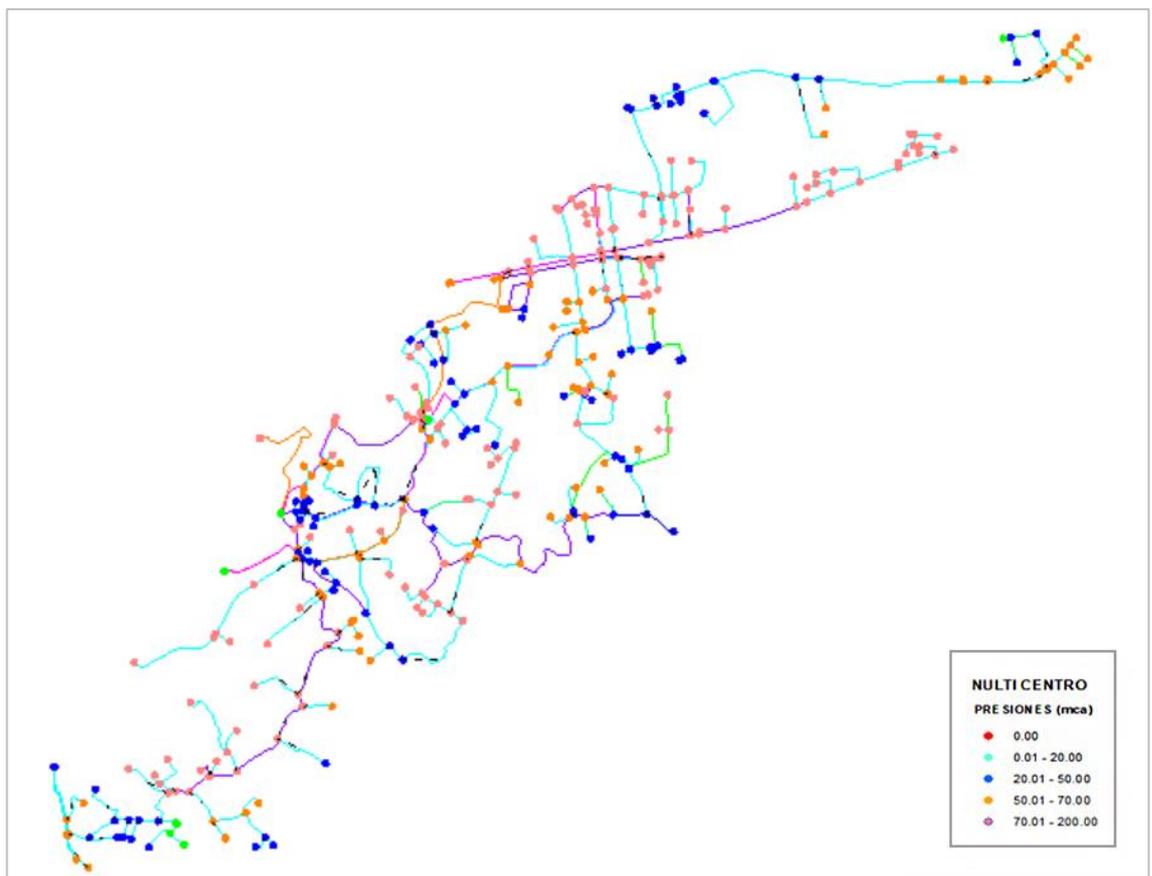


Figura 3.16: Presiones 2018 - sector Nulti Centro.

Fuente: Autor

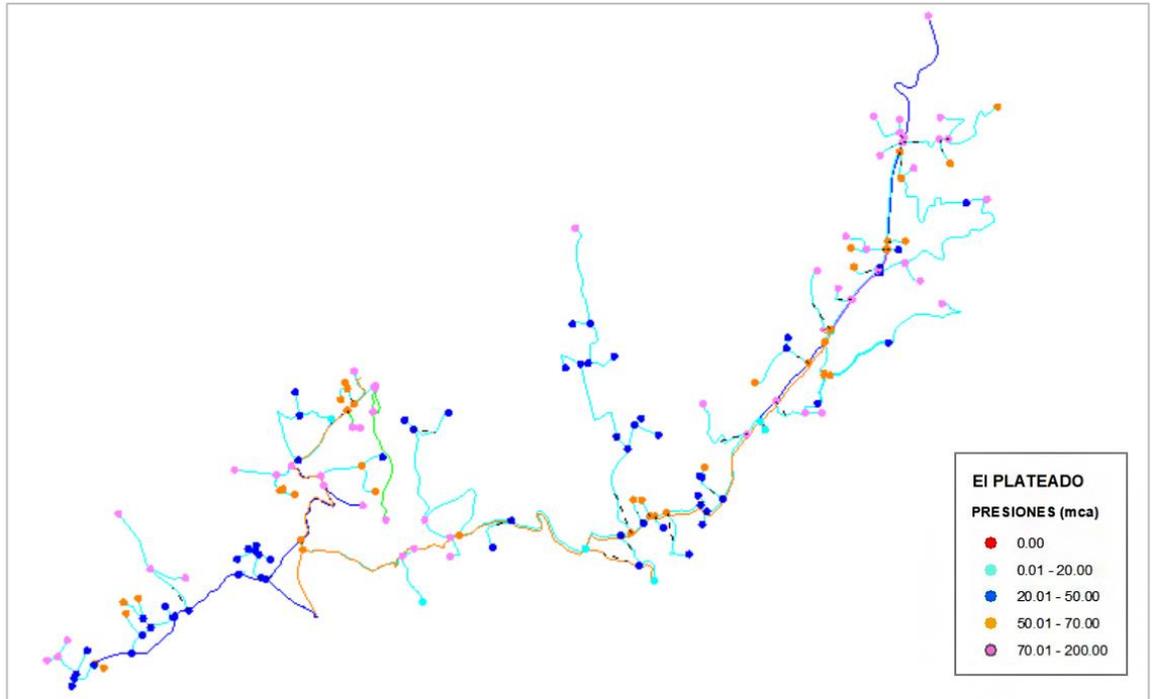


Figura 3.17: Presiones 2018 - sector El Plateado.

Fuente: Autor

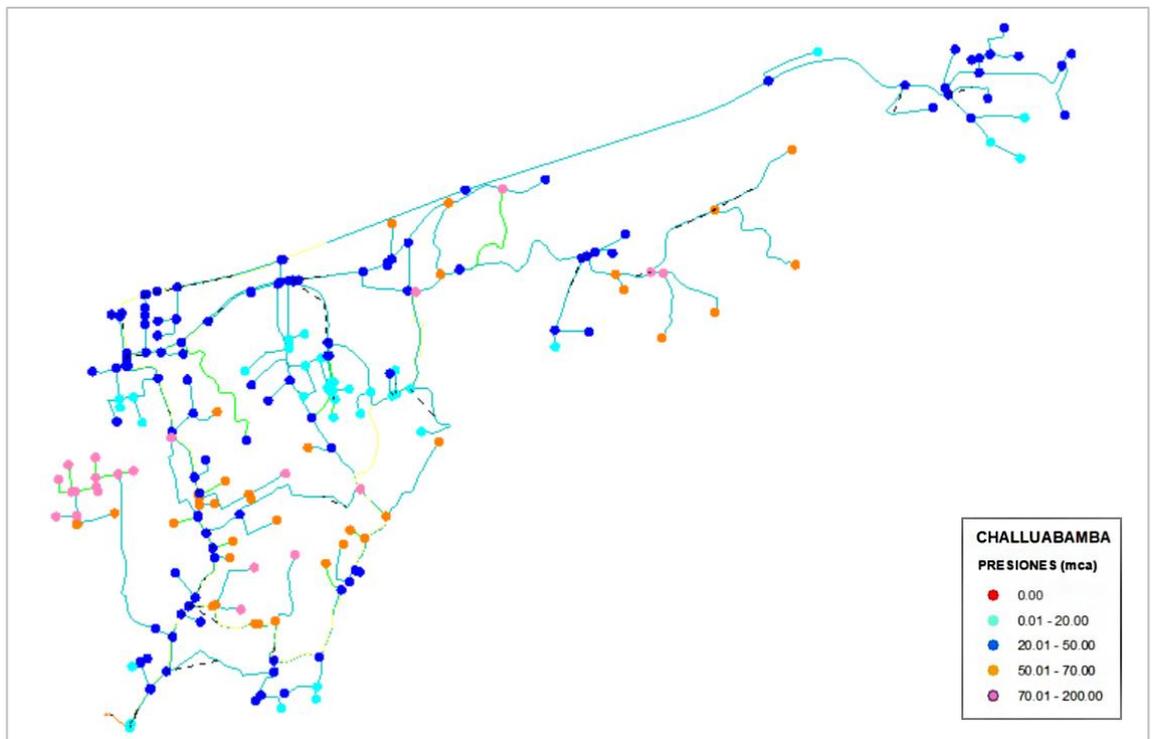


Figura 3.18: Presiones 2018 - sector Challuabamba.

Fuente: Autor

El porcentaje de presiones óptimas que se obtuvieron en el sector Nulti Centro es del 27.04%, en el sector El Plateado del 36.16%, y para el sector Challuabamba del 54.22%. Todos estos resultados se presentarán posteriormente, al final del capítulo, en el inciso de Análisis y Comparación de resultados.

Una vez calculadas todas las presiones en los nodos, mediante los modelos matemáticos que usa el software, es necesario que algunas presiones sean medidas en campo para poder realizar la calibración del modelo. Lo que se pretende conseguir con la calibración de modelo, es que las pequeñas variaciones de presión sean corregidas en las simulaciones hidráulicas.

3.5 Curvas de consumo

Cuando hablamos de curvas de consumo sabemos que trabajaremos con el concepto de período extendido.

“La curva de consumo diario representa la relación entre la cantidad de agua que se está consumiendo por usuario y la hora en la que se produce dicho consumo. La curva de consumo diario es muy útil para determinar el caudal que se debe producir y suministrar a la red de distribución y que es consumida por los usuarios de la misma.” (Jinde, 2017)

En la elaboración de las curvas de consumo se utilizan patrones de uso. Los patrones de uso son factores de consumo; son valores que generalmente se encuentran entre un número de 0 a 2.

Es necesario mencionar que las mediciones de presión se deben realizar en diferentes horarios, es decir en las horas de máxima demanda u horas pico y en horas normales de consumo. Debido a que existe una relación entre el consumo y la presión de agua, se puede llegar a determinar las curvas de consumo para los diferentes sectores. Para ello, además de las presiones medidas en horas normales de consumo se midieron otras presiones en los mismos puntos, pero a las horas de máxima demanda.

En la tabla 3.19 se presentan las presiones medidas en hora normal y en hora de máxima demanda del sector Nulti Centro en donde se observa que el valor de presión en la hora normal es mayor al valor de presión en hora de máxima demanda, y en ciertos puntos se encuentran valores similares.

Tabla 3.19: Presiones en hora normal y en hora de máxima demanda – sector Nulti Centro.

Nulti Centro		
Punto	Presión medida en hora normal (m.c.a.)	Presión medida en hora de máxima demanda (m.c.a.)
1	35.17	35.17
2	89.35	88.64
3	50.65	49.24
4	45.73	45.73
5	58.39	58.39
6	42.21	38.65
7	31.65	24.62

Fuente: Autor

En la tabla 3.20 se presentan las presiones medidas en hora normal y en hora de máxima demanda del sector El Plateado en donde se observa que el valor de presión en la hora normal es mayor al valor de presión en hora de máxima demanda, y en ciertos puntos se encuentran valores similares.

Tabla 3.20: Presiones en hora normal y en hora de máxima demanda – sector El Plateado.

El Plateado		
Punto	Presión medida en hora normal (m.c.a.)	Presión medida en hora de máxima demanda (m.c.a.)
1	87.94	84.42
2	49.24	47.84
3	52.76	49.24
4	68.94	66.83
5	22.51	21.1
6	49.24	49.24
7	32.36	31.65

Fuente: Autor

En la tabla 3.21 se presentan las presiones medidas en hora normal y en hora de máxima demanda del sector Challuabamba en donde se observa que el valor de presión en la hora normal es mayor al valor de presión en hora de máxima demanda, y en ciertos puntos se encuentran valores similares.

Tabla 3.21: Presiones en hora normal y en hora de máxima demanda – sector Challuabamba.

Challuabamba		
Punto	Presión medida en hora normal (m.c.a.)	Presión medida en hora de máxima demanda (m.c.a.)
1	87.94	82.31
2	38.69	35.17
3	38.69	38.69
4	37.99	35.17
5	82.31	77.39
6	39.39	38.69
7	37.99	36.58

Fuente: Autor

Mediante estas presiones medidas, y en un proceso de iteración, se consigue determinar los valores de los factores de consumo y estructurar las curvas de consumo.

Seguidamente en la figura 3.19 se presenta la variación del consumo de agua para un día promedio en el sector de Nulti Centro.

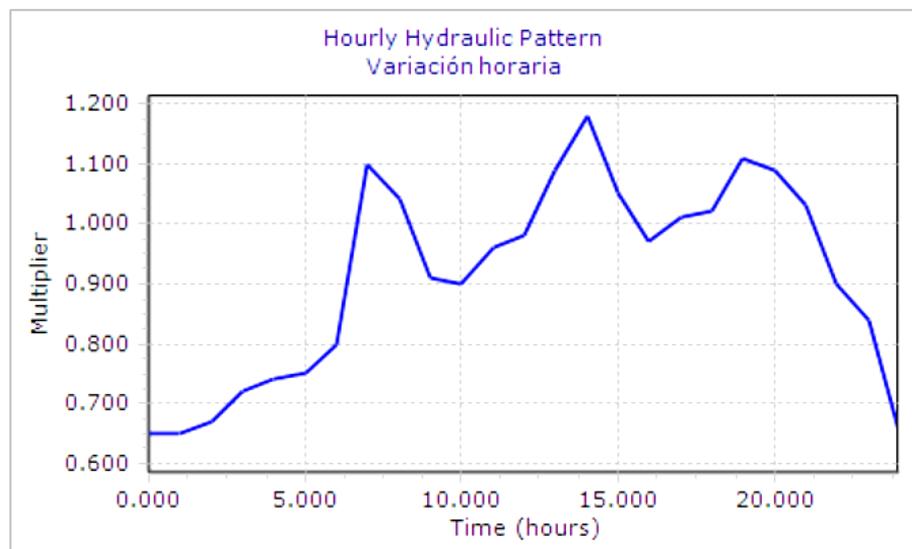


Figura 3.19: Curva de consumo – sector Nulti Centro.

Fuente: Autor

Seguidamente en la figura 3.20 se presenta la variación del consumo de agua para un día promedio en el sector de El Plateado.

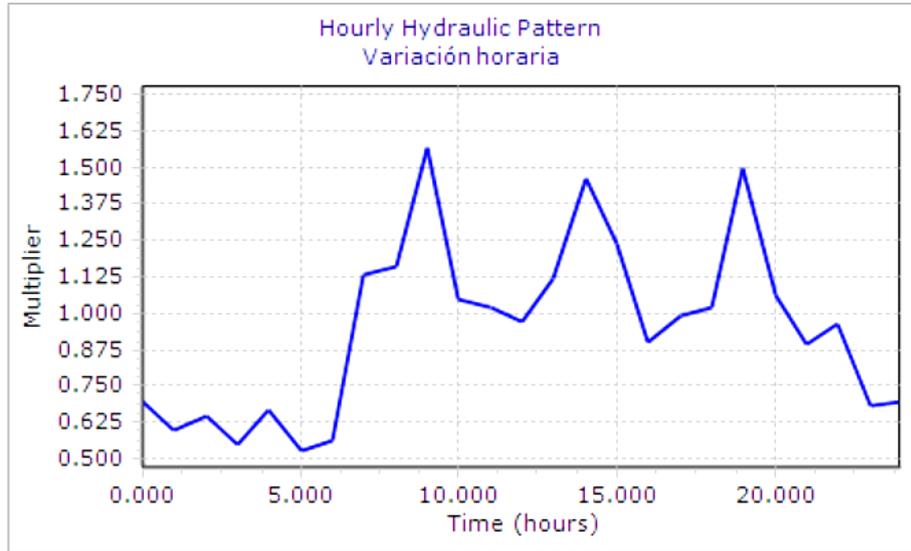


Figura 3.20: Curva de consumo – sector El Plateado.

Fuente: Autor

Seguidamente en la figura 3.21 se presenta la variación del consumo de agua para un día promedio en el sector Challuabamba.

