

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL
SISTEMA DE RIEGO PORLÓN - EL SOCORRO - RESERVORIO 67
Y PROPUESTAS PARA SU ADECUADA OPERACIÓN.**

**DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO EN FLUJO PERMANENTE
DE LA RED DE RIEGO PORLÓN - EL SOCORRO - RESERVORIO
67 Y PROPUESTA DE SOLUCIONES.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

SILVIA VANESSA AVEROS CALDERÓN

silvia.averos@epn.edu.ec

DIRECTOR: Ing. Luis Enrique Ríos Cando

luis.rios@epn.edu.ec

Quito, septiembre 2022

CERTIFICACIONES

Yo, Averos Calderón Silvia Vanessa, declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

SILVIA VANESSA AVEROS CALDERÓN

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Averos Calderón Silvia Vanessa, bajo mi supervisión.

ING. LUIS ENRIQUE RÍOS CANDO
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

SILVIA VANESSA AVEROS CALDERÓN

LUIS ENRIQUE RÍOS CANDO

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a Dios y la Virgen María por ayudarme a culminar con éxito mi carrera, por bendecirme, guiarme y cuidarme en cada momento de mi vida.

A José y Silvia, mis padres, por todo el amor y apoyo brindado, por toda la confianza que depositaron en mí. A ustedes por ayudarme a cumplir este sueño que tenía desde pequeña.

A Cristian y Byron, mis hermanos, por sus consejos infaltables y por toda su generosidad conmigo.

A José Rafael, Fernanda, Yulia y Lucas, mis sobrinos, por siempre llenar de alegría la casa y por todo el amor y cariño que me brindan siempre.

A Eliza y Valeria, mis cuñadas, por ser un gran apoyo para mí y mi familia.

A Diego, mi novio, por siempre creer en mí, por brindarme todo tu apoyo incondicional, por toda la confianza que me das y por nunca dejarme sola. ¡A ti también te dedico este logro!

A Jushara, mi mejor amiga, por siempre alentarme, escucharme y apoyarme cuando más te necesito.

Finalmente, a toda mi familia y amigos que han estado al pendiente y siempre me han dado sus ánimos para seguir adelante en mis estudios.

Con amor, Vanessa.

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios y a la Virgen María por todo el amor brindado, por todas las bendiciones recibidas a lo largo de mi vida y por estar junto a mí en todo este camino de aprendizaje cuando sentía no poder más.

A mis padres, José y Silvia, por su amor, su paciencia, por siempre apoyarme, por ser unos padres maravillosos y por enseñarme a ser un mejor ser humano. Gracias por todo el trabajo y esfuerzo que hicieron para que nunca me falte nada, por ser ese pilar fundamental en mi vida. Todo su sacrificio se ve reflejado en este logro.

A mis hermanos, Cristian y Byron, por todas sus palabras de aliento, por estar siempre pendiente de mí y por ayudarme cuando les necesito.

A mi persona especial, Diego, por todo tu amor, compañía, gracias por tu ayuda y por todos los consejos que siempre me das. Gracias por ser parte de mi vida.

A todos mis compañeros y amigos de carrera, especialmente a Gabriela, Valentina, Andrea, Alexis y Fernando por toda su ayuda y apoyo dentro y fuera de las aulas.

A mi director, Ing. Luis Ríos, por toda su ayuda, enseñanzas, tiempo, apoyo y paciencia a lo largo de todo el desarrollo del trabajo. Muchas gracias.

Finalmente, a todos por profesores de la FICA que han aportado con sus conocimientos para mi formación profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico	3
Sistema de distribución de agua.....	3
Redes abiertas	3
Flujo a presión.....	4
Flujo permanente	4
Ecuaciones gobernantes del flujo	5
Carga hidráulica a flujo permanente.....	8
Pérdidas totales.....	9
Válvulas de admisión, expulsión y eliminación de aire	12
EPANET	13
2 METODOLOGÍA.....	15
2.1 Validación de Datos	16
Plano con cotas de proyecto.....	16
Importación a EPANET	16
Análisis de horarios de riego.....	17
Caudales de cada parcela	17
2.2 Características de la simulación en EPANET	18
Parámetros Iniciales.....	18
Asignación de nombres a tuberías, válvulas y nodos	19
2.3 Representación de Tanque Rompe Presión en EPANET	19
Altura de sumergencia (hs).....	20

Tanque de Carga	22
2.4 Válvulas de regulación (TCV).....	23
2.5 Comprobación de Presión Nominal y Carga Estática	24
2.6 Comprobación de Presión Nominal y Carga Dinámica	25
2.7 Pérdidas de Carga	27
2.8 Válvulas de admisión, expulsión y eliminación de aire	27
2.9 Planteamiento de escenarios de simulación.....	30
Escenario 1.....	30
Escenario 2.....	31
Escenario 3.....	32
Escenario 4.....	33
Escenario 5.....	34
Escenario 6.....	35
Escenario 7.....	35
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	36
3.1 Resultados	36
Escenario 1.....	36
Escenario 2.....	40
Escenario 3.....	44
Escenario 4.....	49
Escenario 5.....	53
Escenario 6.....	57
Escenario 7.....	60
Resumen de resultados de todos los escenarios.....	64
Soluciones y Presupuestos.....	66
Comparación de Presupuestos.....	78
3.2 Conclusiones	80
3.3 Recomendaciones	83
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
ANEXOS.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Línea de gradiente hidráulico.....	8
Figura 1.2. Carga hidráulica en flujo permanente.....	9
Figura 1.3. Clasificación de las válvulas de aire.....	13
Figura 1.4. Componentes físicos de un Sistema de distribución de agua.....	14
Figura 2.1. Diagrama de metodología.....	15
Figura 2.2. Coeficientes de pérdida promediados para válvulas parcialmente abiertas ..	24
Figura 2.3. Representación de válvula TCV en EPANET.....	24
Figura 2.4. Plano en Planta de Válvulas de aire recomendadas.....	29
Figura 2.5. Caudal máximo de funcionamiento de la red.....	32
Figura 2.6. Caudal mínimo de funcionamiento de la red.....	33
Figura 2.7. Caudal promedio del funcionamiento de la red.....	33
Figura 3.1. Presiones del Escenario 1	36
Figura 3.2. Distribución de presión del Escenario 1	37
Figura 3.3. Velocidades del Escenario 1.....	38
Figura 3.4. Distribución de velocidad del Escenario 1	38
Figura 3.5. Caudales del Escenario 1	39
Figura 3.6. Distribución de caudal del Escenario 1	40
Figura 3.7. Presiones del Escenario 2	40
Figura 3.8. Distribución de presión del Escenario 2	41
Figura 3.9. Velocidades del Escenario 2.....	41
Figura 3.10. Distribución de velocidad del Escenario 2.....	42
Figura 3.11. Caudales del Escenario 2	43
Figura 3.12. Distribución de caudal del Escenario 2	43
Figura 3.13. Presiones del Escenario 3	44
Figura 3.14. Distribución de presión del Escenario 3	45
Figura 3.15. Velocidades del Escenario 3.....	46
Figura 3.16. Distribución de velocidad del Escenario 3.....	46
Figura 3.17. Caudales del Escenario 3	47
Figura 3.18. Distribución de caudal del Escenario 3	48
Figura 3.19. Presiones del Escenario 4	49
Figura 3.20. Distribución de presión del Escenario 4	49
Figura 3.21. Velocidades del Escenario 4.....	50
Figura 3.22. Distribución de velocidad del Escenario 4.....	51
Figura 3.23. Caudales del Escenario 4	52
Figura 3.24. Distribución de caudal del Escenario 4	52
Figura 3.25. Presiones del Escenario 5	53
Figura 3.26. Distribución de presión del Escenario 5	54
Figura 3.27. Velocidades del Escenario 5.....	54
Figura 3.28. Distribución de velocidad del Escenario 5.....	55
Figura 3.29. Caudales del Escenario 5	56
Figura 3.30. Distribución de caudal del Escenario 5	56
Figura 3.31. Presiones del Escenario 6	57
Figura 3.32. Distribución de presión del Escenario 6	58
Figura 3.33. Velocidades del Escenario 6.....	58

Figura 3.34. Distribución de velocidad del Escenario 6	59
Figura 3.35. Caudales del Escenario 6	59
Figura 3.36. Distribución de caudal del Escenario 6	60
Figura 3.37. Presiones del Escenario 7	60
Figura 3.38. Distribución de presión del Escenario 7	61
Figura 3.39. Velocidades del Escenario 7.....	61
Figura 3.40. Distribución de velocidad del Escenario 7	62
Figura 3.41. Caudales del Escenario 7	63
Figura 3.42. Distribución de caudal del Escenario 7	63
Figura 3.43. Válvula limitadora de caudal.....	67
Figura 3.44. Instalación de la válvula limitadora de caudal	67
Figura 3.45. Resultados de la simulación de la solución 2.....	70
Figura 3.46. Resultados de la simulación de la solución 2 cambiando diámetros.....	70
Figura 3.47. Ubicación de las válvulas de compuerta en B1	71
Figura 3.48. Ubicación de Válvulas 2 y 18.....	73
Figura 3.49. Diámetros recomendados de la solución 5	75
Figura 3.50. Válvula de aire trifuncional.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Valores típicos de Coeficientes de rugosidad	11
Tabla 2.1. Resumen de Horarios de Riego	17
Tabla 2.2. Caudales de riego en función del área	18
Tabla 2.3. Datos para el cálculo de h_s en el Tanque de Carga	22
Tabla 2.4. Resultados de h_s del Tanque de Carga	22
Tabla 2.5. Datos para el cálculo de h_s en el Tanque rompe presión	22
Tabla 2.6. Resultados de h_s del Tanque Rompe Presión	22
Tabla 2.7. Válvulas de aire existentes.....	28
Tabla 2.8. Válvulas de aire trifuncionales recomendadas	28
Tabla 2.9. Resumen del escenario 5.....	34
Tabla 2.10. Resumen del escenario 6.....	35
Tabla 2.11. Resumen del escenario 7	36
Tabla 3.1. Resumen de resultados de los 7 escenarios	64
Tabla 3.2. Presupuesto Solución 1	68
Tabla 3.3. Presupuesto Solución 2.....	72
Tabla 3.4. Combinación 2 de las válvulas que interactúan juntas.....	73
Tabla 3.5. Resultados de la Nueva Simulación, cambiando diámetros	75
Tabla 3.6. Presupuesto Solución 4.....	76
Tabla 3.7. Presupuesto Complementario – Válvulas de aire.....	77
Tabla 3.8. Resumen de Presupuestos	78

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo diagnosticar el funcionamiento hidráulico en flujo permanente del sistema de riego Porlón - El Socorro - Reservorio 67 utilizando el software EPANET 2.2 para simular su situación actual, analizar las causas que generan la mala distribución de caudal para las diferentes parcelas y además estudiar diferentes soluciones para su caso.

El diagnóstico del sistema partió del análisis de los horarios de riego, los caudales necesarios para cada parcela y las combinaciones de apertura y cierre de las 22 válvulas de distribución existentes. Con esta información se desarrolló una simulación previa de cada combinación y se obtuvo los valores de caudal que llegan a cada válvula abierta, luego se realizó un análisis estadístico considerando caudales máximos, mínimos y medios para el planteamiento de escenarios de simulación.

Se plantearon escenarios con control y sin control de caudal en el sistema. Para los escenarios sin control se consideró que el Reservorio 67 alimenta a la red según sus requerimientos, mientras que, para los escenarios con control únicamente se distribuye el caudal concesionado de 30 [L/s] a las válvulas de distribución abiertas.

Finalmente, con los resultados obtenidos de las simulaciones, se detallan cinco soluciones que permiten el correcto funcionamiento del sistema de riego y su respectivo presupuesto aproximado para su implementación.

PALABRAS CLAVE: Sistema de riego, funcionamiento, flujo permanente, escenario, presupuesto.

ABSTRACT

This project aims to diagnose the hydraulic operation of the Porlón - El Socorro - Reservoir 67 irrigation system in permanent flow using EPANET 2.2 software to simulate their current situation, analyze the causes that generate the poor flow distribution for the different areas and also study different solutions for their case.

The diagnosis of the system started from the analysis of the irrigation schedules, the flow required for each area and the combinations of opening and closing the 22 distribution valves of the system. With this information, a previous simulation of each combination was developed, and the flow values of the valves were obtained, then a statistical analysis was done considering maximum, minimum and average flows to propose simulation scenarios.

Scenarios with and without flow control in the system were proposed. For the scenarios without control, it was considered that Reservoir 67 feeds the system according to its requirements, while for the scenarios with control, only the concessioned flow of 30 [L/s] is distributed to the open valves.

Finally, with the results obtained from the simulations, five solutions are detailed that allow the correct operation of the irrigation system and their respective budget for its implementation.

KEYWORDS: Irrigation system, operation, permanent flow, scenario, budget.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El sistema de riego Porlón - El Socorro - Reservorio 67 se encuentra ubicado en la parroquia rural Cubijés perteneciente al cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo; este funciona con flujo a presión y consta inicialmente de un tanque de carga, en el cual comienza la distribución del caudal de 30 [L/s] abarcando un terrero total de 36.81 [ha], función que se realiza por medio de una red ramificada que se compone de 22 nudos de salida, en los cuales hay válvulas de compuerta que se abren de manera que el caudal es vertido a canales, mismos que llevan el agua de riego hacia las distintas parcelas.

Actualmente, se ha registrado que este sistema de riego presenta algunos problemas en su funcionamiento, generando una preocupación a los moradores debido a la disminución y desbalance de la cantidad de agua que llega a las diferentes parcelas, motivo por el cual, los dirigentes se han organizado y buscado ayuda para encontrar soluciones. Mediante este trabajo se busca obtener y presentar la información necesaria para diagnosticar el mal funcionamiento de la red y proponer potenciales alternativas que solventen la problemática existente.

En esa línea, para realizar el diagnóstico del funcionamiento en flujo permanente de la red de riego en mención, es necesario conocer el sitio del Proyecto con su correcta ubicación, además es preciso buscar y recabar toda la información relevante de la zona de estudio, especialmente de las características hidráulicas como longitud y diámetro de tuberías, tipo y cantidad de válvulas, dimensiones del tanque de carga, canales, tanques rompe presión, etc., puesto que con ello se podrá diagnosticar el funcionamiento del sistema de riego existente y los posibles problemas o fallas que ocasionan el déficit en el funcionamiento del sistema.

Con la información recopilada se procederá a desarrollar simulaciones numéricas a través del software EPANET 2.2, con el objetivo de observar el comportamiento del flujo unidimensional en condiciones permanentes, es decir cuando las propiedades del fluido y las condiciones del movimiento no tienen variación alguna en un punto con respecto al tiempo. En este proceso se revelarán los problemas que existen en el funcionamiento actual, junto con su respectivo análisis de resultados.