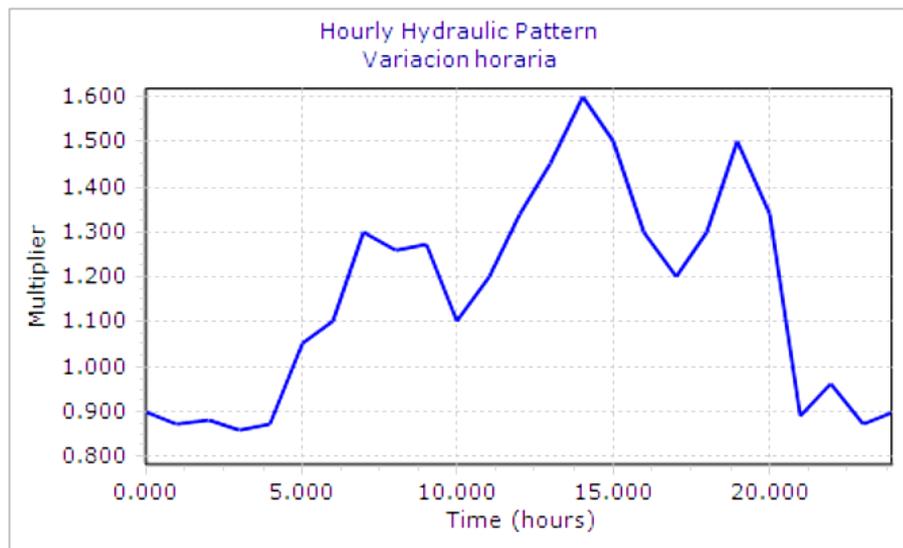


Figura 3.21: Curva de consumo – sector Challuabamba.

Fuente: Autor

En un caso general, como se pudo apreciar en las figuras presentadas, las curvas de consumo tendrán como puntos de máxima demanda alrededor de las 8:00, 14:00 y 19:00 horas; sin embargo, el consumo que se aprecia para estas horas de máxima demanda es un tanto variable para cada sector.

Una vez que se ha llegado a determinar las curvas de consumo mediante el proceso iterativo con todos los valores de presiones medidas, se puede ver la variación de presión que tendrá cada punto de manera independiente a lo largo del día.

Se indica en la figura 3.22 un extracto de como varía la presión en función de la demanda para el PUNTO 7 del sector Challuabamba.

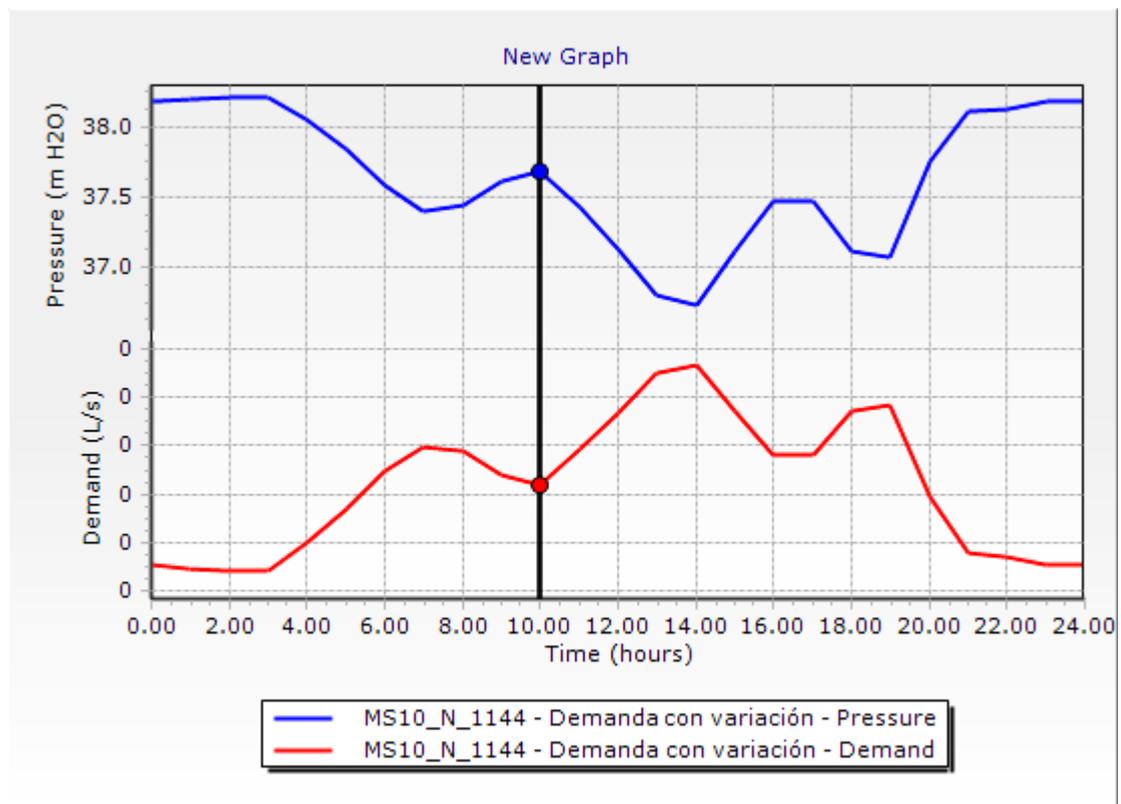


Figura 3.22: Variación horaria de presión y demanda del Punto 7 – Challuabamba.

Fuente: Autor

Se identifica entonces que la presión medida a hora normal (valor medido aproximadamente a las 10:00 horas) tiene un valor muy aproximado al de la figura 3.22, 37.7 metros de columna de agua; y la presión medida a hora de máxima demanda (valor medido aproximadamente a las 13:00 horas), de igual manera, tiene un valor muy aproximado al de la misma figura, 36.8 metros de columna de agua.

Las gráficas de variación horaria de presión y demanda, de los puntos en los que se tomaron las presiones de los diferentes sectores se podrán observar en los anexos del 8 al 28.

3.6 Simulaciones en períodos de 5 años

Una vez realizada la calibración del modelo actual (año 2018), se van a validar las simulaciones hidráulicas para periodos futuros, esto se lo realizará con resultados de caudales obtenidos en las tablas 2,6 y 2,9 para cargar a la demanda de cada nodo y obtener las presiones de estas simulaciones hidráulicas.

3.6.1 Cálculo 2025

En las siguientes figuras se observa el rango de presiones obtenidas en cada uno de los sectores de análisis para el año 2025.

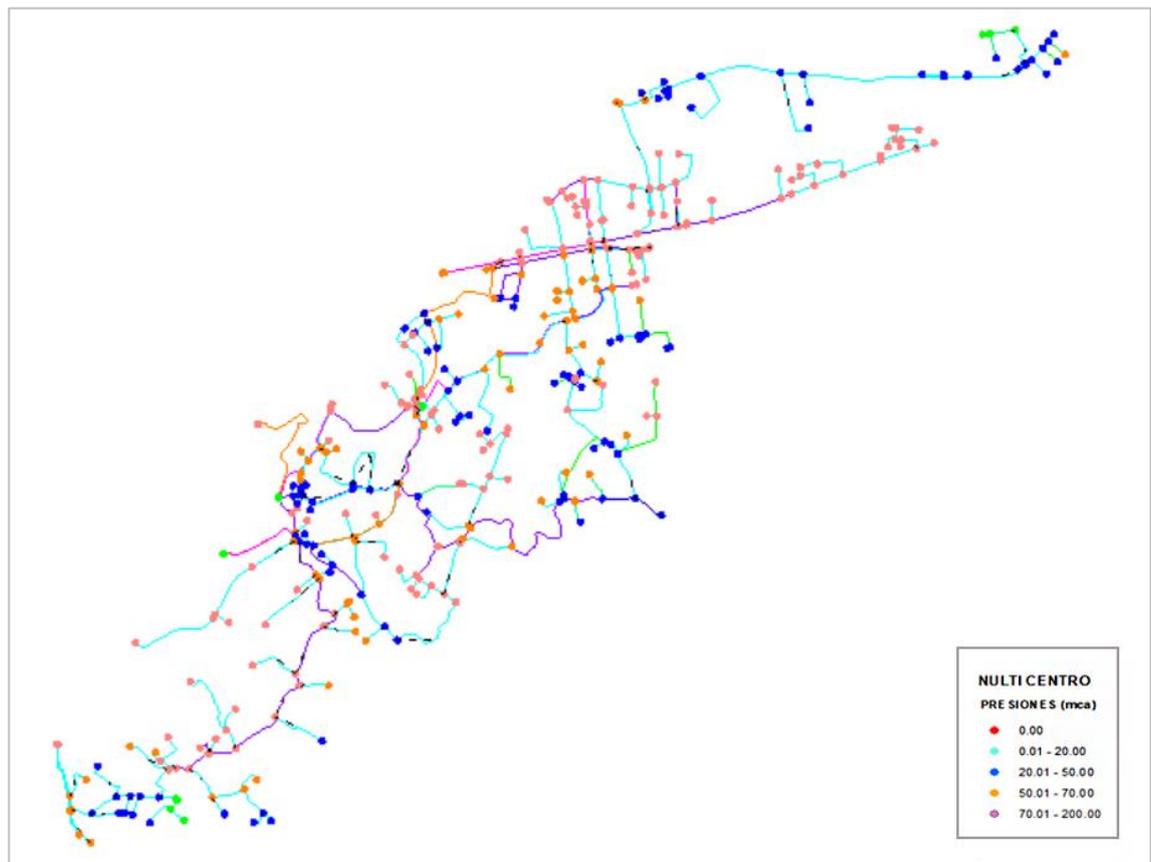


Figura 3.23: Presiones 2025 – sector Multi Centro.

Fuente: autor

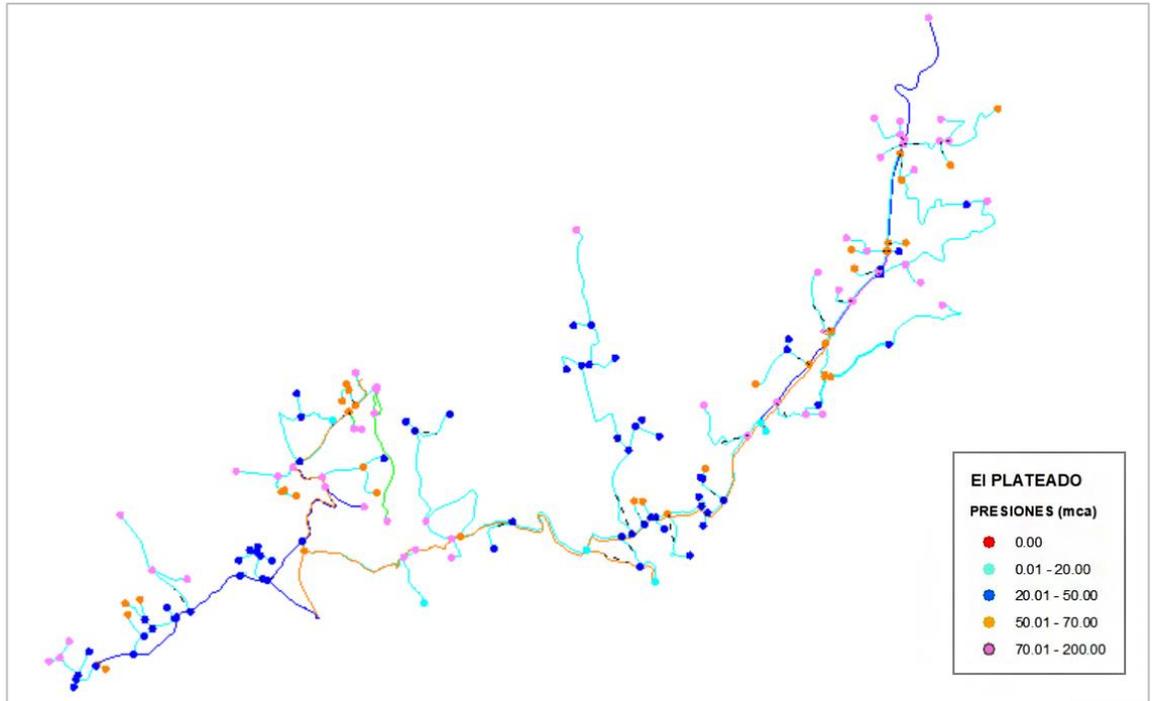


Figura 3.24: Presiones 2025 – sector El Plateado.

Fuente: autor

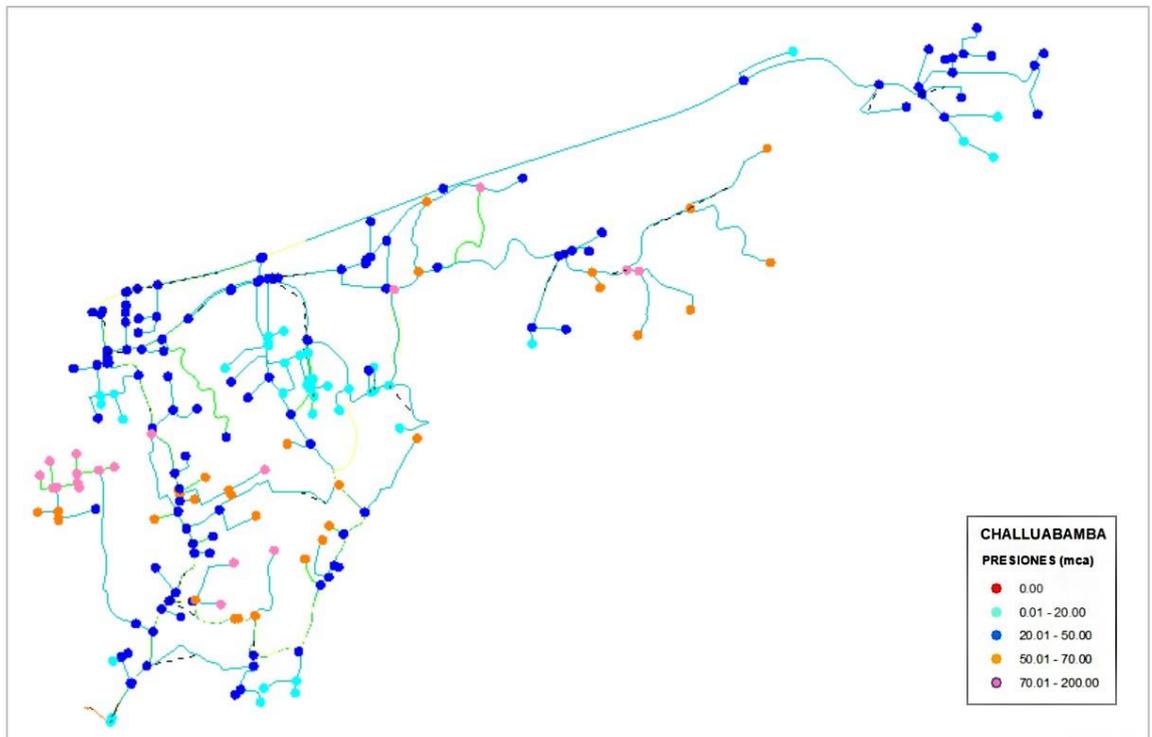


Figura 3.25: Presiones 2025 – sector Challuabamba.

Fuente: autor

3.6.2 Cálculo 2030

En las siguientes figuras se observa el rango de presiones obtenidas en cada uno de los sectores de análisis para el año 2030.

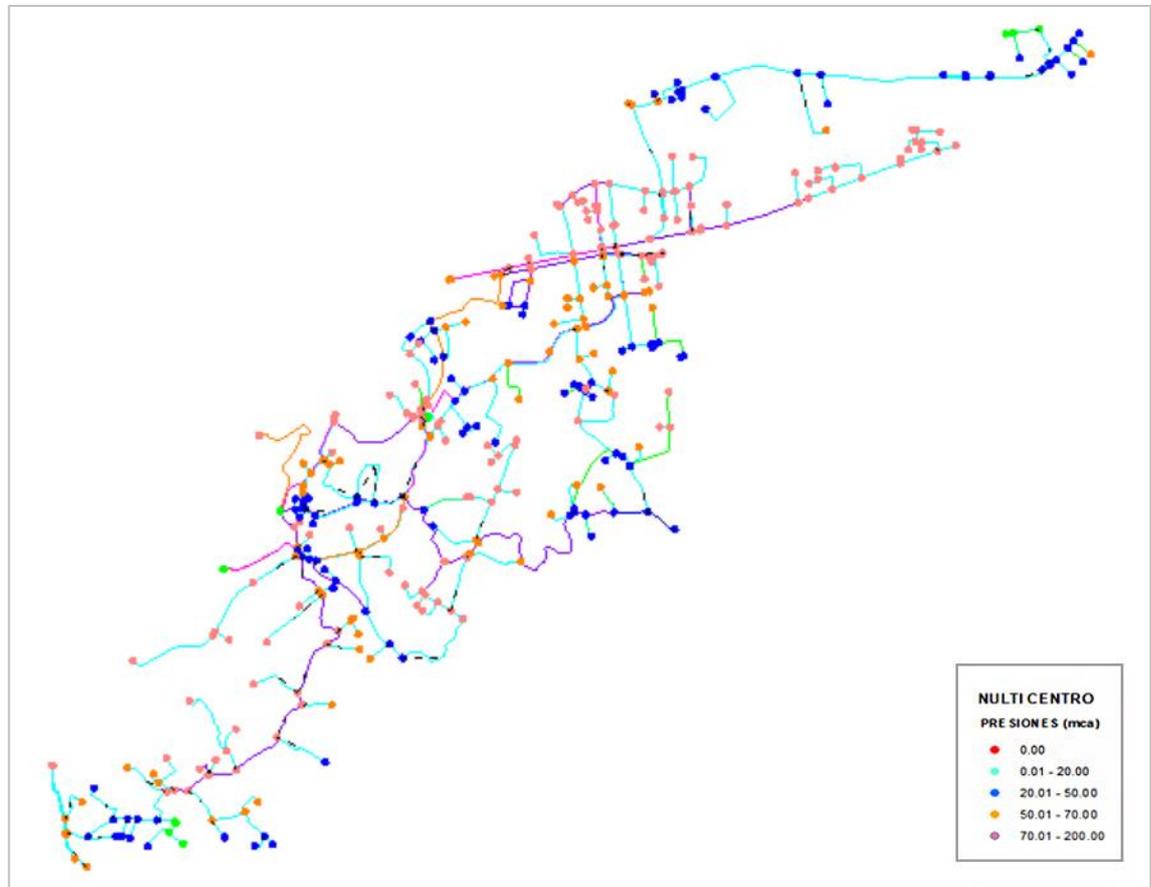


Figura 3.26: Presiones 2030 – sector Multi Centro.