Posteriormente se propondrán potenciales soluciones para la red de riego Porlón - El Socorro - Reservorio 67 en miras de un adecuado funcionamiento. Finalmente, los resultados alcanzados serán analizados y se desarrollarán presupuestos con relación a las soluciones factibles. Por lo tanto, todos los detalles descritos anteriormente serán de gran ayuda para el desarrollo del presente trabajo, destacando que dichas acciones impactarán

positivamente en la cotidianidad de los moradores beneficiarios del sistema de riego Porlón - El Socorro - Reservoirio 67.

1.1 Objetivo general

Diagnosticar el funcionamiento hidráulico del sistema de riego Porlón - El Socorro - Reservoirio 67 mediante simulaciones numéricas en el programa EPANET 2.2 para flujo permanente, lo que permitirá conocer su situación actual con el fin de proponer soluciones que resuelvan el mal funcionamiento.

1.2 Objetivos específicos

1. Analizar el funcionamiento de los principales componentes del sistema de riego.
2. Desarrollar varios escenarios de simulación en EPANET 2.2 para representar distintos funcionamientos de la red.
3. Proponer soluciones adecuadas para un buen funcionamiento del sistema de riego de acuerdo con los resultados obtenidos de las simulaciones numéricas.
4. Elaborar presupuestos aproximados de las soluciones requeridas para brindar un correcto funcionamiento del sistema de riego.
5. Comparar los presupuestos de las soluciones recomendadas mostrando las observaciones importantes para tener en cuenta en su implementación.

1.3 Alcance

En el diagnóstico del funcionamiento en flujo permanente del sistema de riego Porlón - El Socorro - Reservoirio 67, los objetivos específicos del componente incluyen analizar el desempeño actual de la red de riego, lo cual se realizará a partir de la información de topología de la red y horarios de apertura y cierre de cada una de las válvulas que son parte del sistema con el fin de analizar su funcionamiento actual, para ello se desarrollarán varios escenarios de simulaciones numéricas en flujo permanente y a presión en el software EPANET 2.2.

En cada una de las simulaciones se observarán los resultados de caudales, presiones y velocidades para, posteriormente, plantear soluciones que aseguren el correcto funcionamiento del sistema de riego. Se examinarán los resultados obtenidos con la finalidad de realizar presupuestos aproximados y mostrar las posibles observaciones que se pueden presentar al implementar las soluciones propuestas para el sistema de riego en mención.

1.4 Marco teórico

El uso del agua y sus aplicaciones han convertido al estudio de distribución de esta, en pieza fundamental para la elaboración de distintos métodos que buscan satisfacer la necesidad de consumo de agua (Ordoñez, 2017), dado que este es un recurso natural limitado e indispensable para la vida, además de que, con el pasar del tiempo, la población ha crecido y por ende el consumo de agua también ha ido aumentando.

Se debe tener en cuenta que la agricultura es uno de los ejes más importantes para el progreso del país, sin embargo, también viene a ser uno de los sectores que más consume recursos hídricos, y al ser el agua un recurso limitado es necesario contar con instalaciones aptas que permitan una adecuada repartición a cada parcela que consta dentro de la red de distribución, en ese sentido, es importante saber que esta división debe ser justa para que ningún usuario se vea perjudicado

Sistema de distribución de agua

Según Ayamamani (2018), la red de distribución está formada por un conjunto de tuberías, conexiones y accesorios que llevan el agua desde los tanques de almacenamiento hasta la toma que le corresponde a cada usuario, con el fin de suministrar el recurso para su consumo de una manera apropiada. Una red de distribución de riego es muy similar, se compone por un depósito de almacenamiento y un conjunto de tuberías trabajando a presión con sus respectivos accesorios, que mediante su buen funcionamiento deberá proveer la cantidad de agua adecuada a diferentes parcelas.

Los sistemas de distribución de agua son una parte fundamental para el bienestar y ejecución de actividades cotidianas de la población; sin embargo, a pesar de su importancia en este tipo de sistemas existe la incertidumbre de la escasez, distribución irregular y la deficiencia en la red de abastecimiento, ante esto, hoy en día se han desarrollado programas computacionales como EPANET que permiten simular comportamientos que evidencien escenarios futuros (Idrobo, 2018).

Redes abiertas

Para el desarrollo del presente estudio es importante conocer el significado de una red abierta, ya que en ella se basa el presente trabajo. Según Sotelo (1997), es una red abierta cuando su conjunto de tubos se ramifica exponencialmente, sin que estos se intersequen cuando se hayan formado los circuitos y sus extremos terminen en un recipiente o en un terreno, en caso de que el sistema riegue a parcelas.

Flujo a presión

Los flujos a presión en conducciones cerradas se desarrollan en conductos o tubos rígidos totalmente llenos. Las diferencias de presión en un tubo con flujo forzado mantienen al fluido en movimiento, independientemente de que el trazado de la conducción sea horizontal, descendente o ascendente, el flujo inclusive puede ascender verticalmente. En tal virtud, se diferencian de los flujos a superficie libre (ríos, canales, etc.) los cuales presentan la superficie superior en contacto con la atmósfera externa a presión ambiente, donde la fuerza motriz es la gravedad, tal como lo explica Basile (2020).

En este punto cabe indicar que el flujo en una tubería, al estar confinado en un conducto cerrado, no está sometido a la presión atmosférica de manera directa, sino solo a la presión hidráulica. El flujo presurizado puede ser representado como flujo unidimensional, esto debido a que los vectores velocidad circulan de forma paralela dentro de una sección del conducto, además, el hecho de que las partículas estén direccionadas en un solo sentido, el del eje de la tubería, hará que los cambios que presente en su alineación en todo el recorrido no le afecte; por lo tanto, solo se requiere que sus secciones transversales cuenten con velocidades similares para lograr un enfoque de flujo unidimensional.

Ante lo mencionado, considerar un flujo unidimensional es una de las hipótesis más importantes en hidráulica por las simplificaciones que trae consigo; esto simboliza una gran ventaja con respecto al fluido bidimensional o tridimensional, dado que requieren de un tratamiento analítico más complejo.

Flujo permanente

En hidrodinámica al flujo se lo clasifica en el espacio, tiempo, componentes del espacio y función del efecto viscoso. Dentro de la clasificación en función del tiempo se encuentran el flujo permanente y el flujo no permanente, sobre esto, Sotelo (1997) explica:

Un flujo es permanente cuando las características en un punto permanecen constantes para cualquier instante; o bien, si las variaciones en ellas son muy pequeñas con respecto a sus valores medios y estos no varían en el tiempo. El flujo permanente es más simple de analizar que el no permanente, por la complejidad que adiciona el tiempo como variable independiente. Sin embargo, en la práctica el flujo permanente es la excepción más que la regla; no obstante, muchos problemas se pueden estudiar suponiendo que el flujo es permanente, aun cuando existan pequeñas fluctuaciones de velocidad o de otras características con el tiempo,

siempre que el valor medio de cualquier característica permanezca constante sobre un intervalo razonable. (p. 97)

De acuerdo con su variación en el tiempo, el flujo puede clasificarse como permanente si el caudal no cambia con respecto al tiempo en cualquier punto del volumen de control; en caso contrario se le llama no permanente (Franco, 2006). En términos matemáticos, el flujo permanente se lo ve representado en la Ecuación 1.1:

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial t}\right) = 0$$

Ecuación 1.1. Ecuación de Flujo Permanente

Donde:

Q = caudal

t = tiempo

Ecuaciones gobernantes del flujo

- **Ecuación de la continuidad**

La ecuación de la continuidad se deduce a partir del principio de conservación de masa; esta ecuación expresa que la masa del sistema es constante, además de que una partícula, y por ende un sistema, puede presentar cambios en sus propiedades como resultado de cargas externas, sin embargo, la masa permanece invariable, independiente del tiempo y de cualquier acción que afecte al sistema (Guaycochea, 1992). Este concepto, se expresa matemáticamente en la Ecuación 1.2:

$$\left(\frac{\partial m_{sist}}{\partial t}\right) = 0$$

Ecuación 1.2. Principio de conservación de la masa

Donde:

m_{sist} = masa del sistema

t = tiempo

Por su parte, la ecuación de continuidad se refiere a la masa de un fluido dentro de un volumen específico y fijo, que es igual a la masa que sale. El flujo en la conducción no aporta ni extrae, tan solo ocurre el escurrimiento, por lo tanto, en este caso aplica

perfectamente el principio de que, ante cualquier transformación, la materia no se crea ni se destruye (Pedroza, 2018).

En un conducto, una sección 1 tiene un caudal Q_1 , dicho caudal es igual al que pasa por la sección 2 del mismo conducto Q_2 , al saber que cada caudal es la multiplicación del área por la velocidad de cada punto o sección, se puede observar la continuidad en la Ecuación 1.3:

$$Q = v * A$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$v_1 * A_1 = v_2 * A_2$$

Ecuación 1.3. Ecuación de la continuidad

Donde:

Q = caudal o gasto

v = velocidad

A = área

Las hipótesis que se consideran para la aplicación de la ecuación 1.3 son: Flujo unidimensional, Flujo permanente y Flujo incompresible.

- **Ecuación de cantidad de movimiento**

La ecuación de cantidad de movimiento es una ecuación vectorial que se deriva de la Segunda Ley de Newton. Es utilizada para calcular una fuerza e indica que la resultante es la consecuencia de la multiplicación de la densidad por el caudal y por la variación de velocidad (Sotelo, 1997).

Para la aplicación de la ecuación de cantidad de movimiento, como muestra la Ecuación 1.4, se deben tener en cuenta las condiciones tanto de flujo permanente como incompresible.

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \sum \rho * Q * \beta * \vec{v}$$

Ecuación 1.4. Ecuación de cantidad de movimiento

Donde:

$\overrightarrow{F_{ext}}$ = vector de fuerzas externas en cada sección

ρ = densidad

Q = caudal

β = coeficiente de Boussinesq

\vec{v} = vector velocidad en cada sección

Para la aplicación de esta ecuación se debe:

- Elegir un volumen de control adecuado.
- Considerar acciones debidas a la presión y al esfuerzo cortante.
- Los valores son en general el peso del volumen de control, aplicado en su centro de gravedad y perpendicular a las porciones de la sección.
- Cada producto será un vector con igual dirección a la velocidad.
- El vector velocidad debe ser afectado por un signo (+) si sale del volumen de control y (-) en caso contrario.

- **Ecuación de energía**

Para emplear la ecuación de energía se deben tener en cuenta varias consideraciones, estas son: Flujo unidimensional, Flujo permanente, Flujo ideal y Flujo incompresible. Sobre esto, Sotelo (1997) explica:

La ecuación de energía establece las relaciones entre las diferentes transformaciones de la energía mecánica del líquido, por unidad de peso de este. La carga de posición es la energía potencial; la carga de presión es la energía correspondiente al trabajo mecánico ejecutado por las fuerzas debidas a la presión; la carga de velocidad es la energía cinética de toda la sección; la pérdida de carga es la energía transformada en otro tipo de energía (transferencia de calor) que, en el caso de los líquidos, no es utilizable en el movimiento; y, finalmente, la carga correspondiente al cambio local de la velocidad es la energía utilizada para efectuar dicho cambio. (p. 127)

La ecuación de energía se aplica entre dos puntos de la línea de conducción, por ejemplo, entre el punto 1 y 2 como se muestra la Figura 1.1, donde se tiene la carga de posición, la carga de presión, la carga de velocidad y las pérdidas de carga.

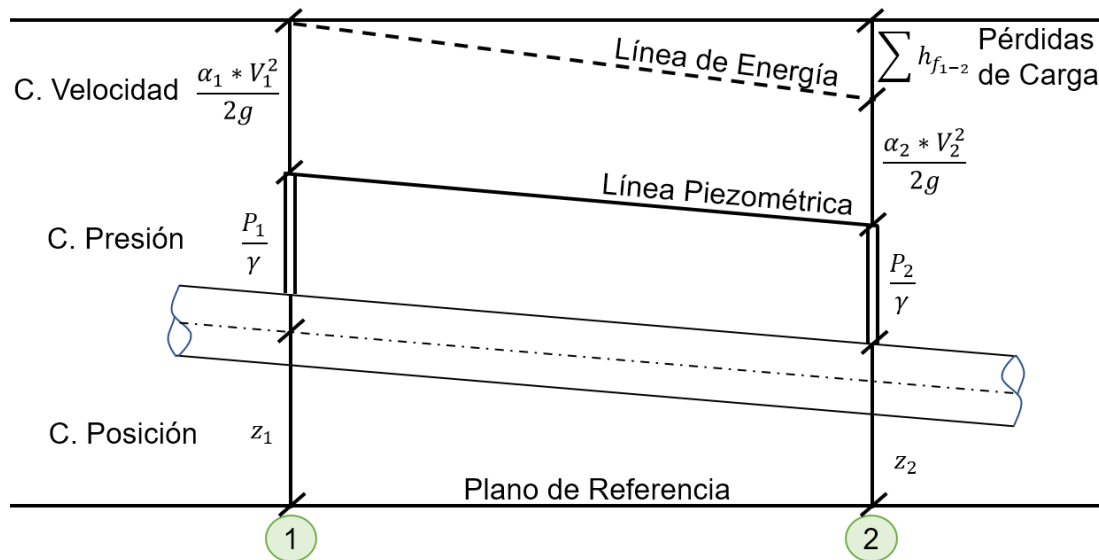


Figura 1.1. Línea de gradiente hidráulico.

Elaborado por: Vanessa Averos.

Fuente: (Sotelo, 1997)

Aplicando la Ecuación de Energía entre el punto 1 y 2 de la Figura 1.1 se debe considerar lo que indica la Ecuación 1.5:

$$E_1 = E_2$$

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \sum_{1-2} h_T$$

Ecuación 1.5. Ecuación de energía

Donde:

z_i = carga de posición

$\frac{P_i}{\gamma_i}$ = carga de presión

$\frac{v_i^2}{2g}$ = carga de velocidad

α_1 = coeficiente de Coriolis (corrige la distribución de velocidades)

$\sum_{1-2} h_T$ = pérdidas totales de energía ente la sección 1 y 2

Carga hidráulica a flujo permanente

La carga hidráulica es la medida de la presión que ejerce un fluido en un punto específico. A continuación, en la Figura 1.2, se muestra un esquema de la carga estática, carga

dinámica y pérdidas de carga de una sección a presión, en trabajo normal a flujo permanente, es decir cuando el caudal es constante en cualquier instante de tiempo.