Fuente: autor

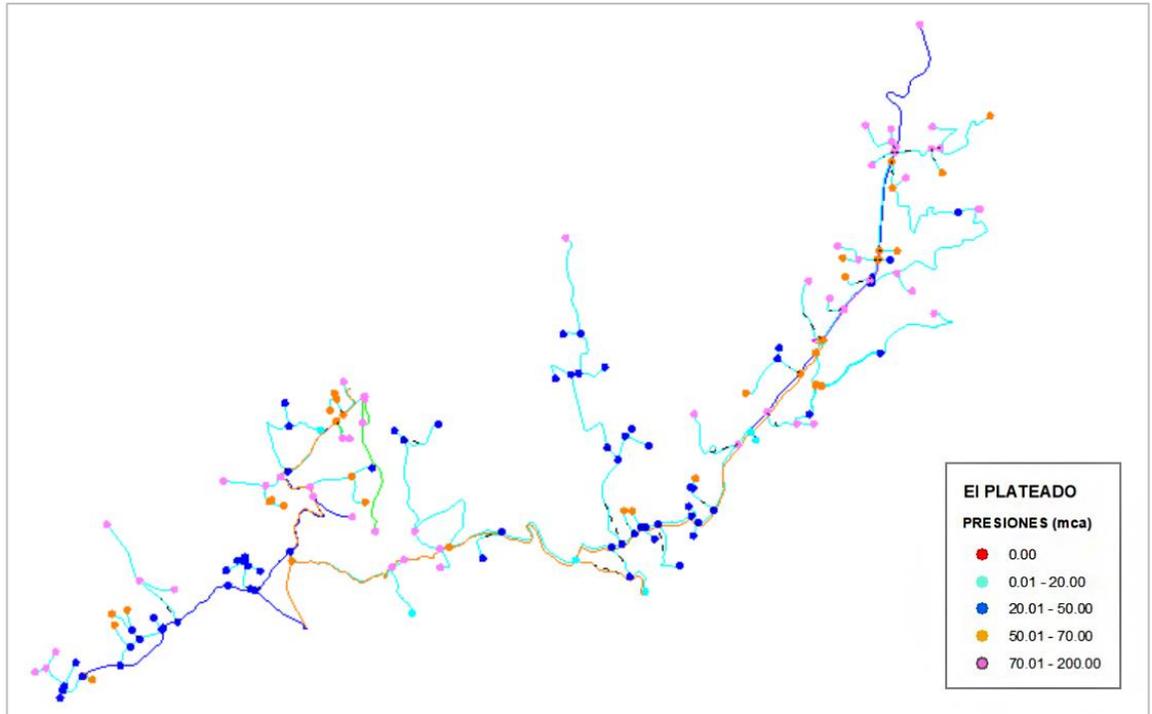


Figura 3.27: Presiones 2030 – sector El Plateado.

Fuente: autor

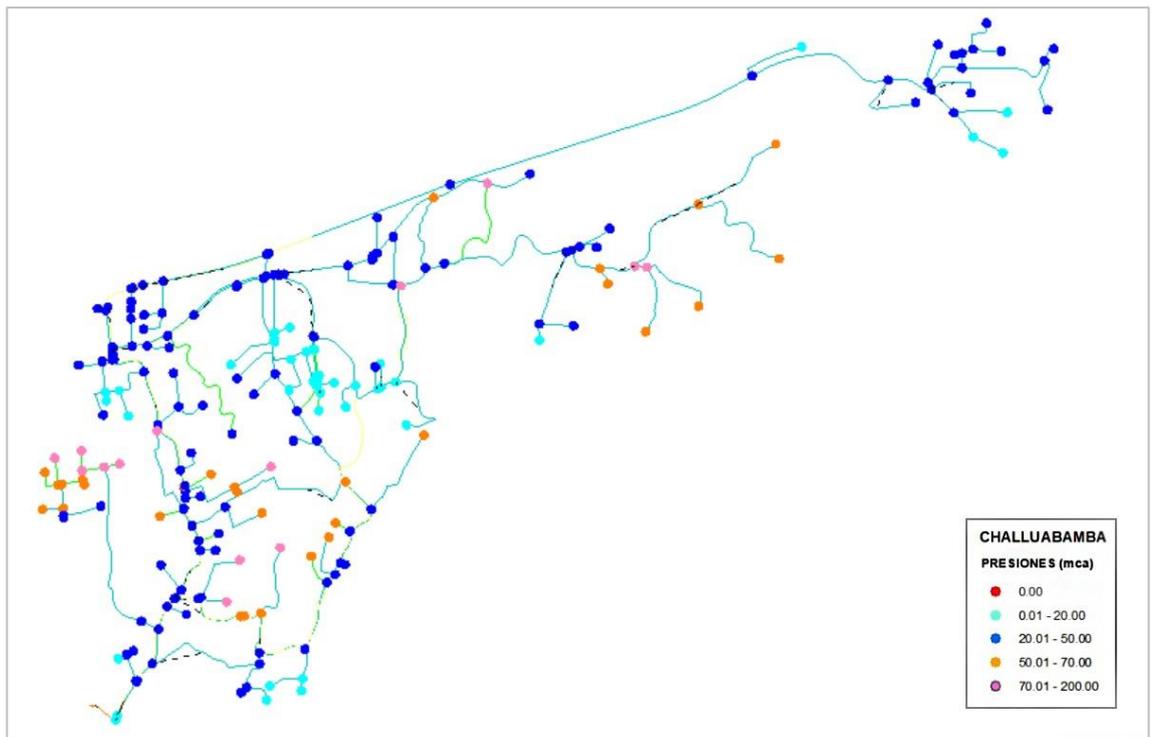


Figura 3.28: Presiones 2030 – sector Challuabamba.

Fuente: autor

3.7 Análisis y comparación de los diferentes resultados

Los resultados obtenidos en el software WaterGEMS nos indican bajo qué condiciones se encuentran trabajando los nodos y las tuberías de las redes de los sectores de Nulti Centro, El Plateado y Challuabamba. En las siguientes tablas y gráficos tipo pastel podremos observar los diferentes resultados en porcentaje, de las presiones en nodos y pérdidas unitarias en las tuberías que fueron obtenidos una vez que se concluyó con la calibración de los modelos hidráulicos.

Tanto para presiones como para perdidas unitarias, se establecieron rangos en los que se clasificó los resultados obtenidos; esto para poder tener un mejor entendimiento de cuáles son las condiciones predominantes en cada sector.

Para el caso de presiones se podrá identificar que en el sector de Nulti Centro predominan los valores de presión de entre 70 a 100 m.c.a., valores que no son los óptimos; se puede trabajar con dichos valores, sin embargo, se recomendaría que se trate de optimizarlos. Por otra parte, en los sectores de El Plateado y Challuabamba se puede ver claramente que la mayor parte de valores de presión se encuentran dentro del rango de presión óptima, de entre 20 a 50 m.c.a.

En el caso de pérdidas unitarias en tuberías, para los tres sectores en cuestión, se puede identificar de manera muy clara que la mayor parte de las pérdidas unitarias se encuentran en el rango óptimo de entre 0 a 7 m/km, estableciendo estos valores de pérdidas unitarias en dicho rango con más del 90% para los tres casos.

Tabla 3.22: Presiones – Nulti Centro.

Nodos Nulti Centro						
m.c.a.	2018		2025		2030	
0	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
0 - 20	8	2.04%	12	3.06%	12	3.06%
20 - 50	106	27.04%	121	30.87%	121	30.87%
50 - 70	103	26.28%	88	22.45%	91	23.21%
70 - 100	133	33.93%	171	43.62%	168	42.86%
>100	42	10.71%	37	9.44%	35	8.93%
Total	392	100%	392	100%	392	100%

Fuente: Autor

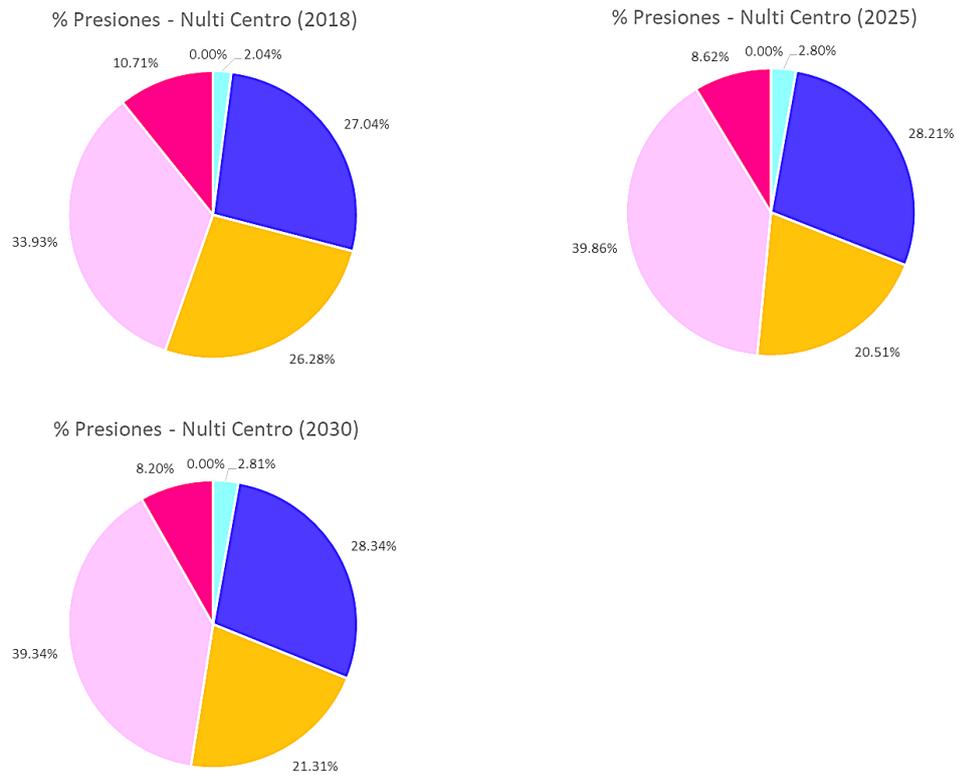


Figura 3.29: Representación gráfica de presiones – Nulti Centro.

Fuente: Autor

Tabla 3.23: Presiones – El Plateado.

Nodos El Plateado						
m.c.a.	2018		2025		2030	
0	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
0 - 20	7	3.95%	7	3.95%	7	3.95%
20 - 50	64	36.16%	68	38.42%	69	38.98%
50 - 70	47	26.55%	43	24.29%	42	23.73%
> 70	59	33.33%	59	33.33%	59	33.33%
Total	177	100%	177	100%	177	100%

Fuente: Autor

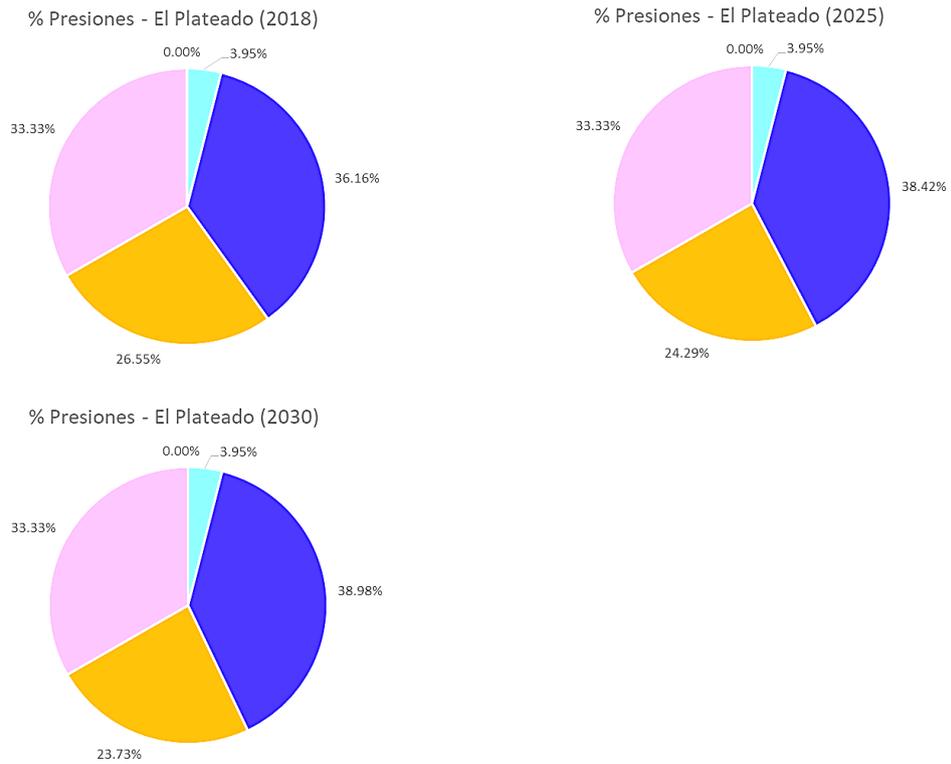


Figura 3.30: Representación gráfica de presiones – El Plateado.

Fuente: Autor

Tabla 3.24: Presiones - Challuabamba.

Nodos Challuabamba						
m.c.a.	2018		2025		2030	
0	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
0 - 20	39	17.33%	41	18.22%	44	19.56%
20 - 50	122	54.22%	129	57.33%	133	59.11%
50 - 70	38	16.89%	33	14.67%	33	14.67%
> 70	26	11.56%	22	9.78%	15	6.67%
Total	225	100%	225	100%	225	100%

Fuente: Autor

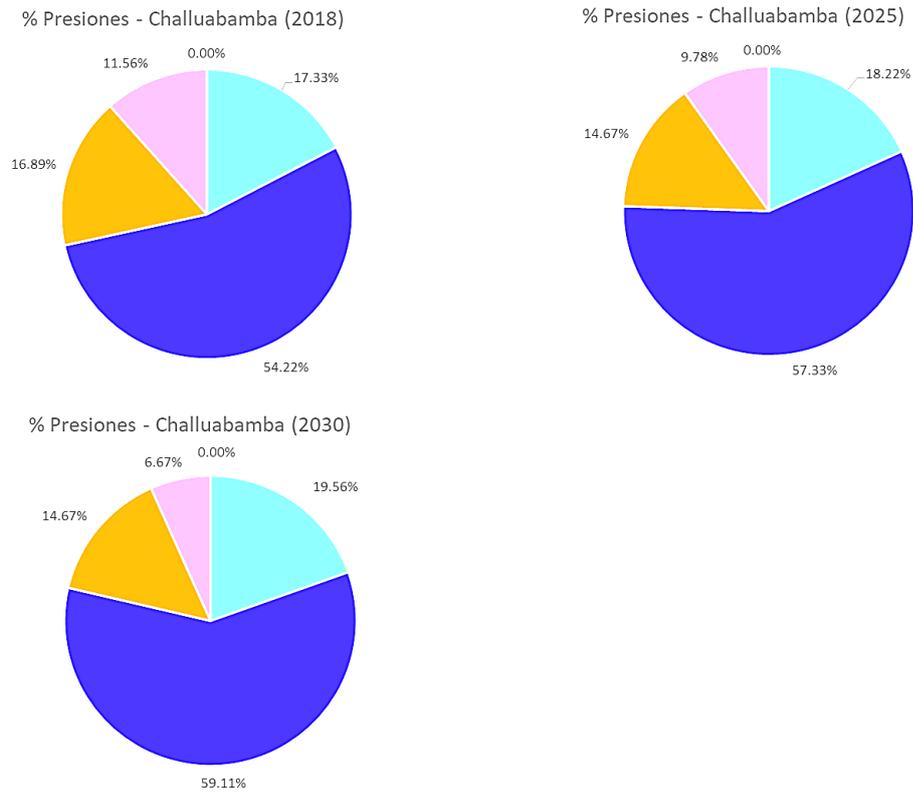


Figura 3.31: Representación gráfica de presiones - Challuabamba.

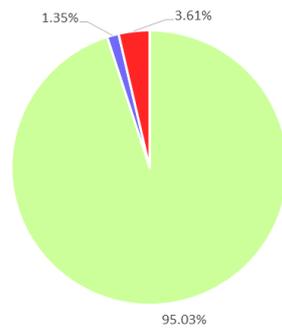
Fuente: Autor

Tabla 3.25: Perdidas unitarias – sector Nulti Centro.

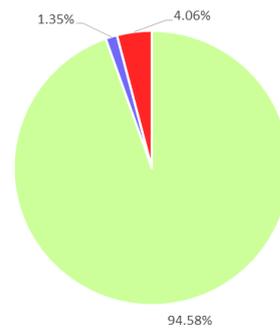
Tuberías Nulti Centro						
m/km	2018		2025		2030	
0 - 7	421	95.03%	419	94.58%	413	93.23%
7 - 12	6	1.35%	6	1.35%	10	2.26%
> 12	16	3.61%	18	4.06%	20	4.51%
Total	443	100%	443	100%	443	100.00%

Fuente: Autor

% Perdidas Unitarias - Nulti Centro (2018)



% Perdidas Unitarias - Nulti Centro (2025)



% Perdidas Unitarias - Nulti Centro (2030)

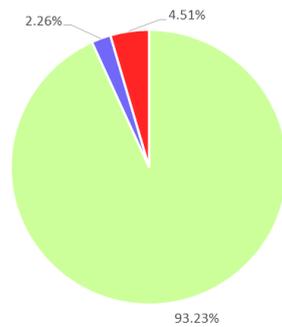


Figura 3.32: Representación gráfica de perdidas unitarias – Nulti Centro.

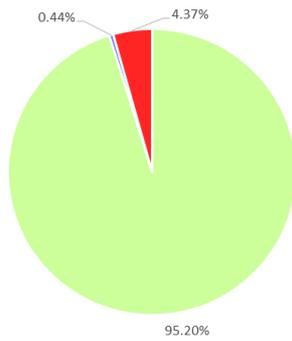
Fuente: Autor

Tabla 3.26: Perdidas unitarias – sector El Plateado.

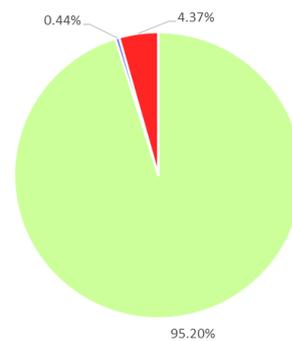
Tuberías El Plateado						
m/km	2018		2025		2030	
0 - 7	218	95.20%	218	95.20%	218	95.20%
7 - 12	1	0.44%	1	0.44%	0	0.00%
> 12	10	4.37%	10	4.37%	11	4.80%
Total	229	100%	229	100%	229	100.00%

Fuente: Autor

% Perdidas Unitarias - El Plateado (2018)



% Perdidas Unitarias - El Plateado (2025)



% Perdidas Unitarias - El Plateado (2030)

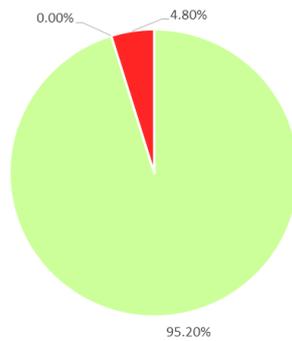


Figura 3.33: Representación gráfica de perdidas unitarias – El Plateado.

Fuente: Autor

Tabla 3.27: Perdidas unitarias – sector Challuabamba.

Tuberías Challuabamba						
m/km	2018		2025		2030	
0 - 7	219	90.12%	216	88.89%	210	86.42%
7 - 12	3	1.23%	6	2.47%	10	4.12%
> 12	21	8.64%	21	8.64%	23	9.47%
Total	243	100%	243	100%	243	100.00%

Fuente: Autor

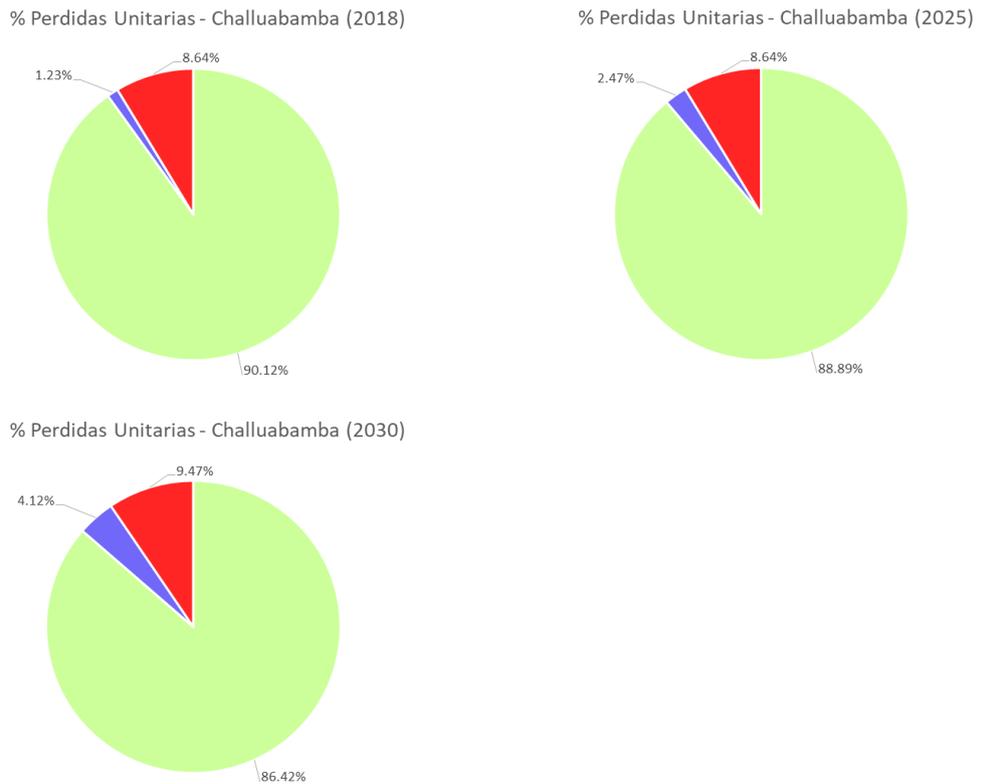


Figura 3.34: Representación gráfica de perdidas unitarias – Challuabamba.

Fuente: Autor

3.8 Conclusiones de la calibración

La calibración de los diferentes modelos hidráulicos de Nulti Centro, El Plateado y Challuabamba se la realizó en pasos.

Una vez verificadas que las conexiones de las tuberías hayan sido las correctas y cargando las demandas para cada uno de los nodos, se realizó una evaluación inicial

de las presiones obtenidas en el software para compararlas con los valores medidos en campo. Se observó entonces que varios resultados de presiones calculadas no coincidían con las presiones medidas, por lo que para el caso de Nulti Centro se procedió por evaluar y modificar demandas en nodos, agregar válvulas reguladoras de caudal, y modificar condiciones iniciales de varios accesorios hidráulicos; por otro lado, en el sector de El plateado y Challuabamba, únicamente se modificaron condiciones iniciales de accesorios hidráulicos, como son las estaciones reguladoras de presión.

Todos estos cambios que se realizaron en los modelos hidráulicos, forman parte del conjunto de calibración por método manual, procediendo posteriormente después de este con el método de calibración por el Darwin Calibrator que proporciona el Software WaterGems; sin embargo, a pesar de que el gradiente hidráulico simulado durante la calibración en el Software es muy similar al gradiente hidráulico observado, los valores de los coeficientes de Chow modificados durante la calibración son imposibles de obtenerlos en la realidad, presentándose además errores de presiones al momento de correr la simulación.

Por lo tanto, se concluye que una adecuada calibración de los modelos hidráulicos de Nulti Centro, El Plateado y Challuabamba, se la realiza de mejor manera cuando se conoce las condiciones reales de la red (condiciones de operación de accesorios, demandas congruentes al número de usuarios, niveles de operación de los tanques de distribución, etc.) y se lleva a cabo por métodos de calibración manual antes que procediendo por el método logarítmico que usa el software.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

Para la construcción de los modelos hidráulicos se recopiló toda la información necesaria de los diferentes sectores de la parroquia Nulti, proporcionada por la empresa ETAPA EP. Posteriormente, para el manejo de esta información, se utilizaron los softwares AutoCAD Map y ArcMap, en los cuales se consiguió discretizar la información de la manera más adecuada.

Con la recopilación de información de Nulti Centro, El Plateado y Challuabamba, se procedió por actualizar el modelo hidráulico de cada sector respectivo. En esta etapa del proyecto se determinó elementos y datos necesarios para llegar validarlos en la etapa final como, por ejemplo: configuración de nuevos elementos hidráulicos, condición de operación de accesorios hidráulicos, áreas de aporte, proyección y cálculo de poblaciones, demandas reales para nodos, caudales de distribución, etc.

Dentro de los modelos hidráulicos actualizados se definieron diferentes escenarios de evaluación correspondientes a los años 2018, 2025, 2030, en los cuales se llevó a cabo diferentes simulaciones hidráulicas. Para el año 2018 se puede contar con información real de campo con lo que se pudo calibrar los diferentes modelos hidráulicos, concluyendo que la mejor calibración para los diferentes modelos fue una calibración manual, antes que una calibración por software.

De manera general, se concluye que para llegar a una calibración óptima de los modelos hidráulicos es muy importante verificar que las conexiones de las tuberías sean las correctas en los catastros, verificar los niveles de agua en los tanques que abastecen a los sectores y sobre todo que exista un consumo que sea acorde al número de usuarios en las diferentes zonas de los sectores. Es entonces que los modelos hidráulicos de Nulti Centro, El Plateado y Challuabamba cuentan con resultados muy aproximados a los medidos en campo, por lo que se puede decir que los modelos hidráulicos se encuentran en un equilibrio entre lo modelado y lo que verdaderamente se encuentra sucediendo en el entorno; es decir, los modelos hidráulicos se encuentran calibrados, haciendo posible que se pueda obtener información real de ellos y que

además mediante estos se pueda llegar a establecer políticas de mejora en la operación de las redes de abastecimiento de agua potable.

Recomendaciones:

- Debido a que hay elementos hidráulicos ubicados estratégicamente que pueden cambiar las condiciones de una gran parte de la red de abastecimiento, se recomienda que se registren cada uno de los cambios que dan en estos elementos, para que cuando se dé el caso de una actualización de un modelo hidráulico, esta información sea tomada en cuenta para que los resultados obtenidos sean los más acertados.
- Se recomienda que los catastros entregados por los ingenieros contratistas deberían tener un mayor control y exigencia por parte de la empresa ETAPA EP, para que los datos que son recibidos sean los correctos.
- Durante la modelación hidráulica, es recomendable tener presente que pueden existir conexiones ilícitas en la red que pueden llegar a afectar las simulaciones hidráulicas.
- Para una correcta calibración hidráulica, se debe tener en cuenta que demandas muy altas pueden generar problemas por exceso de pérdidas de carga.

ANEXOS

Anexo 1: Estaciones reductoras de presión en estado inicial del sector Nulti Centro.

	ID	Label	Elevation (m)	Diameter (Valve) (mm)	Minor Loss Coefficient (Local)	Hydraulic Grade Setting (Initial) (m)	Pressure Setting (Initial) (m H2O)	Flow (L/s)	Hydraulic Grade (From) (m)	Hydraulic Grade (To) (m)	Headloss (m)
27: NULTI_ERP_1003	27	NULTI_ERP_1003	2,506.51	63.0	0.000	2,526.42	20.0	0	2,549.10	2,531.96	0.00
29: NULTI_ERP_1005	29	NULTI_ERP_1005	2,507.39	63.0	0.000	2,527.42	20.0	1	2,613.06	2,527.44	85.62
1411: PRV-5	1411	PRV-5	2,450.00	63.0	0.000	2,471.02	20.0	0	2,525.98	2,470.05	55.94
30: NULTI_ERP_1006	30	NULTI_ERP_1006	2,478.90	110.0	0.000	2,498.94	20.0	1	2,565.63	2,565.63	0.00
1521: PRV-8	1521	PRV-8	2,549.60	152.4	0.000	2,569.63	20.0	19	2,613.82	2,569.65	44.17
32: NULTI_ERP_1008	32	NULTI_ERP_1008	2,378.33	160.0	0.000	2,398.36	20.0	0	2,455.01	2,454.80	0.00
1392: PRV-2	1392	PRV-2	2,428.90	160.0	0.000	2,448.93	20.0	0	2,453.65	2,484.09	0.00
25: NULTI_ERP_1001	25	NULTI_ERP_1001	2,437.42	200.0	0.000	2,457.45	20.0	18	2,480.69	2,457.47	23.22

Anexo 2: Estaciones reductoras de presión modificado sus valores iniciales del sector Nulti Centro.

	ID	Label	Elevation (m)	Diameter (Valve) (mm)	Minor Loss Coefficient (Local)	Hydraulic Grade Setting (Initial) (m)	Pressure Setting (Initial) (m H2O)	Flow (L/s)	Hydraulic Grade (From) (m)	Hydraulic Grade (To) (m)	Headloss (m)
27: NULTI_ERP_1003	27	NULTI_ERP_1003	2,506.51	63.0	0.000	2,526.42	20.0	0	2,549.10	2,531.96	0.00
29: NULTI_ERP_1005	29	NULTI_ERP_1005	2,507.39	63.0	0.000	2,527.42	20.0	1	2,613.06	2,527.44	85.62
1411: PRV-5	1411	PRV-5	2,450.00	63.0	0.000	2,468.43	18.4	0	2,525.98	2,468.44	57.54
30: NULTI_ERP_1006	30	NULTI_ERP_1006	2,478.90	110.0	0.000	2,498.94	20.0	1	2,565.63	2,565.63	0.00
1521: PRV-8	1521	PRV-8	2,549.60	152.4	0.000	2,569.63	20.0	19	2,613.82	2,569.65	44.17
32: NULTI_ERP_1008	32	NULTI_ERP_1008	2,378.33	160.0	0.000	2,398.36	20.0	0	2,455.21	2,455.00	0.00
1392: PRV-2	1392	PRV-2	2,428.90	160.0	0.000	2,448.93	20.0	0	2,453.85	2,484.09	0.00
25: NULTI_ERP_1001	25	NULTI_ERP_1001	2,437.42	200.0	0.000	2,457.65	20.2	18	2,480.69	2,457.67	23.02

Anexo 3: Válvulas reguladoras de flujo agregadas en el sector Nulti Centro.

	ID	Label	Elevation (m)	Diameter (Valve) (mm)	Flow Setting (Initial) (L/s)	Minor Loss Coefficient (Local)	Flow (L/s)	Hydraulic Grade (From) (m)	Hydraulic Grade (To) (m)	Headloss (m)
1538: FCV-2	1538	FCV-2	2,548.11	110.0	9	0.000	9	2,612.57	2,551.72	60.86
1544: FCV-4	1544	FCV-4	2,479.62	152.4	18	0.000	18	2,561.23	2,483.36	77.87
1547: FCV-5	1547	FCV-5	2,478.48	152.4	21	0.000	0	2,561.44	2,561.44	0.00

Anexo 4: Estaciones reductoras de presión en estado inicial - sector El Plateado.