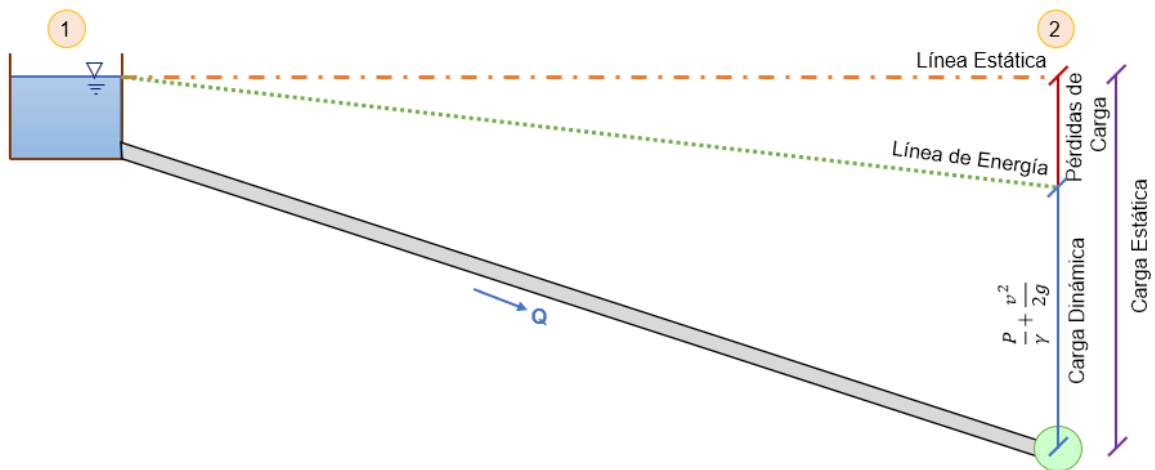


Figura 1.2. Carga hidráulica en flujo permanente.
Elaborado por: Vanessa Averos.

Por lo tanto, en la figura se muestra que:

- Línea Estática: Corresponde a la altura del nivel de agua del reservorio.
- Línea de energía: Es siempre descendente de acuerdo con la dirección del escurrimiento; junta los puntos que indican en cada sección de la energía de corriente. La línea no puede ser horizontal o ascendente en la dirección del escurrimiento si el líquido es real y no adquiere energía adicional desde el exterior (Sotelo, 1997).
- Carga Estática: Es el resultado de la carga de presión más la carga de velocidad, más las pérdidas de carga, o también como la diferencia entre la cota de la línea estática con la cota del eje de la tubería.
- Carga Dinámica: En cualquier punto de la sección se determina cómo la diferencia entre los valores de la línea estática, las pérdidas de carga y la cota del eje de la tubería, o también como la suma entre la carga de presión y la carga de velocidad.
- Pérdidas de carga: En una tubería las pérdidas de carga son la sumatoria de las pérdidas por fricción y locales.

Pérdidas totales

Según Basile (2020), las pérdidas totales de carga en el flujo de tuberías es la sumatoria de las pérdidas por fricción más las pérdidas locales.

- **Pérdidas por fricción**

En 1850, Darcy, Weisbach y otros autores (citados en Sotelo, 1997) dedujeron experimentalmente una fórmula para calcular en un tubo la pérdida por fricción, esta se detalla a continuación.

- **Fórmula de Darcy-Weisbach**

La fórmula de Darcy-Weisbach es aplicada para un flujo permanente, en tubo de diámetro constante, donde la línea de cargas piezométricas es paralela a la línea de energía e inclinada en la dirección del movimiento, como se muestra en la Ecuación 1.6:

$$h_t = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

Ecuación 1.6. Ecuación de Darcy-Weisbach

Donde:

h_t = pérdida por fricción

f = factor de fricción adimensional

L = longitud de la tubería

D = diámetro

V = velocidad media

g = aceleración de la gravedad

Cabe señalar que el factor de fricción se lo puede encontrar de diferentes maneras:

- En función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa del tubo, esta relación es representada en el Diagrama de Moody.
- Ecuación de Colebrook y White.
- Ecuación de Swame y Jain.
- Ecuación de Nikuradse.

Por otra parte, la rugosidad relativa resulta de la división entre la rugosidad absoluta con el diámetro de la tubería. A continuación, en la Tabla 1.1 se presentan los coeficientes de rugosidad absoluta de diferentes materiales:

Tabla 1.1. Valores típicos de Coeficientes de rugosidad

Material	Coeficiente Rugosidad Absoluta e (mm)	Coeficiente de Manning n	Coeficiente Hazen - Williams C _H
Asbesto Cemento	0.0015	0.011	140
Latón	0.0015	0.011	135
Tabique	0.6	0.015	100
Fierro fundido (nuevo)	0.26	0.012	130
Concreto (cimbra metálica)	0.18	0.011	140
Concreto (cimbra madera)	0.6	0.015	120
Concreto simple	0.36	0.013	135
Cobre	0.0015	0.011	135
Acero corrugado	45	0.022	-
Acero galvanizado	0.15	0.016	120
Acero (esmaltado)	0.0048	0.01	148
Acero (nuevo, sin recubrimiento)	0.045	0.011	145
Acero (remachado)	0.9	0.019	110
Plomo	0.0015	0.011	135
Plástico (PVC)	0.0015	0.009	150
Madera (duelas)	0.18	0.012	120
Vidrio (laboratorio)	0.0015	0.011	140

Elaborado por: Averos Vanessa.

Fuente: (Meadows, 2002).

- **Pérdidas locales**

De acuerdo con Basile (2020) las pérdidas locales se presentan en secciones determinadas de la conducción y se asocian a:

- Entrada desde un reservorio de almacenamiento.
- Inserción de elementos de alineamiento de la tubería y accesorios de control como codos, uniones, válvulas, etc.
- Cambios bruscos de dimensiones de la sección de los tubos por tramos, es decir, aumento o disminución de diámetro.
- Salida o descarga a otro reservorio o a un terreno.

Por lo general, al pasar de un punto a otro hay una parte de energía que “se pierde”, la cual no se transforma en elevación, presión o velocidad; esta es la energía consumida en forma de fricción, por lo señalado, las pérdidas de carga locales influyen en gran medida en la pérdida de carga total y dependen de la longitud de la tubería y de la cantidad y tipo de accesorios colocados en la conducción (Basile, 2020). Las pérdidas de carga locales son directamente proporcionales a la velocidad (energía cinética por unidad de peso del fluido), esto se evalúa aplicando la Ecuación 1.7:

$$h_r = K \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 1.7. Ecuación de Pérdidas locales

Donde:

h_r = pérdida local

K = coeficiente de pérdida loca, propio para cada accesorio

v = velocidad aguas abajo del accesorio

g = aceleración de la gravedad

A las pérdidas de carga locales también se les denomina pérdidas menores, esto en razón de que, en tuberías muy largas, la mayor parte de la pérdida de carga es continua, sin embargo, en tuberías muy cortas las pérdidas de carga locales pueden ser muy importantes (Rocha, 2007).

Válvulas de admisión, expulsión y eliminación de aire

En todo sistema con flujo presurizado es importante que no se tenga la presencia de aire en la línea de conducción, ya que un volumen de aire ocasiona una pérdida de eficiencia al sistema. Se deben colocar válvulas de aire en los sitios donde tentativamente existe aire y resulta complicado salir de manera natural, por lo que se queda atrapado dentro de la tubería. Se conoce que al aire se le complica moverse en los puntos de inflexión altos, formando una restricción al paso del agua.

En un flujo a presión, el aire dentro de las tuberías puede ocasionar graves problemas en la conducción, por ejemplo:

- Un suministro de agua inadecuado a cada parcela del sistema de riego.
- Reducción de la sección transversal, menor eficiencia.
- Colapso de tuberías debido a presiones negativas.
- Cavitación.

• Tipos de Válvulas de aire

A continuación, en la Figura 1.3, se presenta la clasificación de las válvulas de aire que se pueden encontrar en este tipo de sistemas:

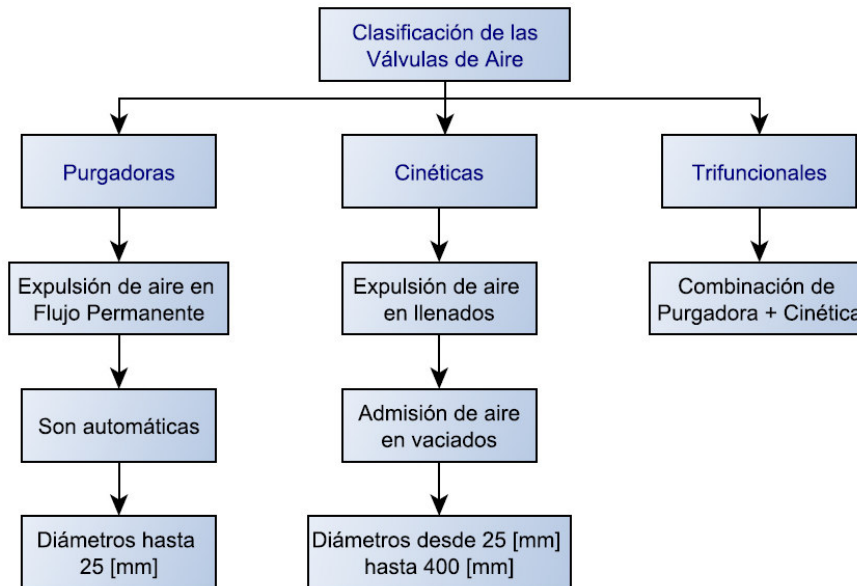


Figura 1.3. Clasificación de las válvulas de aire.
Elaborado por: Vanessa Averos.

EPANET

EPANET es un software libre que permite realizar simulaciones numéricas con el fin de observar el comportamiento hidráulico y la calidad de agua en redes de distribución con flujo presurizado. Este programa permite ingresar a la prueba varios componentes de una red real, por ejemplo: tuberías, nudos, bombas, válvulas, reservorios y tanques de almacenamiento.

Además, EPANET tiene un gran uso en la simulación de sistemas de abastecimiento de agua, permitiendo al usuario realizar ensayos con dos estados, el estacionario y el estado dinámico, apuntando al diagnóstico del comportamiento hidráulico de la red y la calidad del agua a lo largo de un período de tiempo en una red de suministro a presión (Chuquín et al., 2018).

Asimismo, permite realizar un seguimiento de cada caudal perteneciente a las tuberías, junto con las presiones en cada nudo, e incluso en los niveles de cada depósito, la altura de agua en cada tanque y hasta la concentración de sustancias químicas de la red de distribución analizada (Rossman et al., 2020). Este software consta de un simulador hidráulico muy avanzado que brinda las siguientes ventajas:

- Tiene implementado diferentes tipos de válvulas como reguladoras de presión o caudal, de retención y de corte.
- Para el cálculo de las pérdidas de carga, se puede escoger la ecuación con la que se desea trabajar; ya sea: Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, o Chezy-Manning.

- Es posible simular el tamaño de red que el modelador desee, ya que no existe límite.
- Considera pérdidas menores en los accesorios, codos, entre otros.

Es importante mencionar además que el EPANET simula un sistema de distribución de agua mediante una serie de líneas conectadas a puntos (nodos), las líneas representan a las tuberías, bombas y válvulas de control, mientras que los puntos representan juntas, tanques y depósitos, tal como lo explican Rossman et al. (2020). En la Figura 1.4 se representa cómo pueden conectarse los componentes para formar la red.

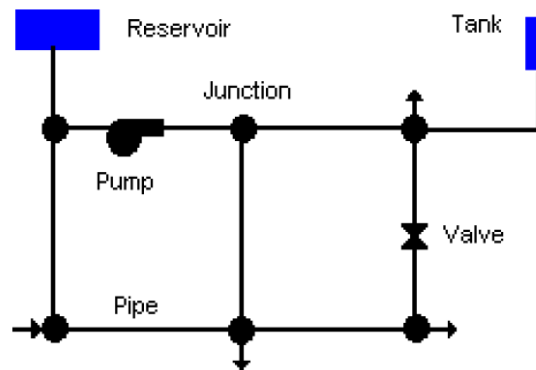


Figura 1.4. Componentes físicos de un Sistema de distribución de agua.
Fuente: Manual EPANET 2.2 (Rossman et al., 2020).

2 METODOLOGÍA

Este apartado describe el proceso realizado para la simulación en flujo permanente de la red de riego Porlón - El Socorro - Reservorio 67, a fin de obtener el diagnóstico de su funcionamiento. Para ello, se elaboró un diagrama con las actividades propuestas, y de esa forma establecer los entregables del componente, esto se muestra en la Figura 2.1.

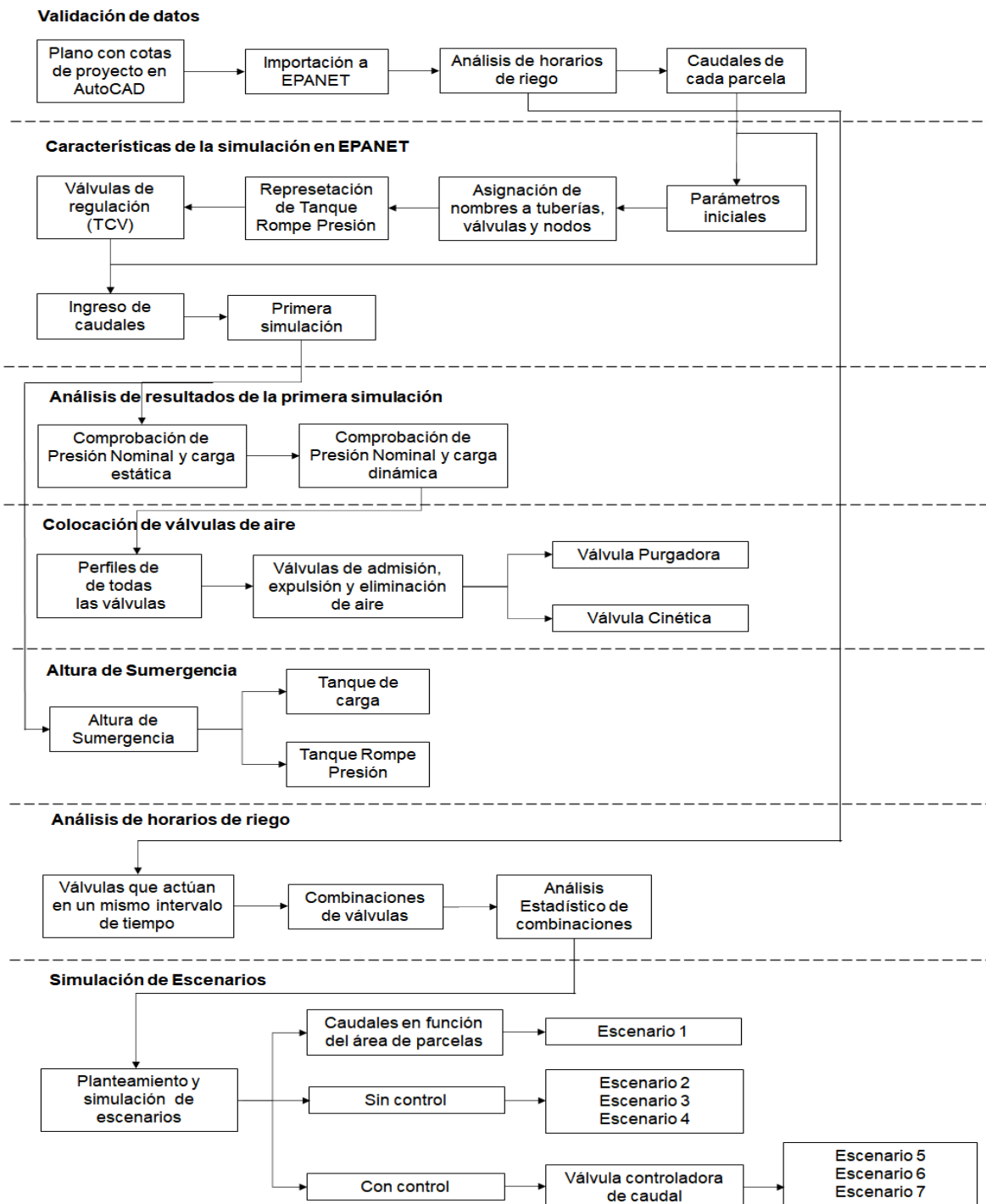


Figura 2.1. Diagrama de metodología.
Elaborado por: Vanessa Averos

2.1 Validación de Datos

Se inició realizando una validación de datos de toda la información proporcionada, esto ayudó a evitar el ingreso de coordenadas o puntos incorrectos en la simulación, y en el estudio de este, comprobando así la integridad y validez de cada dato.