	ID	Label	Elevation (m)	Diameter (Valve) (mm)	Minor Loss Coefficient (Local)	Hydraulic Grade Setting (Initial) (m)	Pressure Setting (Initial) (m H2O)	Flow (L/s)	Hydraulic Grade (From) (m)	Hydraulic Grade (To) (m)	Headloss (m)
25: PLATEADO_ERP_1001	25	PLATEADO_ERP_1001	2,637.50	63.0	0.000	2,657.53	20.0	0	2,702.16	2,657.55	44.61
26: PLATEADO_ERP_1002	26	PLATEADO_ERP_1002	2,584.25	63.0	0.000	2,604.29	20.0	0	2,667.02	2,604.30	62.72
27: PLATEADO_ERP_1003	27	PLATEADO_ERP_1003	2,537.85	63.0	0.000	2,557.88	20.0	0	2,604.29	2,557.89	46.40
29: PLATEADO_ERP_1005	29	PLATEADO_ERP_1005	2,525.14	63.0	0.000	2,545.18	20.0	0	2,592.96	2,545.19	47.77
31: PLATEADO_ERP_1007	31	PLATEADO_ERP_1007	2,642.87	63.0	0.000	2,662.90	20.0	0	2,702.08	2,662.92	39.17
32: PLATEADO_ERP_1008	32	PLATEADO_ERP_1008	2,600.60	63.0	0.000	2,620.63	20.0	1	2,698.69	2,620.65	78.05
34: PLATEADO_ERP_1010	34	PLATEADO_ERP_1010	2,622.18	63.0	0.000	2,642.22	20.0	1	2,677.78	2,677.78	0.00
35: PLATEADO_ERP_1011	35	PLATEADO_ERP_1011	2,559.63	63.0	0.000	2,579.66	20.0	0	2,619.80	2,579.68	40.12
36: PLATEADO_ERP_1012	36	PLATEADO_ERP_1012	2,658.32	63.0	0.000	2,678.35	20.0	1	2,700.08	2,678.36	21.71
648: PRV-3	648	PRV-3	2,521.22	63.0	0.000	2,541.26	20.0	1	2,578.96	2,541.27	37.69
654: PRV-4	654	PRV-4	2,559.26	63.0	0.000	2,579.30	20.0	1	2,677.13	2,579.31	97.82
28: PLATEADO_ERP_1004	28	PLATEADO_ERP_1004	2,572.95	110.0	0.000	2,592.98	20.0	1	2,666.96	2,592.99	73.97
30: PLATEADO_ERP_1006	30	PLATEADO_ERP_1006	2,647.13	110.0	0.000	2,667.17	20.0	2	2,702.11	2,667.18	34.93
33: PLATEADO_ERP_1009	33	PLATEADO_ERP_1009	2,460.79	110.0	0.000	2,480.83	20.0	1	2,519.97	2,480.84	39.13
37: PLATEADO_ERP_1013	37	PLATEADO_ERP_1013	2,414.19	110.0	0.000	2,434.22	20.0	0	2,480.81	2,434.24	46.57
619: PRV-1	619	PRV-1	2,635.50	110.0	0.000	2,655.54	20.0	0	2,702.10	2,655.55	46.55

Anexo 5: Estaciones reductoras de presión modificado sus valores iniciales - sector El Plateado.

	ID	Label	Elevation (m)	Diameter (Valve) (mm) ▲	Minor Loss Coefficient (Local)	Hydraulic Grade Setting (Initial) (m)	Pressure Setting (Initial) (m H2O)	Flow (L/s)	Hydraulic Grade (From) (m)	Hydraulic Grade (To) (m)	Headloss (m)
25: PLATEADO_ERP_1001	25	PLATEADO_ERP_1001	2,637.50	63.0	0.000	2,657.53	20.0	0	2,702.16	2,657.55	44.61
26: PLATEADO_ERP_1002	26	PLATEADO_ERP_1002	2,584.25	63.0	0.000	2,604.29	20.0	0	2,667.02	2,604.30	62.72
27: PLATEADO_ERP_1003	27	PLATEADO_ERP_1003	2,537.85	63.0	0.000	2,557.88	20.0	0	2,604.29	2,557.89	46.40
29: PLATEADO_ERP_1005	29	PLATEADO_ERP_1005	2,525.14	63.0	0.000	2,548.08	22.9	0	2,592.96	2,548.10	44.86
31: PLATEADO_ERP_1007	31	PLATEADO_ERP_1007	2,642.87	63.0	0.000	2,662.90	20.0	0	2,702.08	2,662.92	39.17
32: PLATEADO_ERP_1008	32	PLATEADO_ERP_1008	2,600.60	63.0	0.000	2,620.63	20.0	1	2,698.69	2,620.65	78.04
34: PLATEADO_ERP_1010	34	PLATEADO_ERP_1010	2,622.18	63.0	0.000	2,652.23	30.0	1	2,689.01	2,689.01	0.00
35: PLATEADO_ERP_1011	35	PLATEADO_ERP_1011	2,559.63	63.0	0.000	2,579.66	20.0	0	2,619.80	2,579.68	40.12
36: PLATEADO_ERP_1012	36	PLATEADO_ERP_1012	2,658.32	63.0	0.000	2,689.57	31.2	1	2,700.07	2,689.59	10.48
648: PRV-3	648	PRV-3	2,521.22	63.0	0.000	2,541.26	20.0	1	2,578.96	2,541.27	37.69
654: PRV-4	654	PRV-4	2,559.26	63.0	0.000	2,579.30	20.0	1	2,688.36	2,579.31	109.05
28: PLATEADO_ERP_1004	28	PLATEADO_ERP_1004	2,572.95	110.0	0.000	2,592.98	20.0	1	2,666.96	2,592.99	73.97
30: PLATEADO_ERP_1006	30	PLATEADO_ERP_1006	2,647.13	110.0	0.000	2,667.17	20.0	2	2,702.11	2,667.18	34.93
33: PLATEADO_ERP_1009	33	PLATEADO_ERP_1009	2,460.79	110.0	0.000	2,490.94	30.1	1	2,519.97	2,490.97	29.00
37: PLATEADO_ERP_1013	37	PLATEADO_ERP_1013	2,414.19	110.0	0.000	2,434.22	20.0	0	2,490.93	2,434.24	56.69
619: PRV-1	619	PRV-1	2,635.50	110.0	0.000	2,667.86	32.3	0	2,702.10	2,667.88	34.22

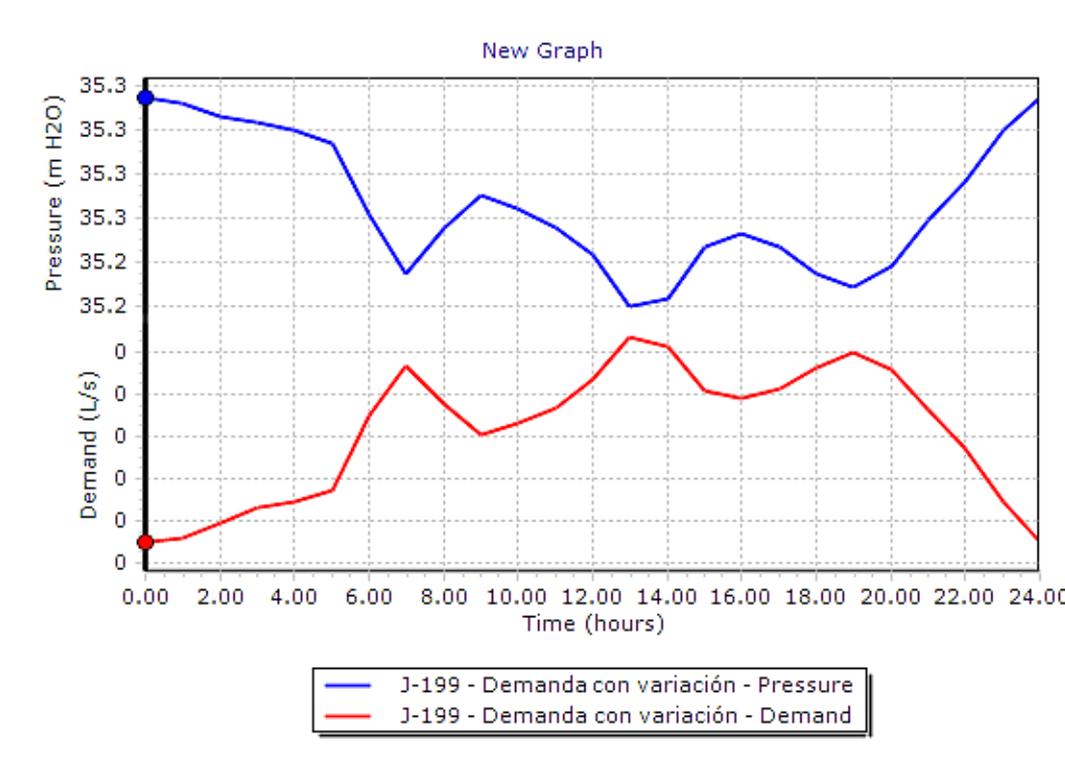
Anexo 6: Estaciones reductoras de presión en estado inicial - sector Challuabamba

	ID	Label	Elevation (m)	Diameter (Valve) (mm) ▲	Minor Loss Coefficient (Local)	Hydraulic Grade Setting (Initial) (m)	Pressure Setting (Initial) (m H2O)	Flow (L/s)	Hydraulic Grade (From) (m)	Hydraulic Grade (To) (m)	Headloss (m)
28: MS10_ERP	28	MS10_ERP_1002	2,453.67	63.0	0.000	2,473.70	20.0	3	2,504.51	2,473.72	30.79
27: MS10_ERP	27	MS10_ERP_1001	2,358.38	160.0	0.000	2,378.37	20.0	2	2,418.73	2,378.43	40.30
29: MS10_ERP	29	MS10_ERP_1003	2,388.27	160.0	0.000	2,408.30	20.0	0	2,461.09	2,418.85	0.00
30: MS10_ERP	30	MS10_ERP_1004	2,441.04	160.0	0.000	2,461.08	20.0	6	2,516.13	2,461.09	55.04
741: PRV-6	741	PRV-6	2,466.79	160.0	0.000	2,486.82	20.0	1	2,516.50	2,486.83	29.66

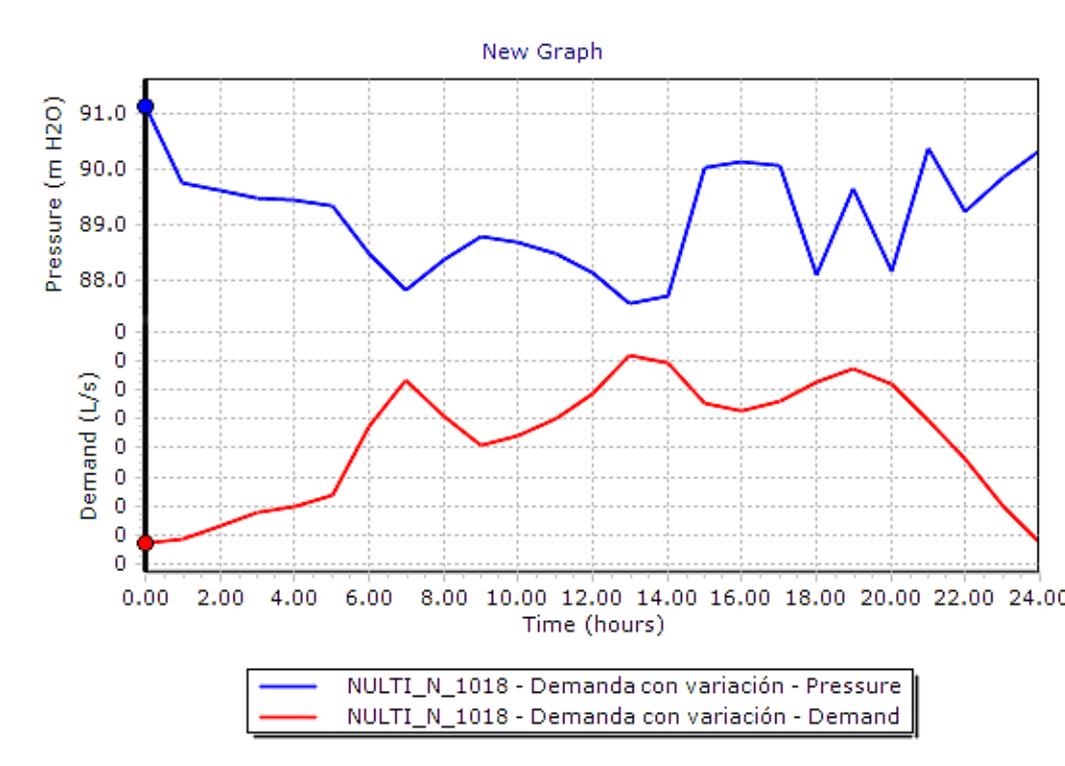
Anexo 7: Estaciones reductoras de presión modificados sus valores iniciales - sector Challuabamba.

	ID	Label	Elevation (m)	Diameter (Valve) (mm) ▲	Minor Loss Coefficient (Local)	Hydraulic Grade Setting (Initial) (m)	Pressure Setting (Initial) (m H2O)	Flow (L/s)	Hydraulic Grade (From) (m)	Hydraulic Grade (To) (m)	Headloss (m)
28: MS10_ERP_1002	28	MS10_ERP_1002	2,453.67	63.0	0.000	2,473.10	19.4	3	2,504.56	2,473.12	31.45
27: MS10_ERP_1001	27	MS10_ERP_1001	2,358.38	160.0	0.000	2,378.37	20.0	2	2,418.59	2,378.43	40.16
29: MS10_ERP_1003	29	MS10_ERP_1003	2,388.27	160.0	0.000	2,408.10	19.8	0	2,461.09	2,418.70	0.00
30: MS10_ERP_1004	30	MS10_ERP_1004	2,441.04	160.0	0.000	2,461.08	20.0	6	2,516.13	2,461.09	55.04
741: PRV-6	741	PRV-6	2,466.79	160.0	0.000	2,487.22	20.4	1	2,516.50	2,487.23	29.26

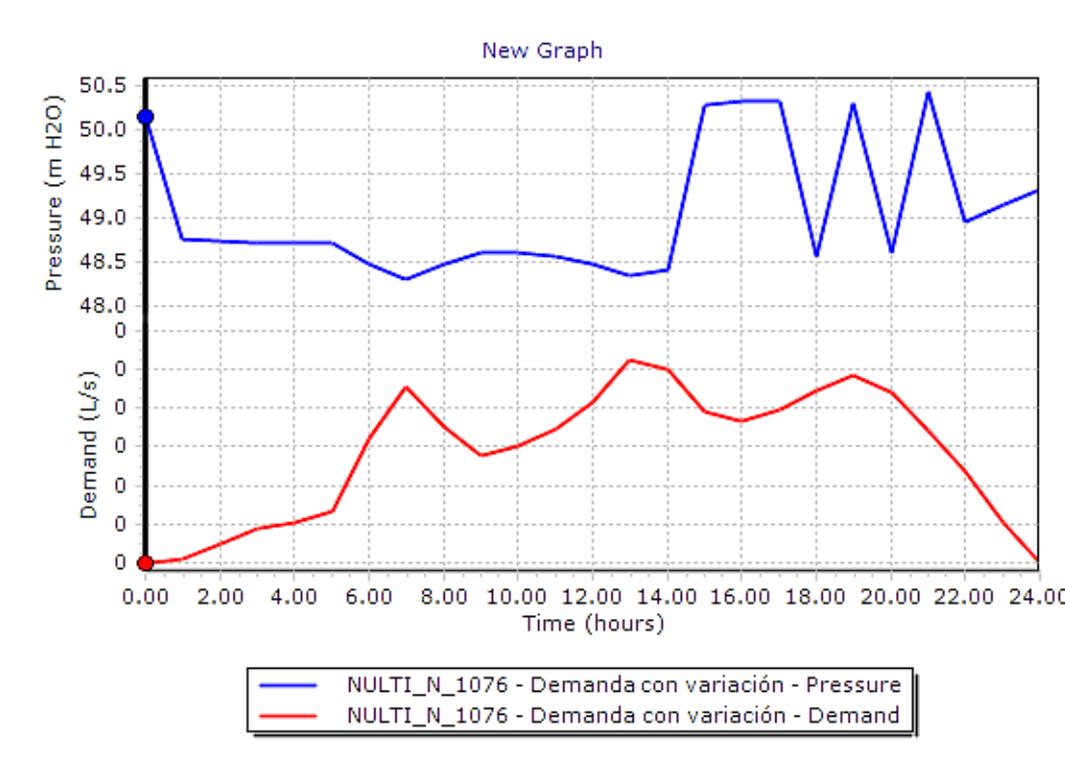
Anexo 8: Variación horaria de presión y demanda del punto 1 – Nulti Centro.



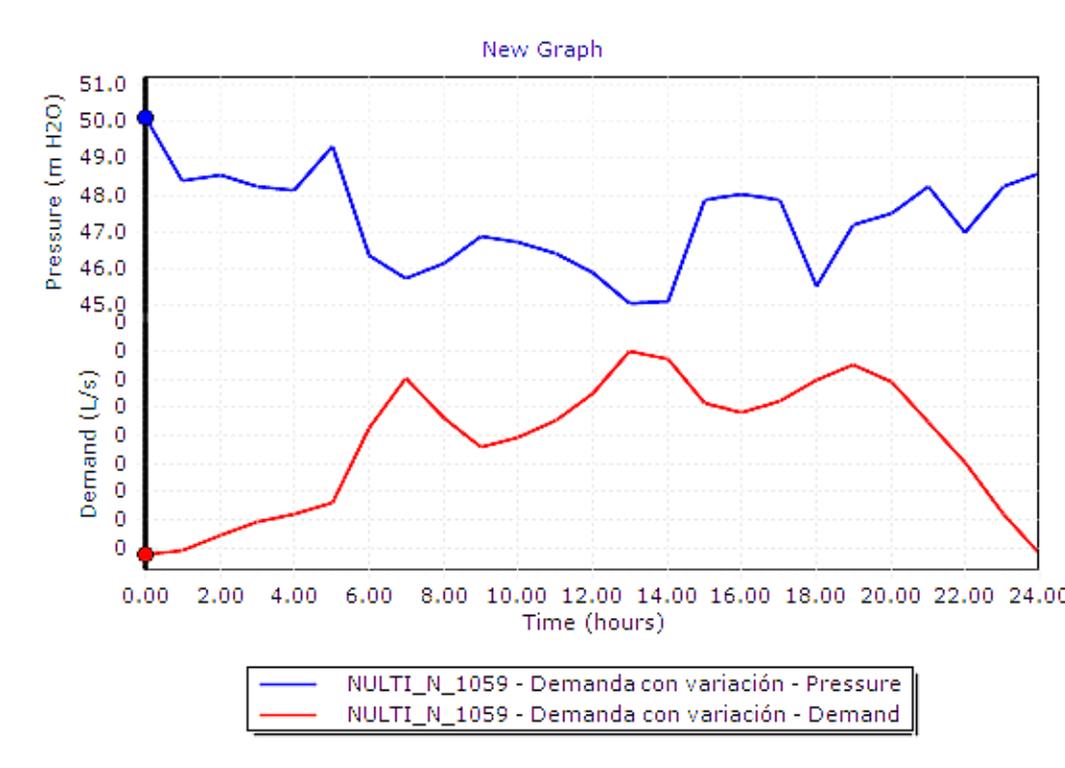
Anexo 9: Variación horaria de presión y demanda del punto 2 – Nulti Centro.



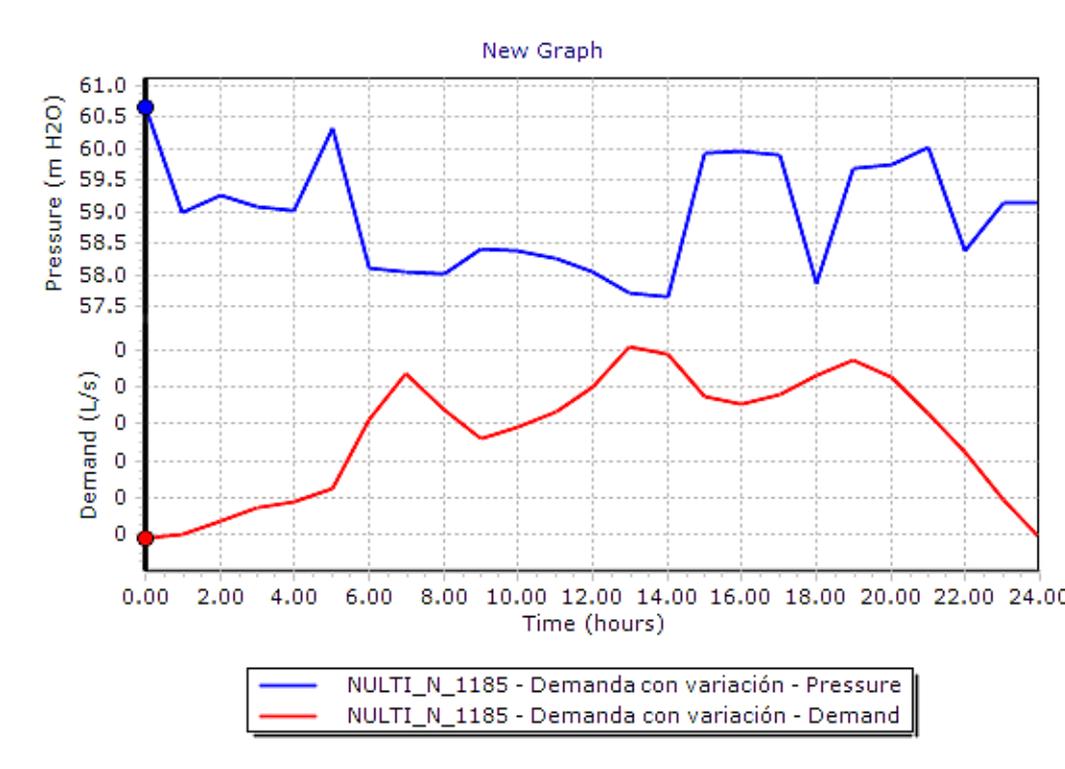
Anexo 10: Variación horaria de presión y demanda del punto 3 – Nulti Centro.



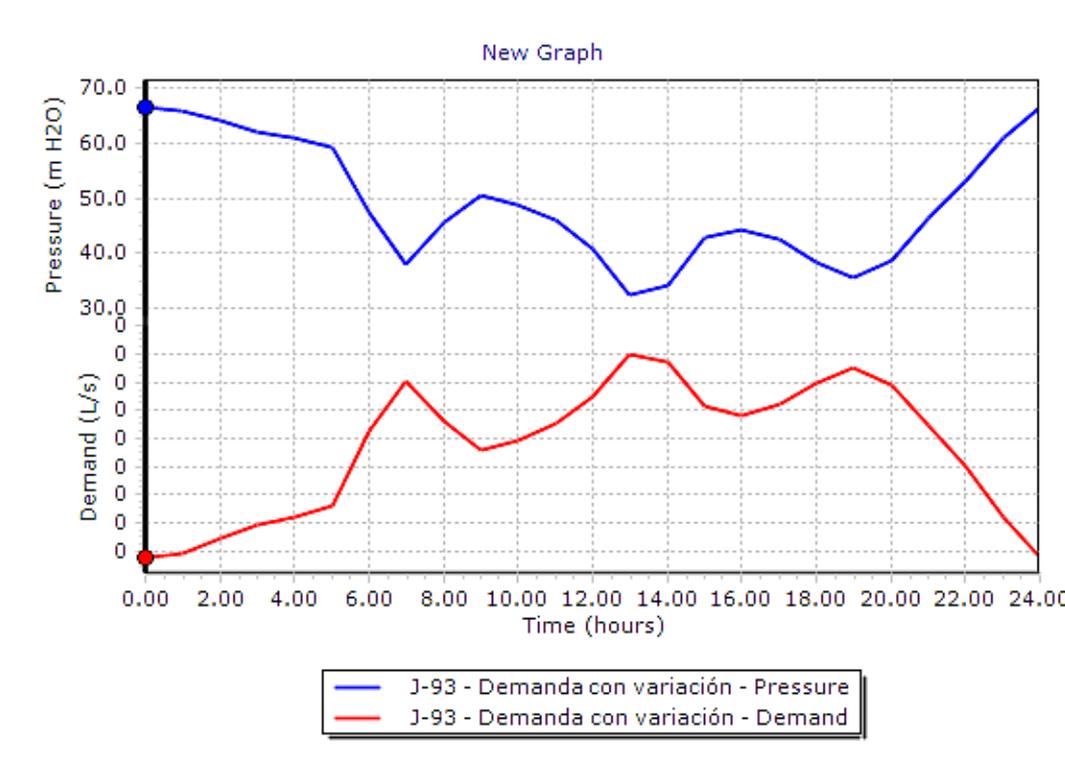
Anexo 11: Variación horaria de presión y demanda del punto 4 – Nulti Centro.



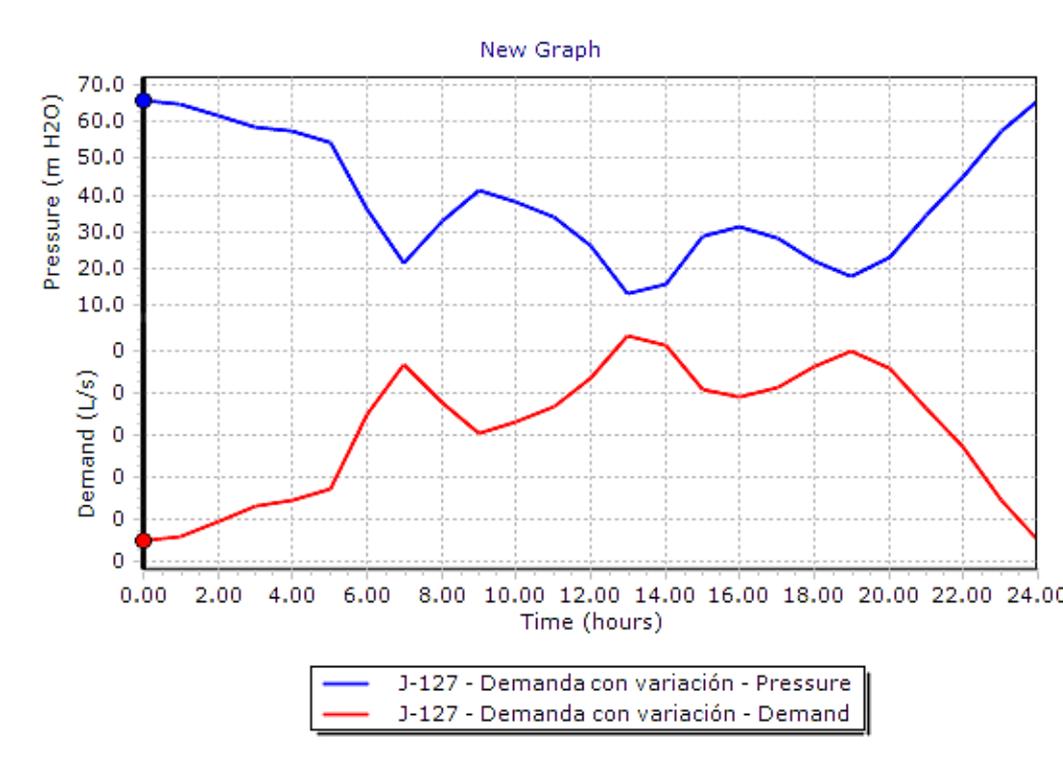
Anexo 12: Variación horaria de presión y demanda del punto 5 – Nulti Centro.



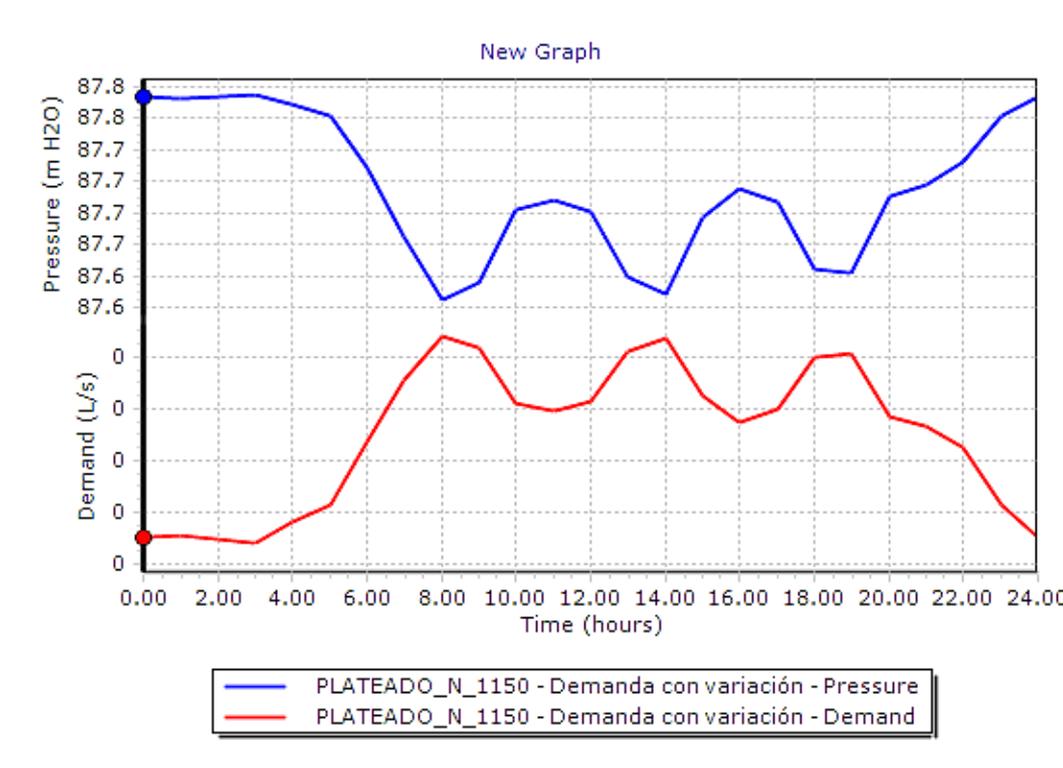
Anexo 13: Variación horaria de presión y demanda del punto 6 – Nulti Centro.



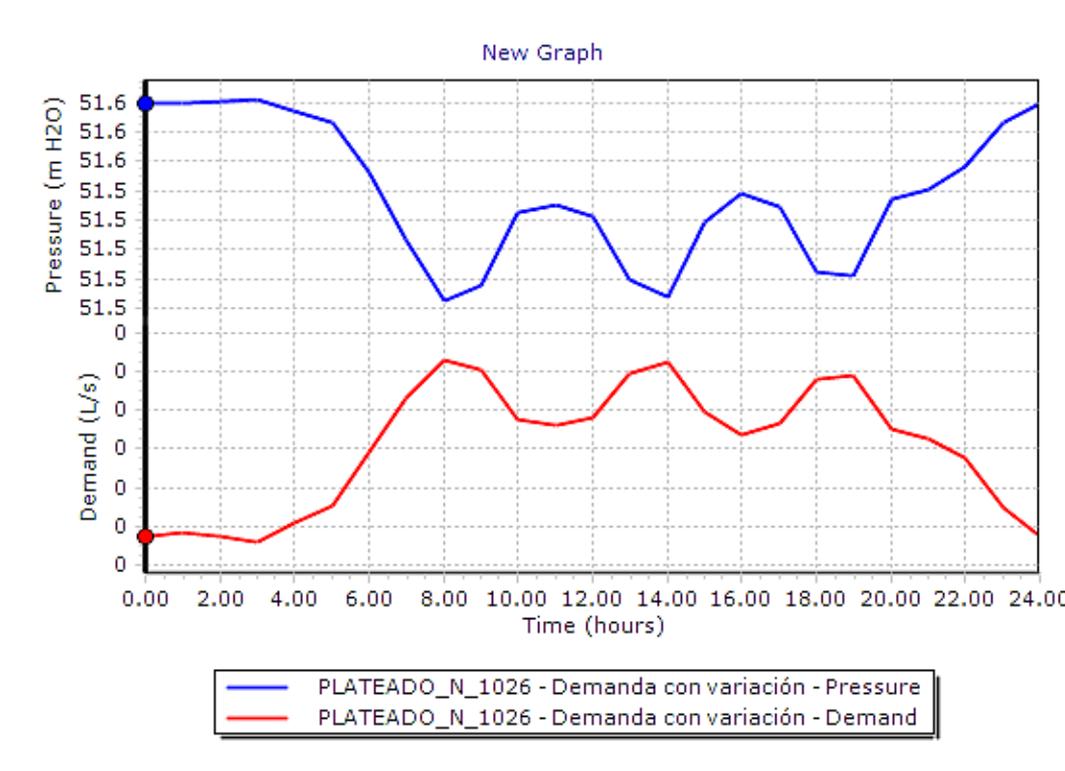
Anexo 14: Variación horaria de presión y demanda del punto 7 – Nulti Centro.



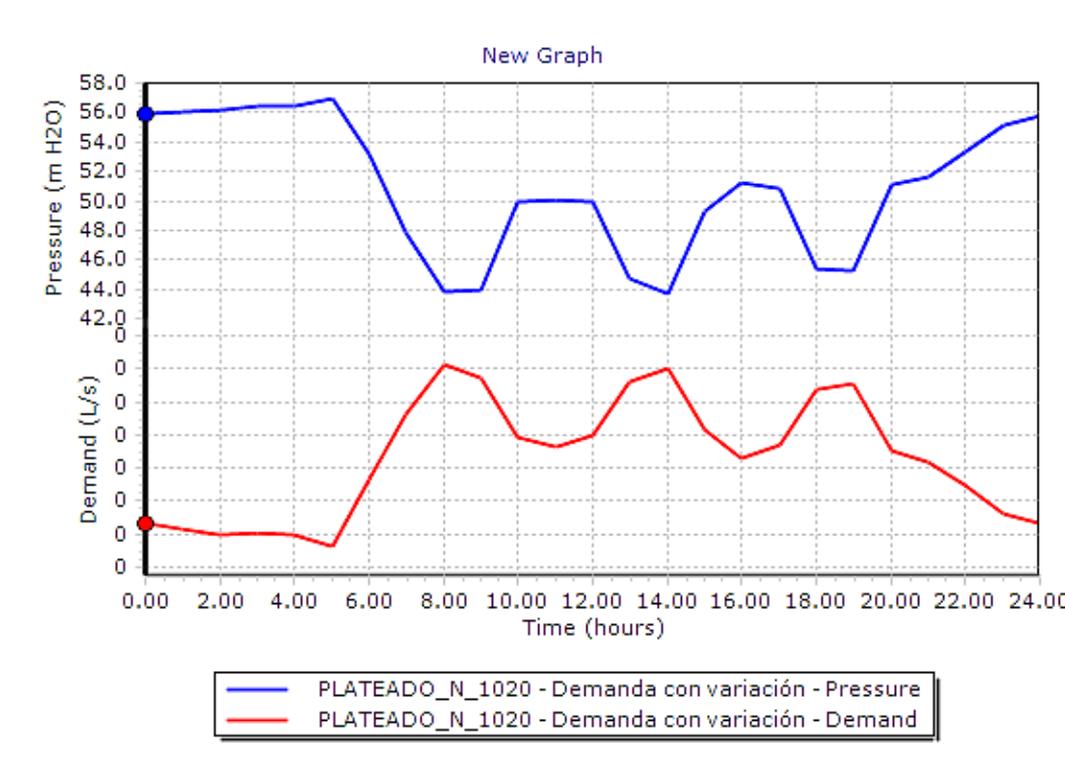
Anexo 15: Variación horaria de presión y demanda del punto 1 – El Plateado.