Esta verificación consistió en elaborar planos en AutoCAD con las cotas del proyecto y coordenadas “x” y “y”; posteriormente, se importó el plano a EPANET 2.2 haciendo uso del software EpaCAD, de manera que se puedan identificar posibles errores en la información inicial. A continuación, en los siguientes apartados se describe de mejor manera dicho procedimiento.

Plano con cotas de proyecto

Con la información previamente validada se procedió a elaborar un plano en el software AutoCAD, considerando las coordenadas (“x” y “y”) y la cota (z) donde se encuentra ubicada la tubería en cada punto. Para ello, tomando como referencia las cotas de terreno del levantamiento topográfico de todo el sistema de riego, se restó una altura tentativa de 1.5 metros, profundidad a la cual se consideró que se encuentra la tubería, esto acorde a inspecciones realizadas en determinados puntos de la red. Después, se realizó un plano en AutoCAD con el objeto de diferenciar la profundidad y pendiente de cada tramo de tubería y de las válvulas. Esto se presenta en el ANEXO I.

Importación a EPANET

EpaCAD es un software libre que brinda al usuario la posibilidad de convertir un archivo de AutoCAD en uno que pueda ser leído por este programa, el cual es capaz de examinar automáticamente las propiedades de dichos archivos para ayudar a generar una red de distribución de agua eficiente, considerando longitudes, coordenadas y cotas exactas a las que fueron ingresadas en el primer programa.

Para el presente trabajo, se partió del plano realizado en AutoCAD que luego se guardó como archivo (.dxf), para que con la ayuda del software EpaCAD se pueda proceder con la importación en EPANET 2.2. En este punto fue necesario escoger la opción de Nodo, de tal forma que, al importar a este último, el programa considere a cada punto como un nodo, logrando obtener toda la información que fue recolectada en el levantamiento topográfico, para que posteriormente al realizar simulaciones se obtengan resultados de presiones en cada nodo en particular. Cabe señalar que la extensión con la que guarda EpaCAD es (.inp), misma que es importable a EPANET.

Análisis de horarios de riego

La Junta de Riego que administra el sistema de riego Porlón - El Socorro - Reservorio 67 proporcionó la información sobre horarios de riego de cada una de las 21 válvulas, especificando datos como: número de válvula, propietario, número y área de lote, día, tiempo de funcionamiento y hora de inicio y fin del riego. En este punto cabe señalar que la válvula 22 no se abre. Al analizar esta información se determina que en los días lunes, martes, jueves y viernes se abren 4 válvulas cada día, mientras que los miércoles, sábado y domingo se abren 5 válvulas por día, esto se presenta detalladamente en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Resumen de Horarios de Riego

SISTEMA DE RIEGO CHAMBO - GUANO					
PORLÓN - EL SOCORRO					
RESERVORIO 67					
Resumen de Horarios de Riego					
Día	Válvulas	Tiempo total (min)	Tiempo de riego por válvula (min)	Cantidad Lotes	Área (m2)
LUNES	4 válvulas	1470	47.4	31	54477
MARTES	4 válvulas	1450	55.8	26	50552
MIÉRCOLES	5 válvulas	1490	64.8	23	53386
JUEVES	4 válvulas	1510	50.3	30	52503
VIERNES	4 válvulas	1435	55.2	26	49684
SÁBADO	5 válvulas	1485	49.5	30	55079
DOMINGO	5 válvulas	1425	28.5	50	51222
Total				216	366903

Elaborado por: Vanessa Averos

Fuente: Junta de Riego Porlón – El Socorro – Reservorio 67

En el ANEXO II se muestra un resumen más completo por día de los horarios de riego.

Posteriormente se realizó un análisis del tiempo que permanece abierta cada válvula, por lo que se desarrolló un diagrama donde se muestra cómo interactúan cada una de las válvulas, con su respectivo tiempo y día de riego, esto se muestra en el ANEXO III. Se obtuvo un total de 23 combinaciones de válvulas, cada combinación está compuesta por un número de válvulas que permanecen abiertas en un mismo lapso de tiempo, para un mejor entendimiento se desarrolló el ANEXO IV donde se muestra un plano con todas las combinaciones de válvulas colocadas en sus respectivas coordenadas.

Caudales de cada parcela

A partir de la información proporcionada por las autoridades de la comunidad de estudio, se conocen las áreas de cada parcela a ser alimentada por el sistema de riego, tomando en consideración que el área total es de 36.81 [ha] y que la red comienza su distribución

con un caudal de 30 [L/s], en función de estos datos se obtiene tentativamente el caudal que va a ser regado en cada parcela de acuerdo con su área.

A continuación, en la Tabla 2.2 se muestra la distribución de los caudales en concordancia con el área a la que riega cada válvula de distribución.

Tabla 2.2. Caudales de riego en función del área

Caudal total	30	[L/s]	0.03	[m3/s]	
Área total	36.81	[Ha]	368078	[m2]	
Nodo-Válvula	Descripción	Área [m2]	Área [Ha]	Caudal [m3/s]	Caudal [L/s]
n25-V1	Válvula de distrib. 1	14534	1.45	0.001	1.18
n28-V2	Válvula de distrib. 2	33203	3.32	0.003	2.71
n37-V3	Válvula de distrib. 3	20968	2.10	0.002	1.71
n48-V4	Válvula de distrib. 4	14778	1.48	0.001	1.20
n56-V5	Válvula de distrib. 5	19076	1.91	0.002	1.55
n69-V6	Válvula de distrib. 6	23447	2.34	0.002	1.91
n60-V7	Válvula de distrib. 7	22741	2.27	0.002	1.85
n84-V8	Válvula de distrib. 8	12340	1.23	0.001	1.01
n93-V9	Válvula de distrib. 9	13153	1.32	0.001	1.07
n102-V10	Válvula de distrib. 10	8208	0.82	0.001	0.67
n110-V11	Válvula de distrib. 11	22830	2.28	0.002	1.86
n121-V12	Válvula de distrib. 12	25901	2.59	0.002	2.11
n128-V13	Válvula de distrib. 13	9928	0.99	0.001	0.81
n142-V14	Válvula de distrib. 14	18893	1.89	0.002	1.54
n147-V15	Válvula de distrib. 15	34205	3.42	0.003	2.79
n151-V16	Válvula de distrib. 16	8816	0.88	0.001	0.72
n162-V17	Válvula de distrib. 17	18654	1.87	0.002	1.52
n189-V18	Válvula de distrib. 18	23209	2.32	0.002	1.89
n185-V19	Válvula de distrib. 19	5673	0.57	0.000	0.46
n164-V20	Válvula de distrib. 20	12868	1.29	0.001	1.05
n168-V21	Válvula de distrib. 21	4653	0.47	0.000	0.38
n193-V22	Válvula de distrib. 22	0	0.00	0.000	0.00
TOTAL		368078	36.81	0.030	30.00

Elaborado por: Vanessa Averos

2.2 Características de la simulación en EPANET

Parámetros Iniciales

Se ingresaron los parámetros iniciales en el archivo de EPANET 2.2 los cuales fueron:

- Unidades de caudal: Litros por segundo [LPS]
- Ecuación de pérdidas de carga: Darcy-Weisbach [D-W]
- Ensayos Máximos: 50

Asignación de nombres a tuberías, válvulas y nodos

Para una mejor visualización y entendimiento de cada uno de los tramos de tuberías, nodos y tipos de válvulas, se asignó un nombre a cada elemento, de la siguiente manera:

- Tuberías: se les asignó el prefijo T, seguido del número de tubería y del tramo en el que se encuentra.
- Válvulas de distribución: se las nombró con el número de nodo seguido del número de válvula con el prefijo V para válvulas de distribución; con el prefijo VA para válvulas de aire y prefijo VC para válvulas de control.
- Tanque rompe presión: se le asignó el nombre como el número de nodo y TRP.
- Bifurcaciones y trifurcaciones: para bifurcaciones se asignó el prefijo B y para trifurcaciones el prefijo T, junto con el número de en el que se encuentra.
- Válvula de regulación: a este tipo de válvula se les colocó el nombre como sus siglas en inglés TCV seguido por el número de válvula.
- Válvula limitadora de caudal: se le asignó el nombre con el número de nodo y las siglas en inglés del tipo de válvula que es FCV.

La asignación de los nombres se encuentra detallada en el ANEXO V.

2.3 Representación de Tanque Rompe Presión en EPANET

Un tanque rompe presión es una alternativa frente a las válvulas rompe presión y tienen el objetivo de reducir la presión hidrostática a cero o a una presión igual a la de la atmósfera local, de manera que se tenga un nuevo nivel de agua y se pueda producir una zona de presión dentro de los límites de trabajo de las tuberías. En tal virtud, este tipo de tanques ayudan a disipar la energía y a reducir la presión relativa a cero, evitando daños en las tuberías.

Su funcionamiento es simple, el agua llega por medio de una tubería de entrada, la cual funciona con flujo a presión, llega al tanque rompe presión y cae por acción de la gravedad, en este punto se da una disipación de energía ocasionando que la presión se reduzca, y posteriormente, por la tubería de salida, se convierte nuevamente en flujo a presión.

En el sistema de riego Porlón - El Socorro - Reservorio 67, existe un tanque rompe presión, el cual está construido aguas abajo de la válvula 11, dirigiéndose hacia la válvula 13; sin embargo, EPANET 2.2 no tiene la opción de colocar un tanque de estas características en

la línea de conducción, por lo que se procedió a colocar una válvula reductora de presión, o por sus siglas en inglés PRV.

Una válvula reductora de presión (PRV) restringe la presión en un punto de la línea de conducción, de una sección de la tubería. En el software, un parámetro que se debe tener en cuenta y que es muy importante, es la Consigna o Tarado (Setting), misma que es una propiedad obligatoria en la modelación, para la válvula reductora de presión la consigna es la presión requerida aguas abajo de la válvula y sus unidades están en metros [m]. (Plaza, 2017)

De acuerdo con (Plaza, 2017) existen tres formas de operación que EPANET es capaz de mostrar:

- Parcialmente abierta: cuando la válvula está activa, para mantener una presión aguas abajo, siempre y cuando la presión aguas arriba sea superior a esta.
- Totalmente abierta: cuando la presión aguas arriba está por debajo de la especificada en la propiedad consigna o tarado (setting); en ese parámetro se ingresa la presión que se desea tener aguas abajo de la válvula.
- Cerrada: si la presión aguas arriba es menor a la presión aguas abajo de la válvula, imposibilitando que el flujo regrese.

En el software se colocó una válvula reductora de presión entre los puntos n113-TRP1 y n113-TRP2; el diámetro fue el mismo con el que llega la tubería de entrada al tanque rompe presión, es decir, 237.8 [mm]; en el parámetro consigna (setting) se colocó el valor de 0, ya que el objetivo de este artificio es simular un tanque rompe presión que ayude a disipar la energía acumulada por la trayectoria aguas arriba y reduzca la presión a cero en este tramo de la red.

Altura de sumergencia (hs)

La altura de sumergencia es importante en el tanque de carga y en el tanque rompe presión debido a que ayuda a evitar el ingreso y arrastre de aire por los vórtices que se forman en la superficie libre, permitiendo minimizar el arrastre de remolinos por los vórtices del suelo. De acuerdo con el libro *Swirling Flow Problems at Intakes* (Knauss, 1987), donde se muestra una investigación sobre la altura de sumergencia y los factores que interfieren, existen ecuaciones que ayudan con el cálculo de h_s .

Sobre esa base se conoce que la altura de sumergencia (h_s) depende de diferentes factores:

- Geometría de la sección de salida.
- Velocidad a la salida.
- Ubicación de la sección de salida.
- Aproximación del flujo.

Entonces, según Knauss (1987), las Ecuaciones 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4 ayudan a calcular la altura:

$$\frac{h_s}{d} = 1 + 2.3 * Fr$$

Ecuación 2.1. Ecuación recomendada para h_s

$$\frac{h_s}{d} = 2.27 * Fr$$

Ecuación 2.2. Ecuación para h_s , (Gordón, 1970)

$$\frac{h_s}{d} = 1.70 * Fr$$

Ecuación 2.3. Ecuación para h_s , (Gordón, 1970)

$$\frac{h_s}{d} = 2 * Fr + 0.5$$

Ecuación 2.4. Ecuación para h_s mínima.

Donde:

h_s = Altura de sumergencia

d = Diámetro interno de la sección de salida

Fr = Número de Froude

El cálculo se lo realizó con las cuatro ecuaciones precedentes y se escogió el mayor resultado por seguridad. Además, para obtener los valores de velocidad de la sección de salida de cada estructura, se desarrolló una previa simulación en EPANET 2.2 considerando la distribución de caudales en las 21 válvulas, presentados en la Tabla 2.2.

Para el sistema de riego Porlón - El Socorro - Reservorio 67 se identificaron fuentes de ingreso de aire por el tanque de carga y en el tanque rompe presión, debido a que la altura de sumergencia no es la suficiente. Como resultado de ello se procede a calcular un valor recomendado de h_s para las dos estructuras mencionadas.

Tanque de Carga

En la Tabla 2.3 se presentan los datos para el cálculo de h_s en el Tanque de Carga.

Tabla 2.3. Datos para el cálculo de h_s en el Tanque de Carga

TANQUE DE CARGA		
Parámetro	Valor	Observación
v [m/s]	0.43	v sección de salida
g [m/s ²]	9.81	Gravedad
D [mm]	299.6	Diámetro interno
Fr	0.251	Flujo Subcrítico

Elaborado por: Vanessa Averos

Por otra parte, los resultados de h_s del Tanque de Carga se reflejan en la Tabla 2.4:

Tabla 2.4. Resultados de h_s del Tanque de Carga

Altura de sumergencia	Valor	Ecuación
h_s [m]	0.47	Ecuación 2.1.
h_s [m]	0.17	Ecuación 2.2.
h_s [m]	0.13	Ecuación 2.3.
h_s [m]	0.3	Ecuación 2.4.

Elaborado por: Vanessa Averos

En este sentido, finalmente se escogió un valor de altura de sumergencia para el tanque de carga de 0.5 [m].

- **Tanque Rompe Presión**

En la Tabla 2.5 se muestran los datos para calcular h_s del tanque rompe presión.

Tabla 2.5. Datos para el cálculo de h_s en el Tanque rompe presión

Tanque Rompe-Presión		
Parámetro	Valor	Observación
v [m/s]	0.25	v sección de salida
g [m/s ²]	9.81	Gravedad
D [mm]	237.8	Diámetro interno
Fr	0.164	Flujo Subcrítico

Elaborado por: Vanessa Averos

Los resultados se reflejan en la Tabla 2.6, a continuación:

Tabla 2.6. Resultados de h_s del Tanque Rompe Presión

Altura de sumergencia	Valor	Ecuación
h_s [m]	0.33	Ecuación 2.1.
h_s [m]	0.1	Ecuación 2.2.
h_s [m]	0.07	Ecuación 2.3.
h_s [m]	0.20	Ecuación 2.4.

Elaborado por: Vanessa Averos

Sobre esta base, el valor de la altura de sumergencia para el tanque rompe presión es de 0.4 [m].

2.4 Válvulas de regulación (TCV)

En el sistema de riego estudiado existen en total 22 válvulas de compuerta, las cuales hacen su repartición de caudal a las respectivas parcelas. Para el diagnóstico del sistema de red de riego, se sabe que al momento no tiene control, por lo que para hacer la simulación se procedió a colocar una válvula de regulación al final de cada nodo donde se encuentran las válvulas del sistema de riego.

Así también, se colocó una válvula de regulación o reguladora por estrangulación (TCV) la cual simula una válvula parcialmente cerrada, ajustando adecuadamente el valor del coeficiente de pérdidas menores. Normalmente, los fabricantes proporcionan una relación entre el grado de cierre de la válvula y el coeficiente de pérdidas resultante.

Con el objetivo de saber cuál es el caudal que saldrá de cada válvula del sistema de riego cuando no se tiene control de su funcionamiento, en EPANET 2.2 se procedió a colocar este tipo de válvula a continuación del nodo (punto) donde se encuentra la válvula de distribución del sistema de riego. Además, para que la simulación corra satisfactoriamente en las primeras simulaciones, se colocó, de manera continua, un reservorio conectado mediante una tubería a la válvula de regulación. Las consideraciones que se tomaron en cuenta para realizar este artificio son las siguientes:

- Se colocó la misma cota de elevación del nodo de la válvula en el reservorio.
- Se colocó el mismo diámetro de la tubería que llega a cada válvula de compuerta de la válvula TCV y tubería que conecta al reservorio, al igual que la rugosidad del material respectivo.
- La longitud de la tubería que conecta al reservorio tiene un valor de 2 [m] debido a que se pretende tener un valor de caudal que sale por esa válvula sin control, y que está colocada muy cerca del nodo final.
- Al ser una Válvula TCV hay un parámetro Setting o Consigna el cual representa al coeficiente de pérdidas menores; es importante indicar que hay fabricantes que proporcionan una relación entre un porcentaje de apertura o cierre de la válvula y el coeficiente de pérdidas resultante. En este caso se consideró que la válvula se abre completamente, por lo que el valor utilizado en Setting es de 0.1.

En la Figura 2.2, a continuación, es posible observar los coeficientes de pérdida promediados para válvulas parcialmente abiertas.

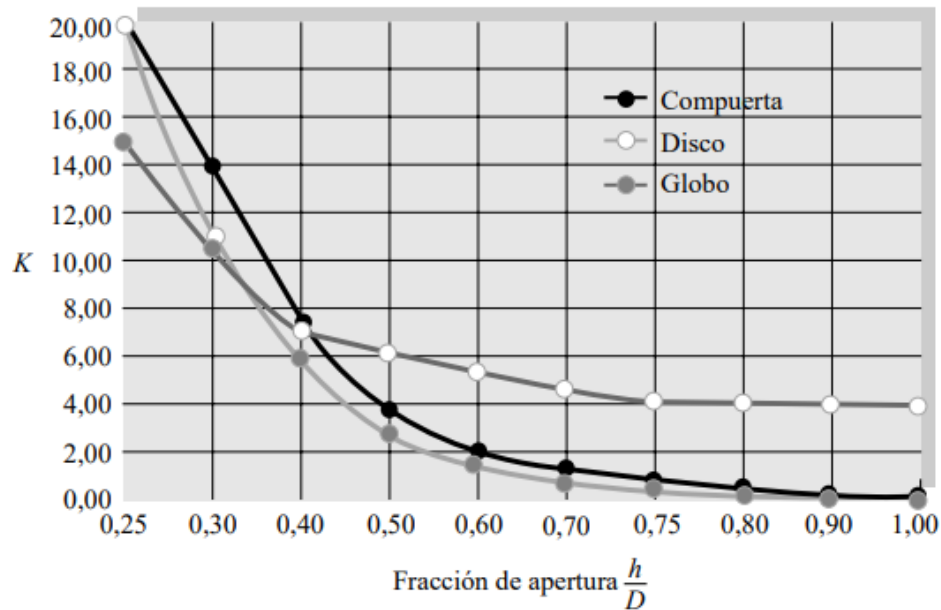


Figura 2.2. Coeficientes de pérdida promediados para válvulas parcialmente abiertas
Fuente: (White, 2003).

A continuación, en la Figura 2.3., se presenta un esquema donde del artefacto colocado en EPANET 2.2 en la válvula 1:

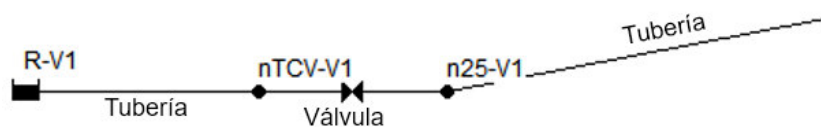


Figura 2.3. Representación de válvula TCV en EPANET.
Elaborado por: Vanessa Averos
Fuente: EPANET 2.2. Previa simulación

2.5 Comprobación de Presión Nominal y Carga Estática

Al tener la simulación con la característica del tanque rompe presión, y teniendo en las 22 válvulas de distribución cerradas, se procede a hacer una revisión donde se observa que, al no tener valores de caudal circulando por las tuberías, la línea de energía es igual a la línea estática, sin registro de pérdidas de carga. Como se observa en la Figura 1.2 la carga estática es mayor que la carga dinámica, por lo tanto, para la comprobación de presión nominal con carga estática y dinámica en el diseño en flujo permanente manda la carga estática. A continuación, se presenta el cálculo de las comprobaciones de presión nominal con carga estática y carga dinámica.

- **Carga Estática (CE)**

La cota a la que se encuentra el nivel del agua del reservorio es 2770.57 [msnm], a este valor se le restó la cota correspondiente de cada punto de la línea de conducción y se obtuvo la carga estática. A continuación, se muestra un ejemplo con el punto n2:

Cota de la línea estática = 2770.57 [msnm]

Cota del punto n2 = 2765.784 [msnm]

$$Carga\ Estática = (2770.57 - 2765.784)\ msnm = 4.79\ mca$$

- **Presión Nominal (PN)**

En el sistema de riego Porlón - El Socorro - Reservorio 67 se encuentran colocadas tuberías de PVC con diámetros nominales de 110 [mm], 250 [mm] y 315 [mm], con una presión de trabajo de 0.63 [MPa] = 64.24 [mca].

- **Comprobación**

Con el valor de la carga estática y de la presión nominal de la tubería se procedió a realizar la comprobación de la siguiente manera:

“La Presión Nominal de la tubería debe ser mayor a la Carga Estática del sistema”

Para el Punto n2 se tienen estos valores:

$$PN > CE$$

$$64.24\ [mca] > 4.79\ [mca]$$

OK

Es importante notar que al existir un tanque rompe presión en el sistema de riego, la cota de la Línea Estática cambia a 2734.581 [msnm] para los siguientes puntos ubicados aguas abajo del tanque; y cuando se realiza la comprobación de todos los puntos de la red de riego se observa que de manera general se cumple, esto se observa en el ANEXO VI.

2.6 Comprobación de Presión Nominal y Carga Dinámica

- **Carga Dinámica (CD)**

La carga dinámica que da el sistema EPANET 2.2 es la sumatoria de la carga de presión más la carga de velocidad, tal como se ve a continuación, en la Ecuación 2.5:

$$Carga\ Dinámica = \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 2.5. Ecuación de carga dinámica

Donde:

P = Presión

γ = Peso específico

v = velocidad

g = gravedad

La carga dinámica en este caso se calculó realizando la resta entre la cota de la línea de energía y la cota de la tubería; mientras que los valores de la línea de energía son obtenidos a partir de una simulación previa en EPANET 2.2, en la cual se ingresó los valores de caudales en las 22 válvulas de distribución presentados en la Tabla 2.2. A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo con el punto n2:

Cota de la línea de energía = 2770.55 [msnm]

Cota del punto n2 = 2765.784 [msnm]

$$Carga\ Dinámica = (2770.55 - 2765.784) = 4.77\ mca$$

- **Presión Nominal (PN)**

Como se mencionó anteriormente, en el sistema de riego estudiado están colocadas tuberías de PVC con una presión de trabajo de 0.63 [MPa], equivalente a 64.24 [mca].

- **Comprobación**

El ejemplo de cálculo se lo realiza para el punto n2, de la siguiente manera:

$$PN > CD$$

$$64.24\ [mca] > 4.77\ [mca]$$

OK

En el ANEXO VI se presenta la comprobación de todos los puntos de la línea de conducción y se puede observar que todos cumplen.

2.7 Pérdidas de Carga

Se determinaron las pérdidas de carga o de energía en EPANET 2.2, las cuales fueron calculadas a partir de la fórmula de Darcy-Weisbach [D-W] que se ingresó como parámetro inicial en la simulación. El programa muestra los valores de pérdidas por fricción, ya que para el cálculo de las pérdidas locales o menores es necesario el ingreso de coeficientes dependiendo los accesorios colocados en la red, es importante señalar que los resultados mostrados corresponden a las pérdidas por fricción.

Se realizó una simulación previa donde se ingresó los valores de caudal en función del área de riego, como demanda base al nodo correspondiente de cada válvula de distribución como se presenta en la Tabla 2.2 y se consideró que todas las válvulas se encuentran abiertas. Este software muestra resultados de pérdidas de carga en unidades de metros por kilómetro de tubería, por lo que, para obtener resultados en la longitud real del proyecto, se multiplicó por la longitud de cada tubería y posteriormente se realizó la sumatoria total de las pérdidas de carga obtenidas, para conocer el valor de pérdidas de carga total. Esto se muestra en el ANEXO VII.

2.8 Válvulas de admisión, expulsión y eliminación de aire

Las válvulas de aire sean tipo purgadoras, cinéticas o trifuncionales, son de gran importancia en el sistema de riego, puesto que, al existir bolsas de aire en la tubería, ocasiona una reducción del caudal que se encuentra circulando por esta, y como resultado se evidencia una pérdida de eficiencia en el sistema debido a que se producen altas pérdidas de carga.

Por lo señalado, se vio la importancia en la colocación de válvulas de aire trifuncionales como parte del sistema de riego El Porlón - El Socorro - Reservorio 67; las válvulas trifuncionales son una combinación de las válvulas purgadoras y cinéticas que forman un solo cuerpo y son capaces de evacuar el aire en tuberías de llenado, además de purgar pequeñas cantidades de aire cuando la red está bajo presión y adicionalmente permiten la entrada de aire en el momento del vaciado de la red.

A partir del software EPANET 2.2 se observaron los perfiles de elevación que corresponden a cada una de las 22 válvulas de distribución. De acuerdo a AWWA (American Water Works Association [AWWA], 2016) se procedió a colocar válvulas de aire trifuncionales en los siguientes casos:

- En los puntos altos significativos donde se puede atascar el flujo o cuando se requiere protección contra vacío; se debe colocar una válvula de aire para reducir la pérdida de carga, eliminando el aire arrastrado.
- En descensos abruptos de pendiente.
- En distancias que sobrepase los intervalos de 400 [m] a 800 [m], en secciones ascendentes, descendentes y horizontales del sistema.

Tomando en consideración los casos anteriores, se realizó una colocación recomendada en ocho puntos donde se considera que es importante la presencia de una válvula de aire. Es necesario mencionar que en el sistema de riego estudiado existen cuatro válvulas de aire, las cuales, mediante la visita de campo, se observó que no están funcionando correctamente.

A continuación, en la Tabla 2.7, se presenta el nodo con las respectivas coordenadas de las válvulas de aire existentes en el sistema de riego de estudio.

Tabla 2.7. Válvulas de aire existentes

Válvulas de aire existentes			
No. Válvula	Nodo	Coordenada X [m]	Coordenada Y [m]
1	n39-VA1	766840.016	9816537.831
2	n98-VA2	766333.803	9816869.780
3	n108-VA3	766350.460	9817005.773
4	n120-VA4	766412.056	9817179.892

Elaborado por: Vanessa Averos

Por otra parte, en la Tabla 2.8 se muestra información sobre las válvulas de aire recomendadas a ser colocadas en el sistema de riego con sus respectivas coordenadas, para esto, se realizó el cálculo de la dimensión de cada válvula de aire. En este caso, se calculó el diámetro de la válvula purgadora y cinética para llenado. El sistema de riego en estudio no realiza una maniobra de vaciado donde sale agua y entra aire, por lo que el cálculo para la válvula cinética de vaciado no se elaboró, además de que no se tienen válvulas de desagüe.

Tabla 2.8. Válvulas de aire trifuncionales recomendadas

Válvulas de aire Trifuncionales recomendadas					
No. Válvula	Nodo	Coordenada X [m]	Coordenada Y [m]	Φ Purgadora [in]	Φ Cinética [in]
1	n7	766945.813	9816374.608	1/16"	1"
2	n15	766758.050	9816363.405	1/16"	1"
3	n51	766737.140	9816746.978	1/16"	1"
4	n68	766591.555	9816958.636	1/16"	1"

No. Válvula	Nodo	Coordenada X [m]	Coordenada Y [m]	Φ Purgadora [in]	Φ Cinética [in]
5	n80	766486.685	9816618.048	1/16"	1"
6	n131	766349.760	9817163.758	1/16"	1"
7	n174	766328.404	9817367.420	1/16"	1"
8	n187	766151.643	9817545.633	1/16"	1"

Elaborado por: Vanessa Averos

A continuación, en la Figura 2.4, se aprecian las válvulas de aire existentes (Azul) y las válvulas recomendadas (verde) como parte del plano.