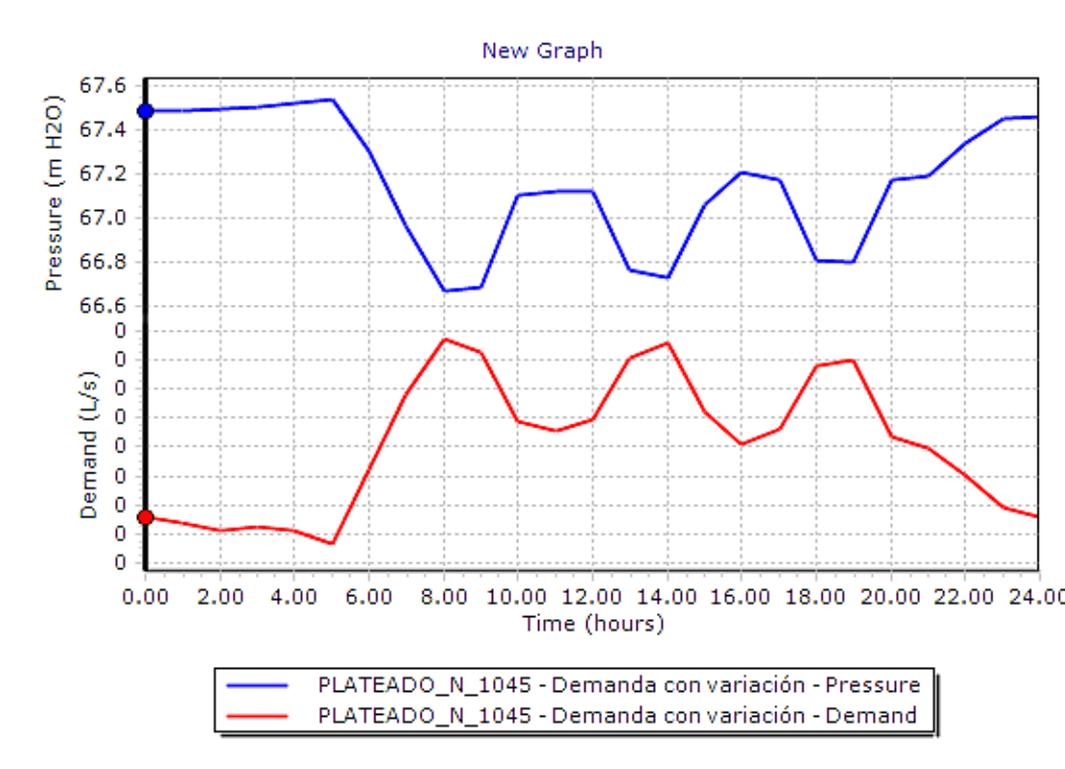
Anexo 16: Variación horaria de presión y demanda del punto 2 – El Plateado.



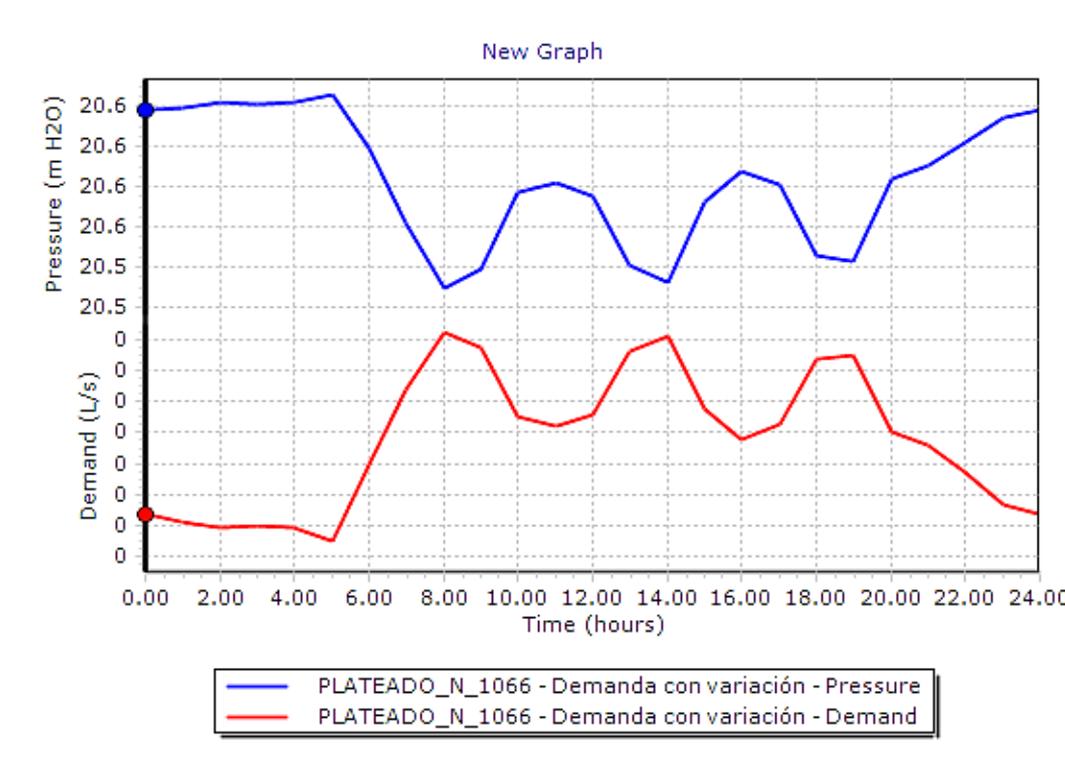
Anexo 17: Variación horaria de presión y demanda del punto 3 – El Plateado.



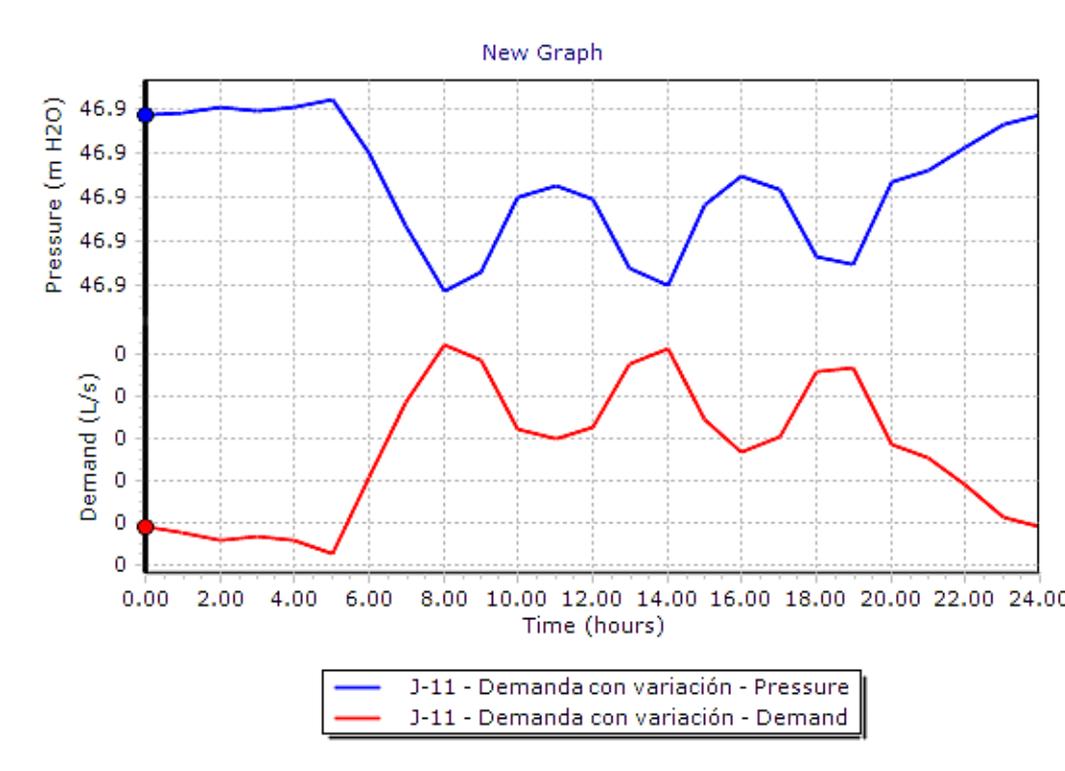
Anexo 18: Variación horaria de presión y demanda del punto 4 – El Plateado.



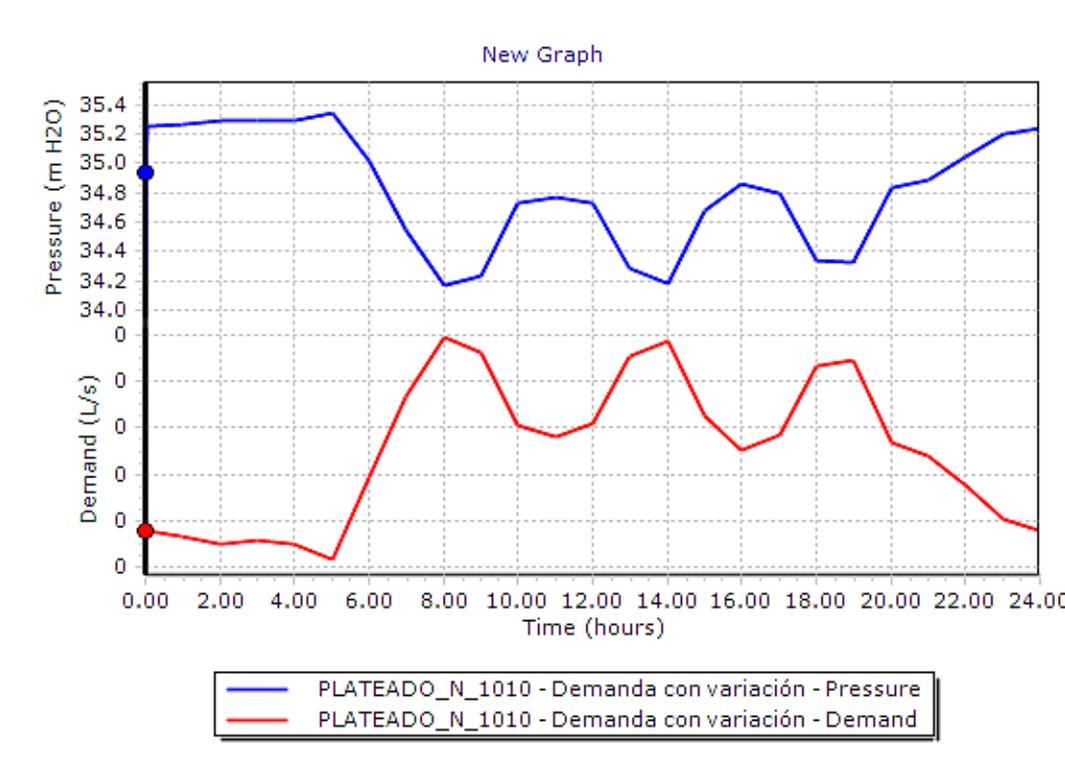
Anexo 19: Variación horaria de presión y demanda del punto 5 – El Plateado.



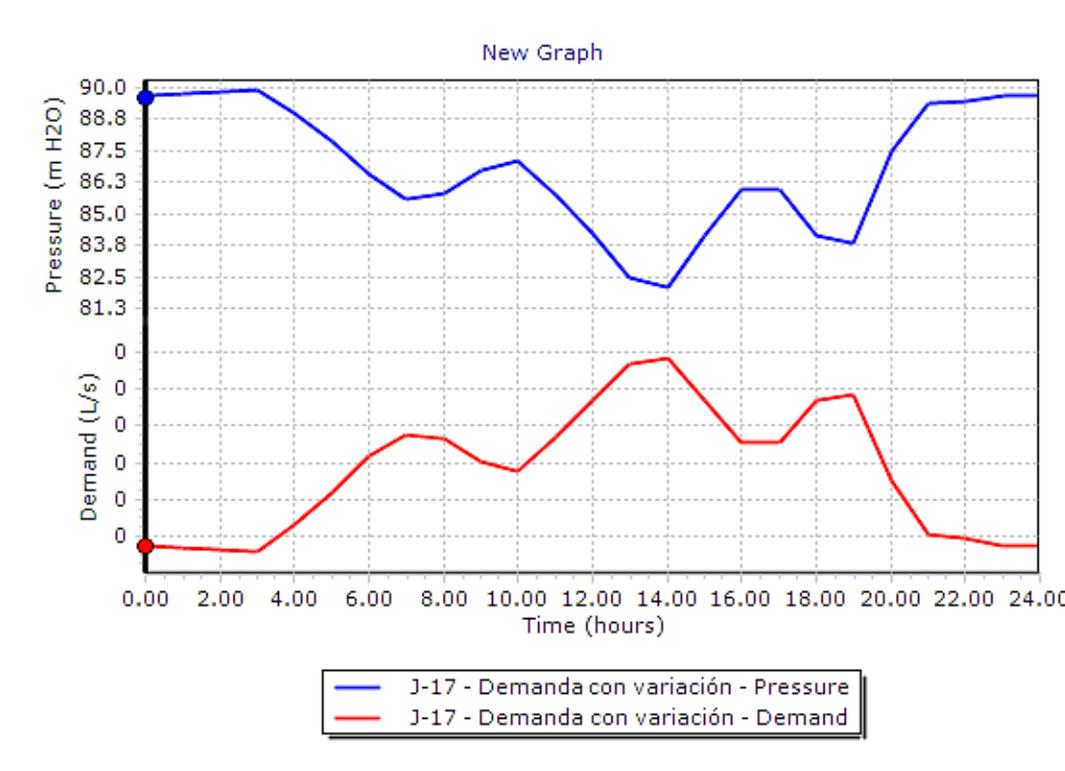
Anexo 20: Variación horaria de presión y demanda del punto 6 – El Plateado.



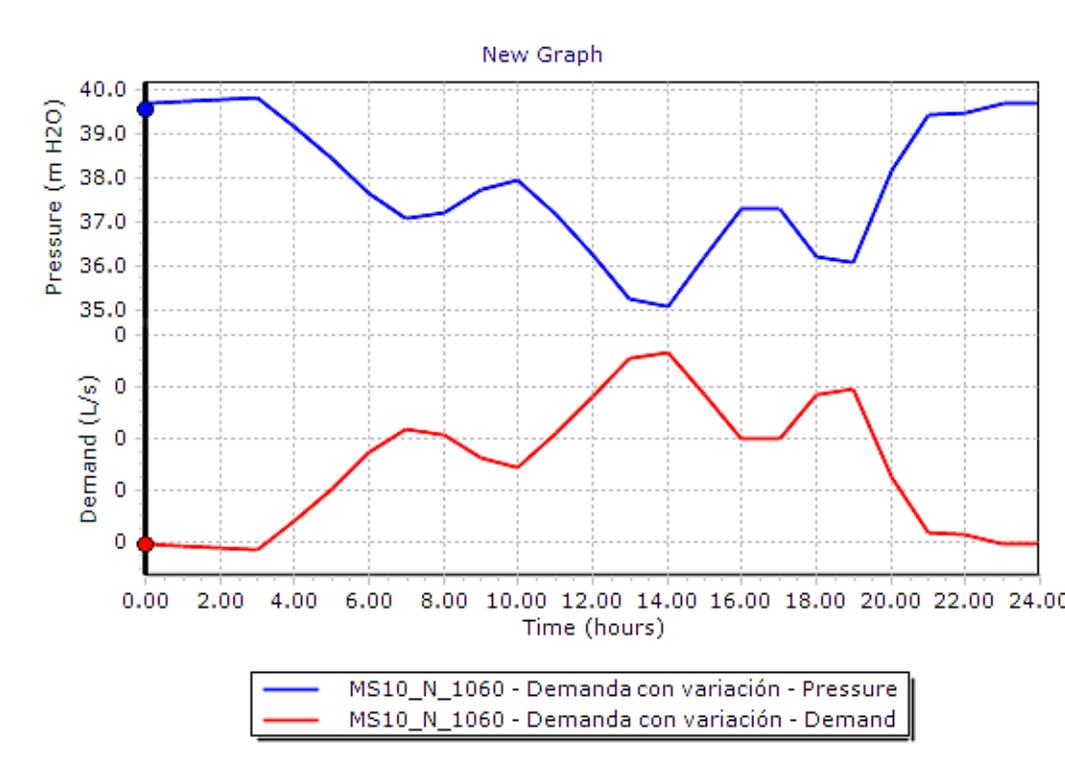
Anexo 21: Variación horaria de presión y demanda del punto 7 – El Plateado.