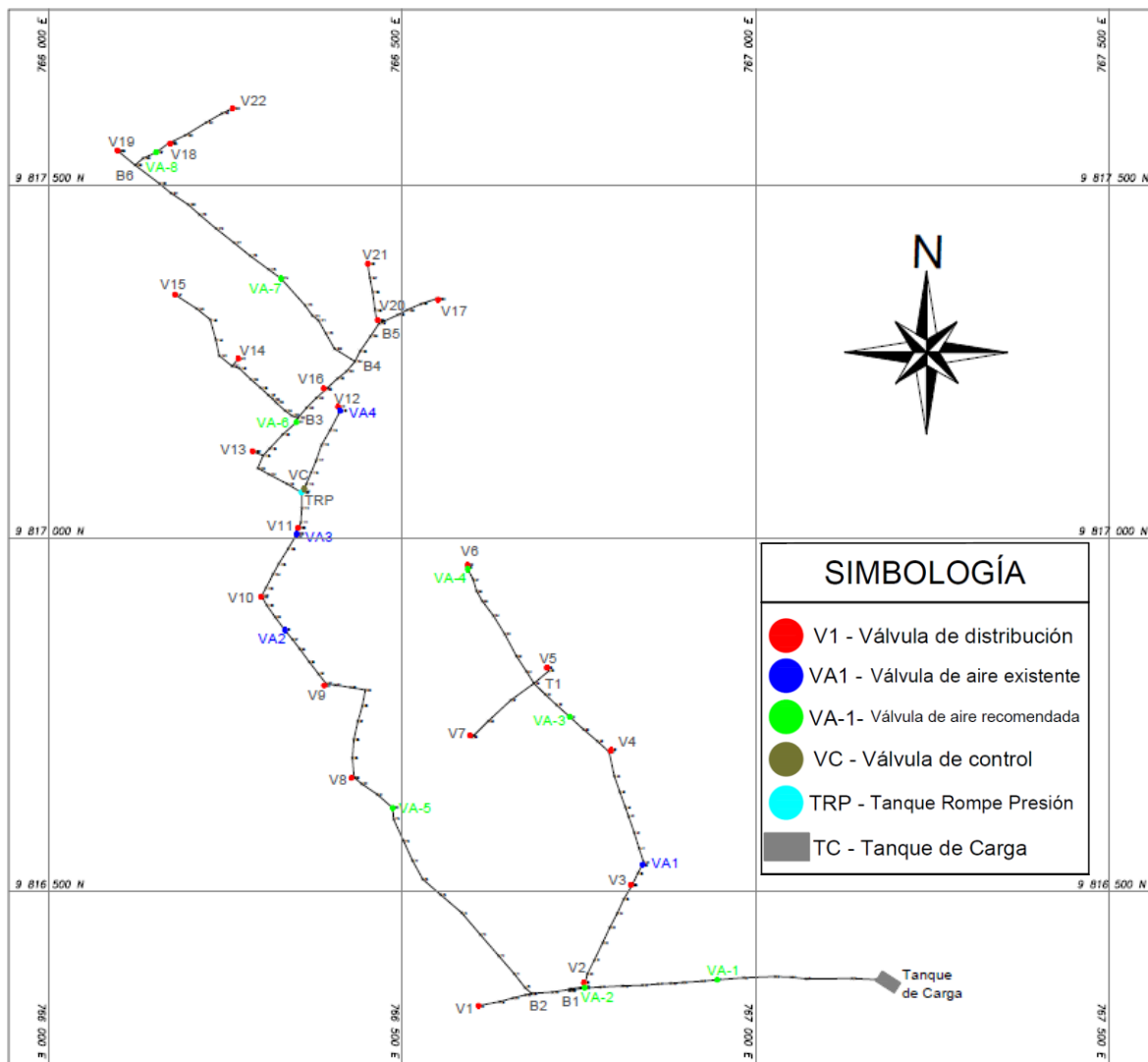


Figura 2.4. Plano en Planta de Válvulas de aire recomendadas.

Elaborado por: Vanessa Averos

Si siguiendo la misma línea, en el ANEXO VIII se observan los perfiles de elevación con las válvulas existentes y recomendadas. También, los diagramas de flujo de cálculo de las válvulas de aire purgadoras, cinéticas para el llenado y para el vaciado se presentan en el ANEXO IX, mientras que en el ANEXO X consta todo el cálculo de las válvulas de aire.

2.9 Planteamiento de escenarios de simulación

En función de toda la información proporcionada por las autoridades a cargo del sistema de riego de estudio, se realizó un análisis de los horarios, considerando la hora de inicio hasta la hora de culminación de riego, es decir el tiempo en el que permanece abierta una determinada válvula para regar a parcelas específicas, además, se tomó en cuenta el día en el que se abre cada válvula.

Posteriormente, se procedió a analizar, por día, cuáles son las válvulas que interactúan juntas, es decir que funcionan durante un lapso de tiempo y riegan a las respectivas parcelas simultáneamente, esto se puede observar de mejor manera en el ANEXO XI. Como se mencionó anteriormente, en el ANEXO IV se presenta un plano en planta de todas las válvulas del sistema de riego en el cual, mediante pares de símbolos, se identifican aquellas que se encuentran funcionando al mismo tiempo.

En el software EPANET 2.2 se procedió a colocar las válvulas de regulación (TCV) como se lo explica en el apartado 2.4 Válvulas de distribución, de este trabajo, y con la información analizada se procedió a realizar diferentes simulaciones donde se encuentren abiertas únicamente las combinaciones de válvulas que funcionan al mismo tiempo; mientras las demás válvulas están cerradas, con el fin de obtener el valor de caudal que llega a cada una, todo esto como un sistema sin control.

Posteriormente se realizó una sumatoria de los caudales de cada combinación de válvulas para su análisis estadístico, el cual se lo realizó en el escenario 2, 3 y 4. Para el escenario 5, 6 y 7 se calculó el porcentaje respecto a la sumatoria de caudal de cada combinación y posteriormente se determinó el valor de caudal juntamente con los porcentajes y con el caudal concesionado de 30 [L/s] que tiene la red de estudio. En el ANEXO XI se presenta un resumen de todo este análisis. Es importante señalar que se plantearon siete escenarios de simulación con el objetivo de analizar el funcionamiento de la red de riego, estos son explicados a continuación:

Escenario 1

Para este primer escenario, en el software EPANET 2.2, al final de cada nodo de las 22 válvulas de distribución, se colocó una válvula reguladora por estrangulación (TCV), donde el diámetro de la válvula es el mismo con el que llega la tubería al nodo. En el apartado de Consigna o "Setting" se colocó un valor de 0.1, el cual representa un valor de coeficiente de pérdidas menores con respecto a un porcentaje de apertura o cierre de la válvula. En este escenario se consideró que todas las válvulas se encuentran totalmente abiertas.

El sistema de Riego Porlón - El Socorro - Reservorio 67 tiene un caudal concesionado de 30 [L/s], y junto con las áreas a las que riega cada válvula, información que fue proporcionada por las autoridades de la comunidad, se determinó un caudal en función de las áreas, estos valores se muestran en la Tabla 2.2. En este primer escenario se colocó un valor de demanda base en el nodo final de las 21 válvulas que actúan en toda la red; el nodo final tiene la misma elevación del nodo en el que se encuentra la válvula de distribución. Con la simulación del presente Escenario 1 se intenta conocer cómo es el funcionamiento del sistema de riego cuando todas las válvulas están totalmente abiertas, y únicamente reparten el caudal concesionado, es decir, 30 [L/s] a las 36.81 [ha] correspondientes.

Escenario 2

Este escenario fue planteado en función del análisis de la estadística de los caudales de funcionamiento de la red, en el ANEXO XI se observa que existen 23 combinaciones de válvulas que se encuentran funcionando en un mismo tiempo. Se realizaron las simulaciones en el software EPANET 2.2 en función de cada una de las combinaciones de válvulas, y se obtuvieron los valores de caudales, los cuales se presentan en el mismo anexo. Posteriormente, se realizó una sumatoria de cada una de las combinaciones y se determinó el valor del caudal máximo, es decir la mayor cantidad de caudal que el sistema riega al estar abierto un determinado número de válvulas, tomando en cuenta que esto se realiza sin ningún tipo de control de caudal.

La Figura 2.5 contiene los caudales de funcionamiento obtenidos anteriormente, en el eje horizontal se colocó el número de combinaciones y en el eje vertical se encuentra la sumatoria de caudal en litros por segundo [L/s], observándose que el valor máximo de caudal corresponde a la combinación 19 en el día sábado, llegando a 242.32 [L/s], lo cual representa el valor de caudal que la válvula 11 y válvula 16 están regando al estar abiertas simultáneamente en un sistema sin control.

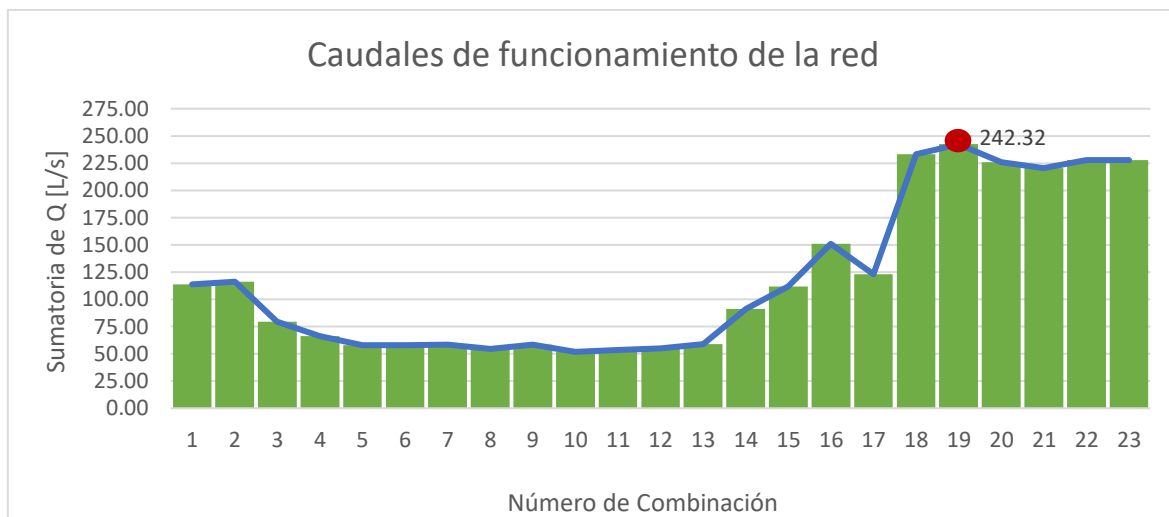


Figura 2.5. Caudal máximo de funcionamiento de la red.
Elaborado por: Vanessa Averos

En ese sentido, con el Escenario 2 se pretende entender el funcionamiento del sistema de riego sin ningún tipo de control, regando el caudal máximo, es decir cuando se encuentre en un momento crítico el funcionamiento de la red debido a la mayor demanda de caudal a regar y teniendo en consideración que el Reservorio 67 es el que alimenta al sistema de riego según sus requerimientos en este escenario.

Escenario 3

A partir del ANEXO XI se procede a realizar un análisis estadístico de las combinaciones de las válvulas que funcionan de manera simultánea, observando las sumatorias de caudal de aquellas que se encuentran funcionando en un mismo instante de tiempo. Es posible observar que son 23 combinaciones, y teniendo en consideración que la red riega esta cantidad de caudal sin ningún tipo de control, se determinó el valor del caudal mínimo para desarrollar la simulación de este tercer escenario.

En EPANET 2.2 se procedió a realizar esta tercera simulación, manteniendo abiertas únicamente las válvulas 6 y 15 mientras que las demás se encuentran cerradas. Al correr el programa se obtuvieron valores de caudal de cada válvula abierta, dando como resultado una sumatoria de 51.79 [L/s].

Como se puede observar en la Figura 2.6, el valor del caudal mínimo es de 51.79 [L/s], lo que corresponde a la combinación 10, donde las válvulas que interactúan juntas son la 6 y 15 durante el día jueves. Es notorio que el Escenario 3 es el menos crítico, en tal virtud se busca observar el funcionamiento de la red de riego cuando necesita regar la menor cantidad de caudal, considerando que es un escenario sin ningún tipo de control en el sistema de riego.

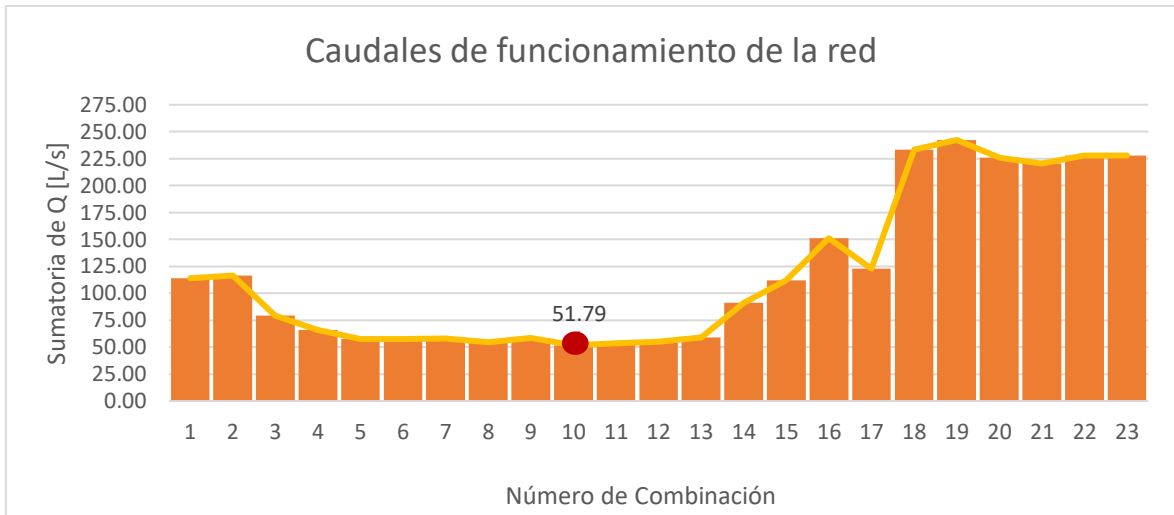


Figura 2.6. Caudal mínimo de funcionamiento de la red.
Elaborado por: Vanessa Averos

Escenario 4

Para el Escenario 4, tal como consta en el ANEXO XI, se procedió a realizar un nuevo análisis estadístico donde se determinó un valor promedio de la sumatoria de todos los caudales de las combinaciones donde actúan juntamente las válvulas abiertas dentro del sistema sin control. Dando como resultado un valor promedio de 116.31 [L/s] que corresponde a la combinación 2 del día lunes, cuando actúan abiertas las válvulas 2 y 18; esto se observa en la Figura 2.7.

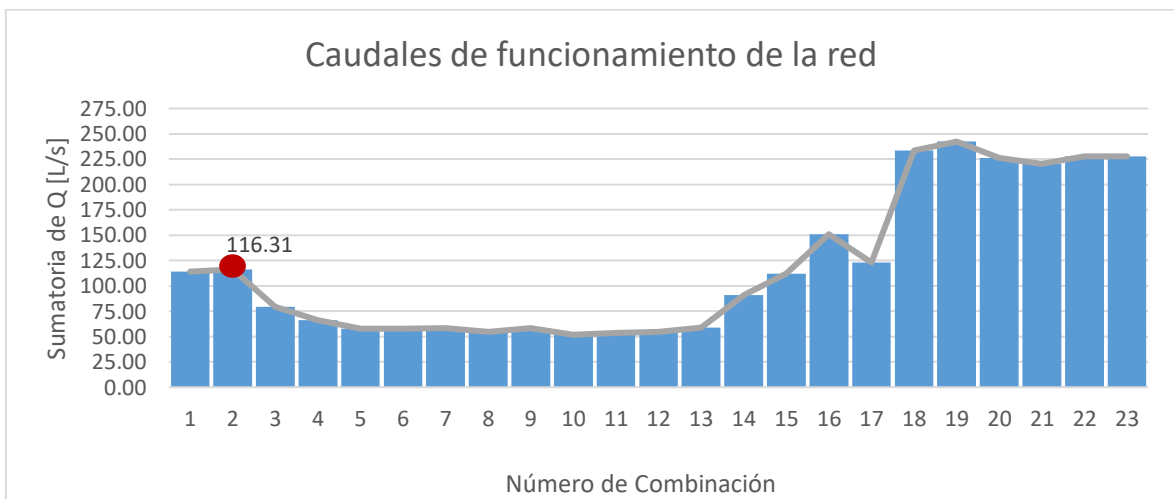


Figura 2.7. Caudal promedio del funcionamiento de la red.
Elaborado por: Vanessa Averos

Ante lo mencionado, se realizó la simulación en EPANET 2.2, sin ningún control, de este cuarto escenario para posteriormente analizar el funcionamiento del sistema de riego en mención, en el caso de que se esté llegando a una cantidad de caudal promedio cuando dos válvulas, que se encuentran muy alejadas una de la otra, funcionan en un mismo instante de tiempo.

Escenario 5

Tomando en consideración que el sistema de riego en estudio tiene concesionado un valor de 30 [L/s], para el Escenario 5 se procede a colocar un control de caudal en el sistema de riego de estudio permitiendo pasar únicamente un valor determinado de caudal. En la simulación de EPANET 2.2, en el primer tramo, después del tanque de carga, es decir en la tubería T1-1, se colocó una válvula controladora o limitadora de caudal (FCV).

Considerando que en una simulación de un modelo hidráulico no se puede conectar directamente a un depósito o tanque, se procedió a colocar una tubería con una distancia mínima, en este caso fue de 0.30 [m], con el objetivo de que no existan valores considerables de pérdidas de energía. Por lo señalado anteriormente, se procedió a eliminar los reservorios colocados a continuación de cada uno de los nodos de las válvulas (TCV), por la razón de que se colocó un control en el sistema que limita el valor de caudal a circular por la red.

Por su parte, las válvulas FCV limitan un valor de caudal específico para que circule por la tubería; para esto, en el parámetro Setting o Consigna se debe colocar el valor de caudal en [L/s] a limitar o restringir en el tramo donde se encuentra instalada la válvula, por lo que el valor colocado fue el caudal concesionado en el sistema de riego que es de 30 [L/s]. Además, esta válvula se colocó con el mismo diámetro de la tubería de 299.6 [mm], y en un estado abierto.

Adicionalmente, se determinó el porcentaje respecto a la sumatoria de caudal determinado para los escenarios 2, 3 y 4, sin control. A partir de este porcentaje se determinó el caudal correspondiente a cada combinación de válvulas en relación con el caudal concesionado de 30 [L/s] del sistema de riego, ANEXO XI. Por tanto, basándose en el Escenario 2, en el que se determinó la combinación con mayor sumatoria de caudal, para este Escenario 5 se simuló la misma combinación, pero con los nuevos valores de caudales. En la Tabla 2.9 se presenta la combinación 19 junto con los porcentajes calculados con respecto a la sumatoria de los caudales determinados en los escenarios anteriores sin control, y el caudal de cada válvula con relación al caudal concesionado del sistema.

Tabla 2.9. Resumen del escenario 5

Combinación	DÍA	Válvula	[%] respecto a la sumatoria de Q sin control	Q respecto a 30 [L/s]
19	SÁBADO	11	54.32%	16.30
	SÁBADO	16	45.68%	13.70
TOTAL			100%	30

Elaborado por: Vanessa Averos

Se realizó la simulación de la combinación 19, permaneciendo abiertas las válvulas 11 y 16. En este punto cabe indicar que en el nodo final de las dos válvulas (TCV), mencionadas anteriormente, se ingresó el caudal determinado como una demanda base. Este Escenario 5 se realizó con el objetivo de observar el funcionamiento real del sistema de riego con el control de que únicamente ingrese el caudal que se tiene concesionado, de esta manera se observa la cantidad de caudal que está regando cada válvula al estar abiertas conjuntamente durante un lapso de tiempo.

Escenario 6

A partir del ANEXO XI y siguiendo el procedimiento del Escenario 5 sobre la colocación de la válvula limitadora de caudal al inicio de la línea de conducción del sistema de riego, y de acuerdo con el Escenario 3, donde se determinó la combinación 10 de las válvulas que actúan en un mismo tiempo y que riegan una cantidad mínima de caudal, se procedió a establecer el Escenario 6, donde en la combinación 10 se determinó el porcentaje correspondiente a la sumatoria de caudal de las dos válvulas que riega el sistema sin control, y a partir de este resultado se determinó el caudal respectivo de cada válvula que permanece abierta, teniendo un total de 30 [L/s], esto se muestra en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10. Resumen del escenario 6

Combinación	DÍA	Válvula	[%] respecto a la sumatoria de Q sin control	Q respecto a 30 [L/s]
10	JUEVES	6	39.70%	11.91
	JUEVES	15	60.30%	18.09
TOTAL			100%	30

Elaborado por: Vanessa Averos

En EPANET 2.2 se procedió a abrir únicamente las válvulas 6 y 15 y se colocó el valor del caudal respecto a los 30 [L/s] como una demanda base en el nodo final de cada válvula abierta (TCV) y se corrió la simulación. Con este Escenario 6 se pretende conocer el funcionamiento del sistema de riego cuando la red ya se encuentra controlada y únicamente se riega el total del caudal concesionado mediante las dos válvulas abiertas.

Escenario 7

En esta última simulación, se consideró el Escenario 4, donde se determinó el valor promedio correspondiente a la sumatoria de caudales de las combinaciones, dicho promedio corresponde a la combinación 2, donde se abren las válvulas 2 y 18 en un mismo intervalo de tiempo. Adicionalmente, para este escenario, al igual que los Escenarios 5 y 6, se consideró una válvula limitadora o controladora de caudal (FCV) al inicio de la línea de conducción de la red de riego, es decir el sistema de riego se encuentra controlado.

A continuación, en la combinación 2 se determinaron los porcentajes correspondientes a los caudales que se obtuvieron en las primeras simulaciones cuando el sistema no estaba controlado, y a partir de estos porcentajes se determinó el valor de caudal que se reparte a cada válvula que se encuentra funcionando, teniendo un total de caudal de 30 [L/s] que es el concesionado al sistema, esto se aprecia en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11. Resumen del escenario 7

Combinación	DÍA	Válvula	[%] respecto a la sumatoria de Q sin control	Q respecto a 30 [L/s]
2	LUNES	2	81.05%	24.32
	LUNES	18	18.95%	5.68
TOTAL			100%	30

Elaborado por: Vanessa Averos

En EPANET 2.2 se procedió a realizar la simulación del Escenario 7 que corresponde a abrir las válvulas 2 y 18 y colocar en el nodo final de cada válvula (TCV), el valor correspondiente de demanda base mostrado en la tabla anterior. Con este último escenario se pretende observar el funcionamiento del sistema cuando están abiertas dos válvulas que se encuentran regando un caudal promedio en un mismo intervalo de tiempo.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

Escenario 1

- Presiones

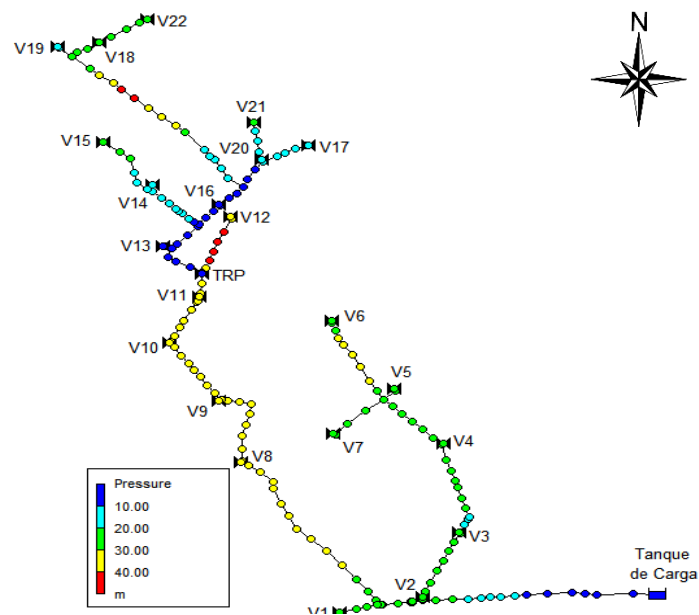


Figura 3.1. Presiones del Escenario 1

Elaborado por: Vanessa Averos
Fuente: EPANET 2.2. Escenario 1

- **Distribución de presión**

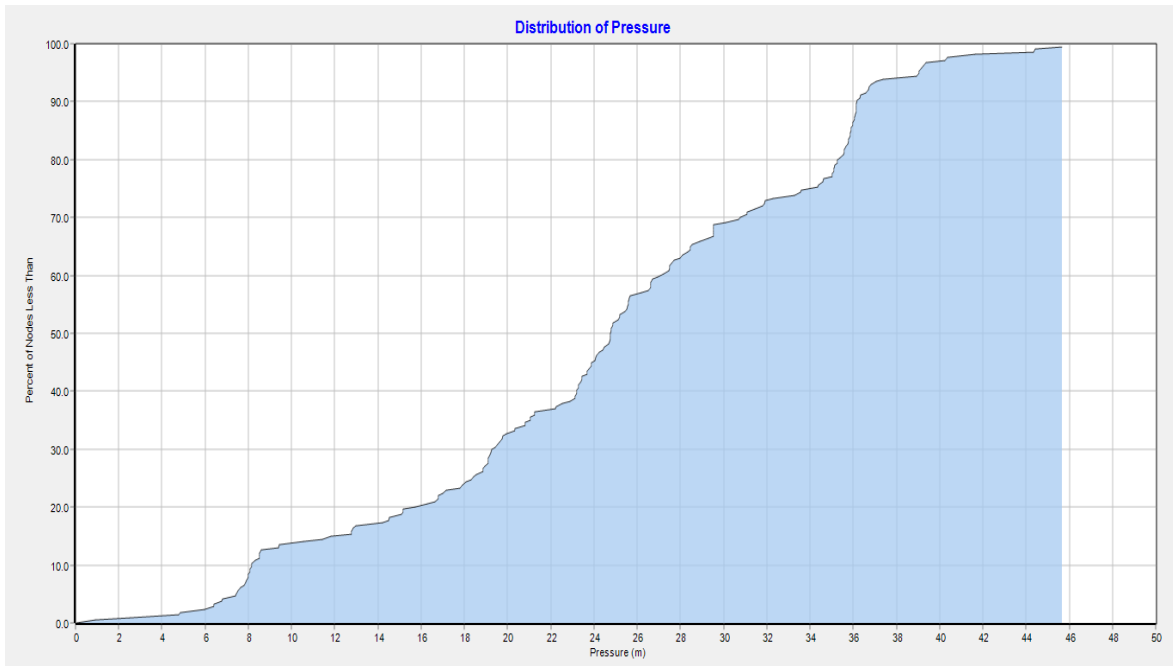


Figura 3.2. Distribución de presión del Escenario 1

Elaborado por: Vanessa Averos

Fuente: EPANET 2.2. Escenario 1

En la Figura 3.1 se presenta las presiones en cada nodo obtenido de la topografía del sistema de riego El Porlón y junto con la Figura 3.2 se observa que las presiones están dentro del rango de 0 hasta 46 [m.c.a] aproximadamente. La presión nominal de la tubería colocada es 64.24 [m.c.a] con lo que se comprueba que la carga dinámica de cada nodo del sistema es menor a la presión nominal de la tubería colocada, esta comprobación se presenta en el ANEXO VI.

Además, en la Figura 3.1 se observa que en los nodos del tramo que llega a la válvula 12, tienen presiones mayores a 40 [m.c.a] debido a que dicho tramo no pasa por el Taque Rompe Presión y por ende las presiones en los nodos siguen aumentando, a comparación de los nodos que se dirigen a la válvula 13, las presiones son menores a 10 [m.c.a] con lo que se observa que el artificio utilizado para simular el Tanque Rompe Presión si funciona correctamente en EPANET.

A partir de la Figura 3.2 se deduce que menos del 14% de nodos del sistema tienen una presión de aproximadamente 10 [m.c.a], el 19% tienen una presión dentro del rango de 10 a 20 [m.c.a], el 30% de nodos tienen la presión en el intervalo de 20 a 30 [m.c.a] y el porcentaje restante tienen presiones ente 30 y 46 [m.c.a].