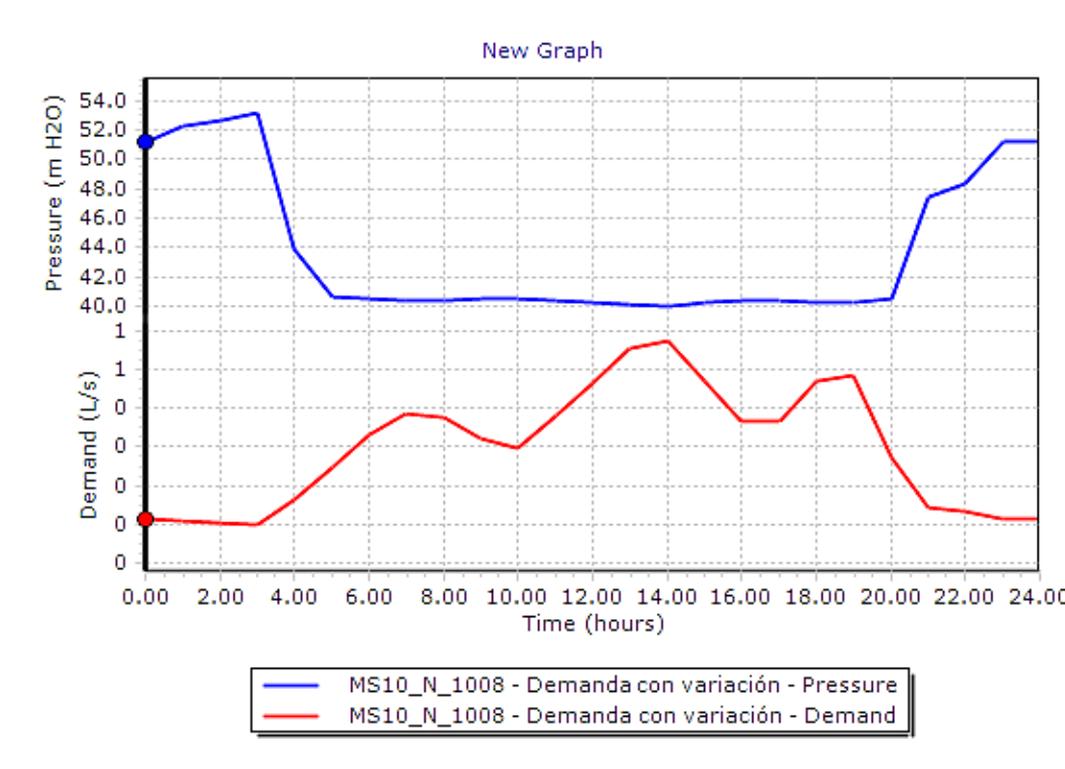
Anexo 22: Variación horaria de presión y demanda del punto 1 – Challuabamba.



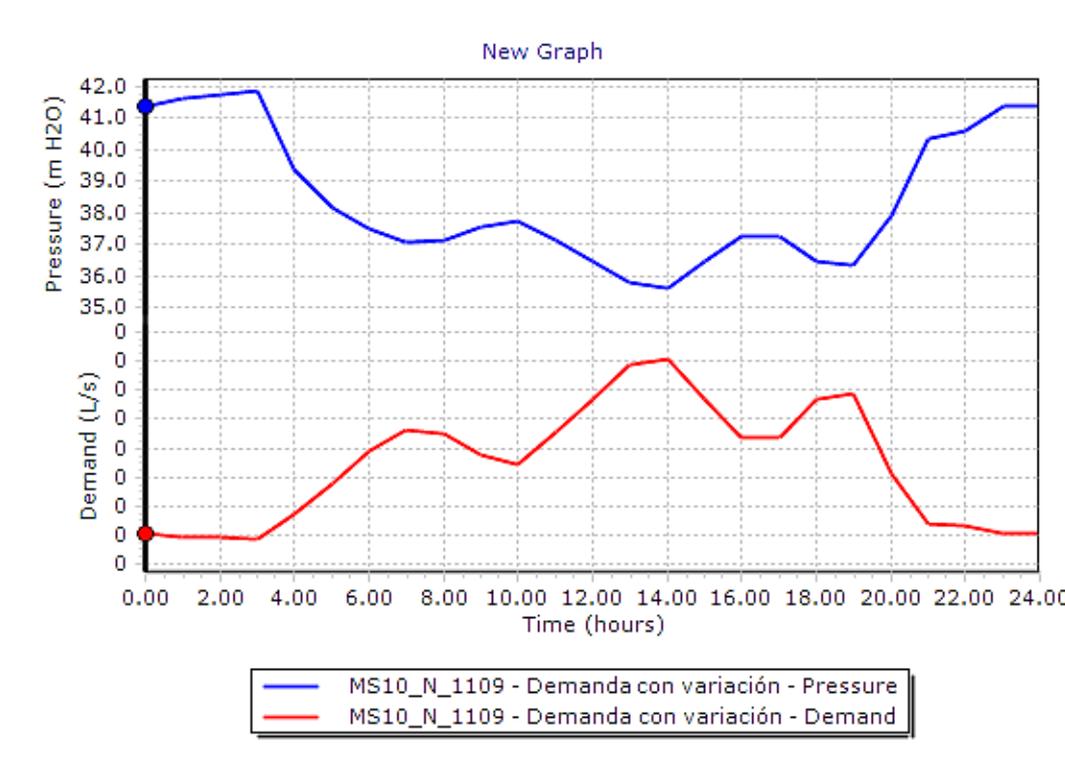
Anexo 23: Variación horaria de presión y demanda del punto 2 – Challuabamba.



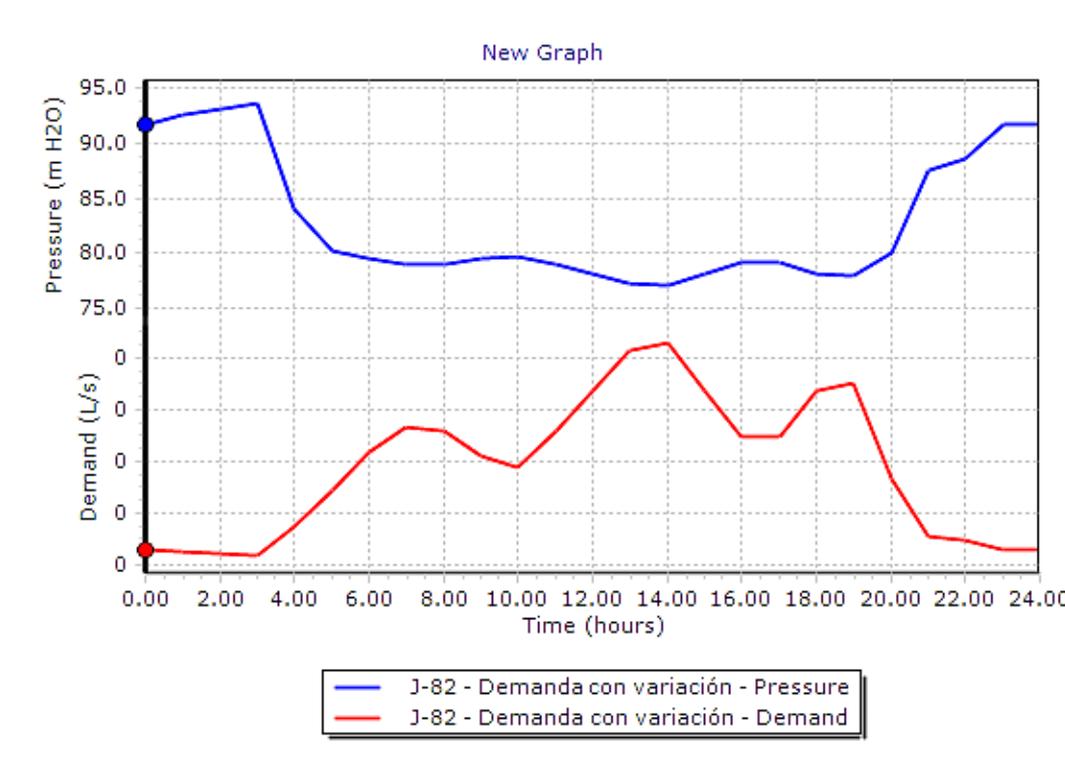
Anexo 24: Variación horaria de presión y demanda del punto 3 – Challuabamba.



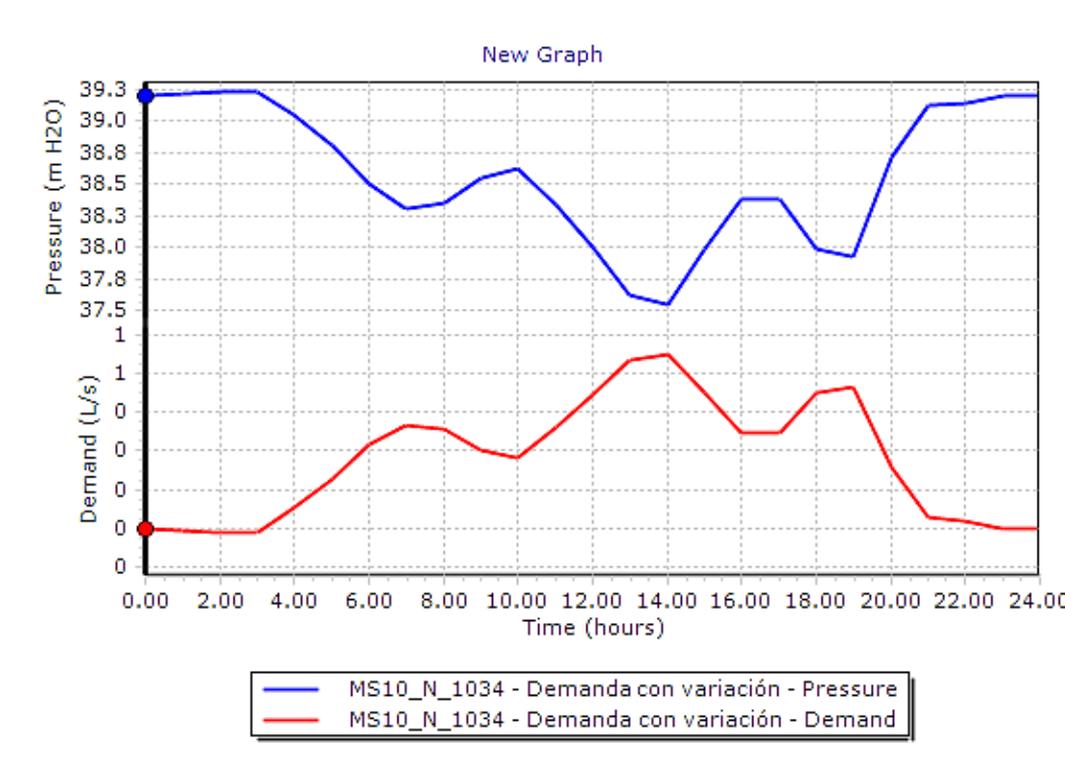
Anexo 25: Variación horaria de presión y demanda del punto 4 – Challuabamba.



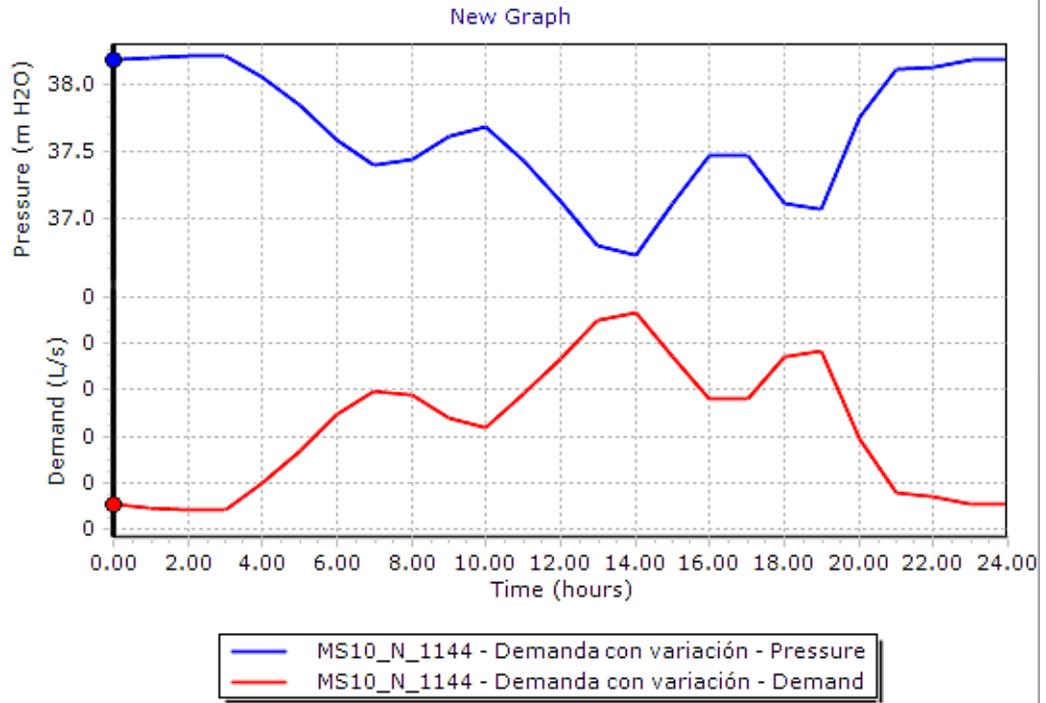
Anexo 26: Variación horaria de presión y demanda del punto 5 – Challuabamba.



Anexo 27: Variación horaria de presión y demanda del punto 6 – Challuabamba.



Anexo 28: Variación horaria de presión y demanda del punto 7 – Challuabamba.



BIBLIOGRAFÍA

- Almache, I. F. (2014). *DISEÑO DE UN CUADRO DE MANDO INTEGRAL PARA EL DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y FISCALIZACIÓN DE LA EMPRESA ETAPA EP*. Cuenca.
- Araújo, J. C. (2011). *HISTORIA DE LOS METODOS DE ANALISIS Y MODELOS COMPUTACIONALES PARA ANÁLISIS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN A PRESIÓN. Bentley Communities*.
- Bantley Systems Incorporated. (2017). Software de análisis y diseño de sistemas de distribución de agua. *Bantley Comunities*.
- CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN. (1992). *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES CO 10.07 - 601*. Quito.
- Comisión Nacional del Agua . (2007). *Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable*. Coyoacán, México, D.F: D.R. © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales .
- Comisión Nacional del Agua. (2016). *Modelación Hidráulica y de Calidad del agua en redes de distribución*. Coyoacán México, D.F.: D.R. © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- esri. (2016). Qué es ArcMp. *ArcGIS for Desktop*.
- Gallego, J. M. (2014). *Montaje de redes de distribución de agua*. Antequera, Málaga: IC Editorial .
- Giles, R. V. (1962). *Mecánica de fluidos e hidráulica*. Philadelphia: Libros McGraw-Hill.
- Greene, M. (2014). *Valvula de purga* . Madrid: Ministerio de medio ambiente.
- Honeywell. (2013). Válvula reguladora de caudal . *Honeywell The Power of Connected*, 4.
- Ingenieria De Fluidos. (2016). Valvulas de control. *Ingenieria De Fluidos*.
- Jinde, J. C. (2017). *ESTUDIO DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE EN SECTORES RESIDENCIALES DE LA ZONA CENTRO DE LA CIUDAD DE AMBATO Y SU INCIDENCIA EN LA CURVA DE CONSUMO DIARIO*. Ambato.
- Lippo, I. R. (2002). *METODO DE CALIBRACIÓN MEDIANTE ALGORITMO GENETICO DE UN MODELO DE CALIDAD DEL AGUA EN REDES DE CANALES*. Caracas.
- Miller, P. (2012). La Parroquia Nulti. *Revista Cuenca Ilustre*.
- Mott, R. L. (2006). *Mecanica de Fluidos*. México: Pearson Educación.
- NORMA - OS. 010. (2006). *CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO*. Perú: ICG - Instituto de la construccion y Gerencia.
- Organización Mundial de la Salud . (2017). Agua, saneamiento e higiene. *Organización Mundial de la Salud (OMS)*.
- Otter, C. (2010). Soluciones más innovadoras para los proyectos . *AutoCAD-Civil 3D*.

Rocha Felices, A. (2007). *Hidráulica de Tuberías*. Lima.