- **Velocidades**

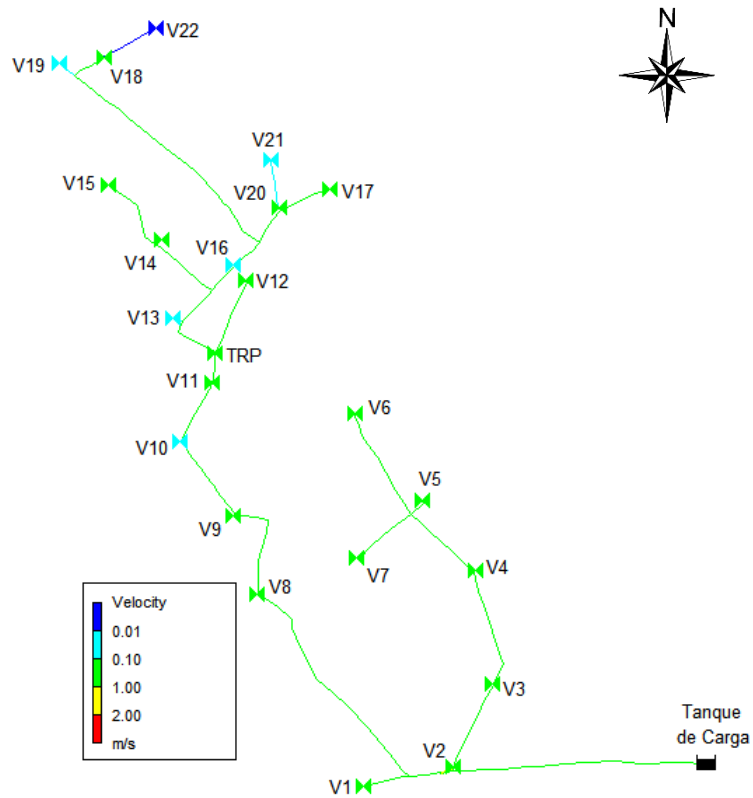


Figura 3.3. Velocidades del Escenario 1
 Elaborado por: Vanessa Averos
 Fuente: EPANET 2.2. Escenario 1

- **Distribución de velocidad**

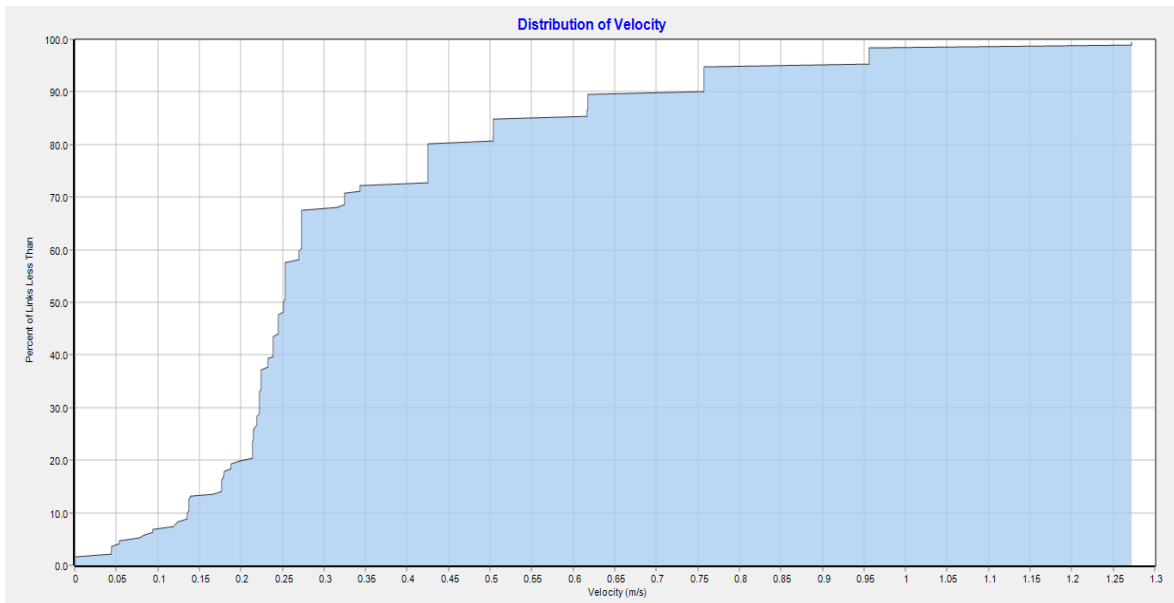


Figura 3.4. Distribución de velocidad del Escenario 1
 Elaborado por: Vanessa Averos
 Fuente: EPANET 2.2. Escenario 1

En la Figura 3.3 se observa que las velocidades para este escenario 1 se encuentran por debajo de 2 [m/s]. Al encontrarse en dichos valores se indica que se está cumpliendo con el rango aceptado por la normativa referente a velocidades en sistemas presurizados que va entre 0.5 [m/s] y 3 [m/s]. Los tramos de las tuberías que llegan a la válvula 22 están con velocidades de 0 [m/s] debido a que, por parte de las autoridades del sistema de riego, mencionaron que esta última válvula no tiene horas de funcionamiento, por lo que permanece cerrada.

A partir del gráfico de distribución de velocidades que se muestra en la Figura 3.4 se observa que menos del 4% de tuberías tienen una velocidad de 0.05 [m/s], mientras que una velocidad de 0.1 [m/s] corresponde a un valor de 4% de tuberías, el 72% tiene una velocidad de 0.5 [m/s] y finalmente el 20% de tuberías tienen una velocidad por debajo de 1 [m/s].

- **Caudales**

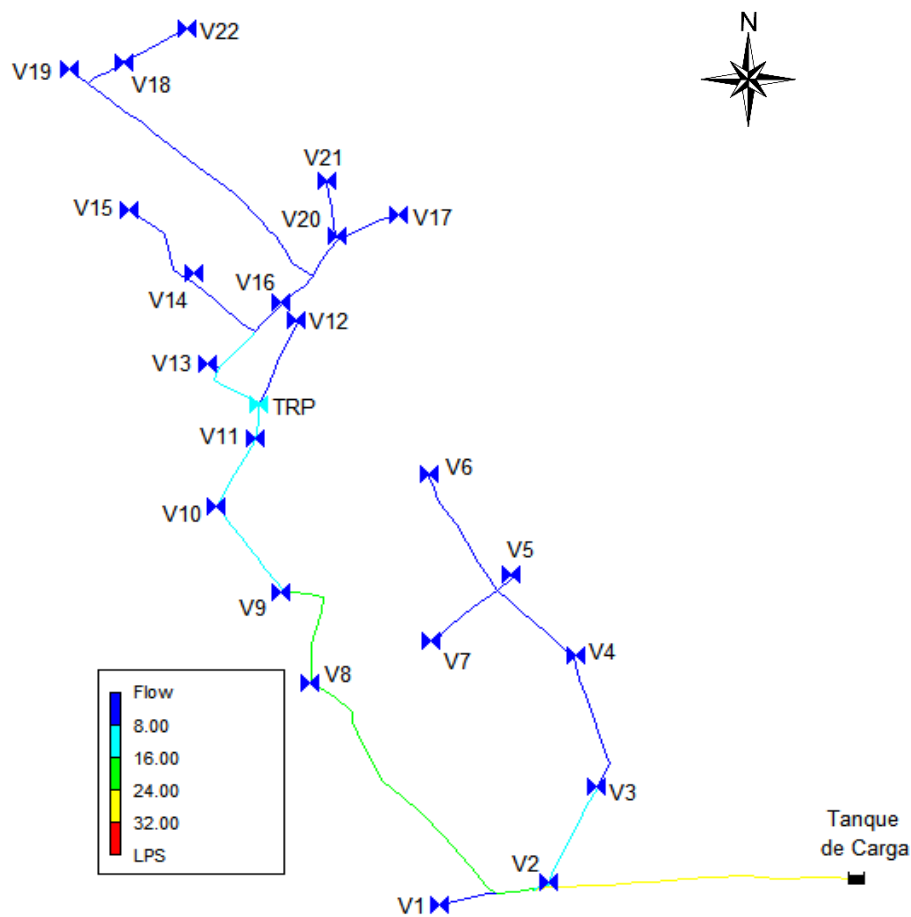


Figura 3.5. Caudales del Escenario 1
 Elaborado por: Vanessa Averos
 Fuente: EPANET 2.2. Escenario 1

- **Distribución de caudal**

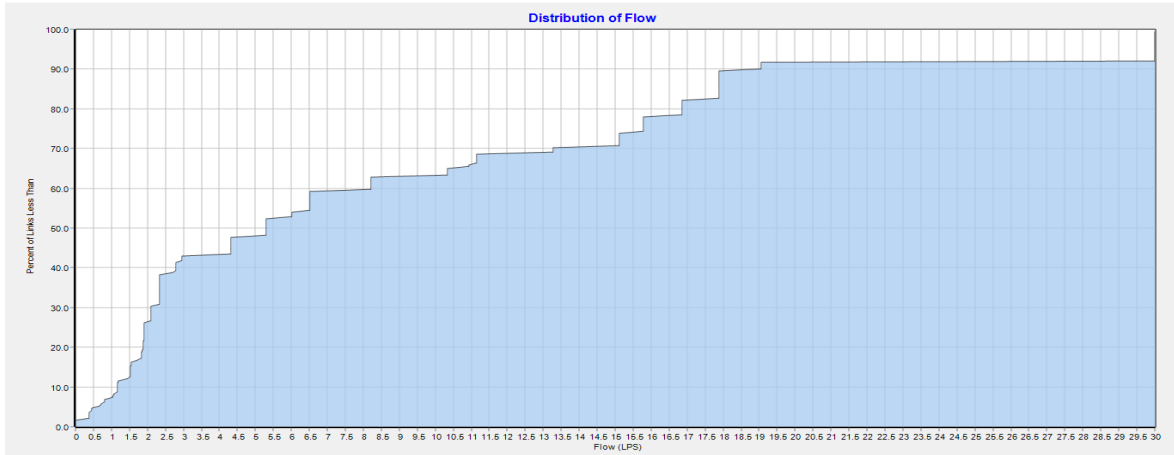


Figura 3.6. Distribución de caudal del Escenario 1

Elaborado por: Vanessa Averos

Fuente: EPANET 2.2. Escenario 1

En este escenario 1 los caudales fueron repartidos en función del área a regar y del caudal concesionado al sistema de riego El Porlón, dichos caudales se muestran en la Tabla 2.2, cabe mencionar que la mayor cantidad de tuberías del sistema de riego tienen caudales por debajo de 8 [L/s] como se muestra en la Figura 3.5. y en la Figura 3.6 indica que existen tuberías que tienen un caudal menor a 8 [L/s] y que corresponden a un valor de menos de 60%, además, el 18% de tuberías tiene un valor de entre 8 y 16 [L/s] y finalmente el 15% de tramos de tuberías tienen un caudal por debajo de 30 [L/s].

Escenario 2

- **Presiones**

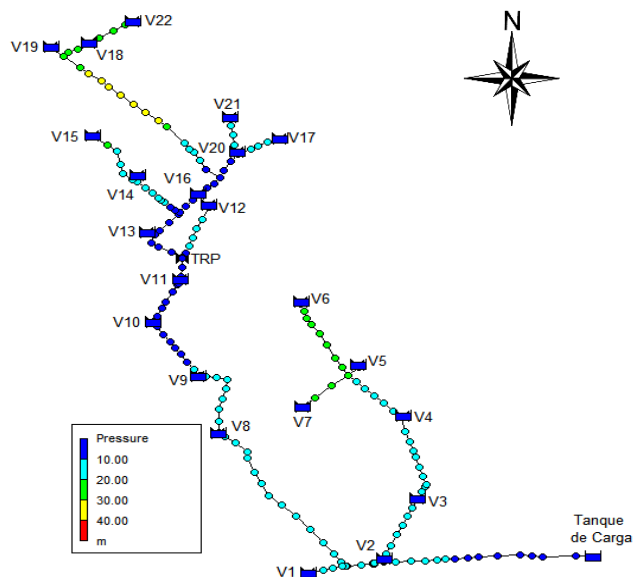


Figura 3.7. Presiones del Escenario 2

Elaborado por: Vanessa Averos

Fuente: EPANET 2.2. Escenario 2

- **Distribución de presión**

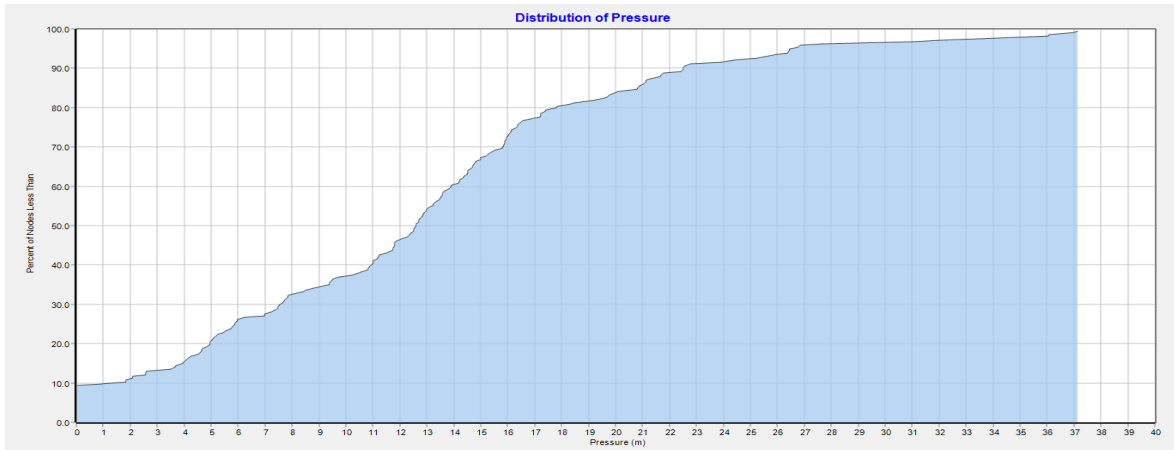


Figura 3.8. Distribución de presión del Escenario 2
 Elaborado por: Vanessa Averos
 Fuente: EPANET 2.2. Escenario 2

En el Escenario 2 se obtuvo valores de presiones dentro del rango de 0 y 37 [m.c.a], en la Figura 3.7 se observa que el tramo hacia las válvulas V19 y V18 tiene las presiones superiores a 30 [m.c.a], mientras que en los demás nodos del sistema de riego se tienen presiones por debajo de los 20 [m.c.a]. En la Figura 3.8 correspondiente a la distribución de presiones de toda la línea de conducción, se observa que menos del 37% de nodos tienen una presión de entre 0 y 10 [m.c.a], el 47% de nodos del sistema tienen una presión entre el rango de 10 a 20 [m.c.a], el 13% tiene presiones entre 20 y 30 [m.c.a] y únicamente el 3% de nodos corresponde a presiones mayores a 30 [m.c.a].

- **Velocidades**

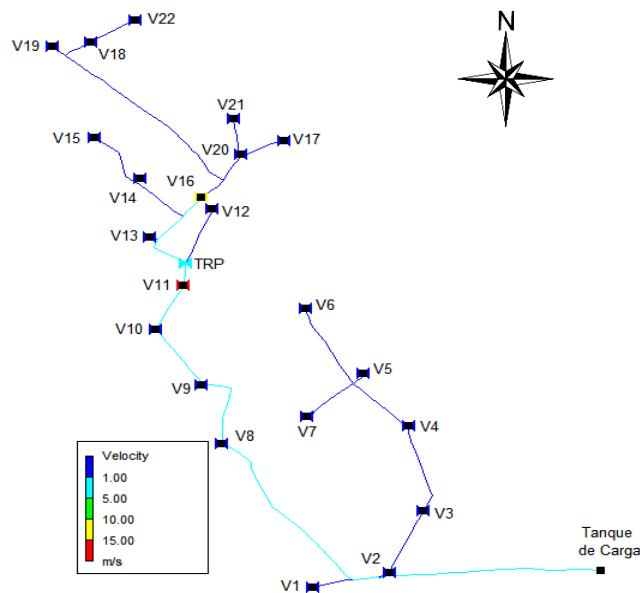


Figura 3.9. Velocidades del Escenario 2
 Elaborado por: Vanessa Averos
 Fuente: EPANET 2.2. Escenario 2

- **Distribución de velocidad**

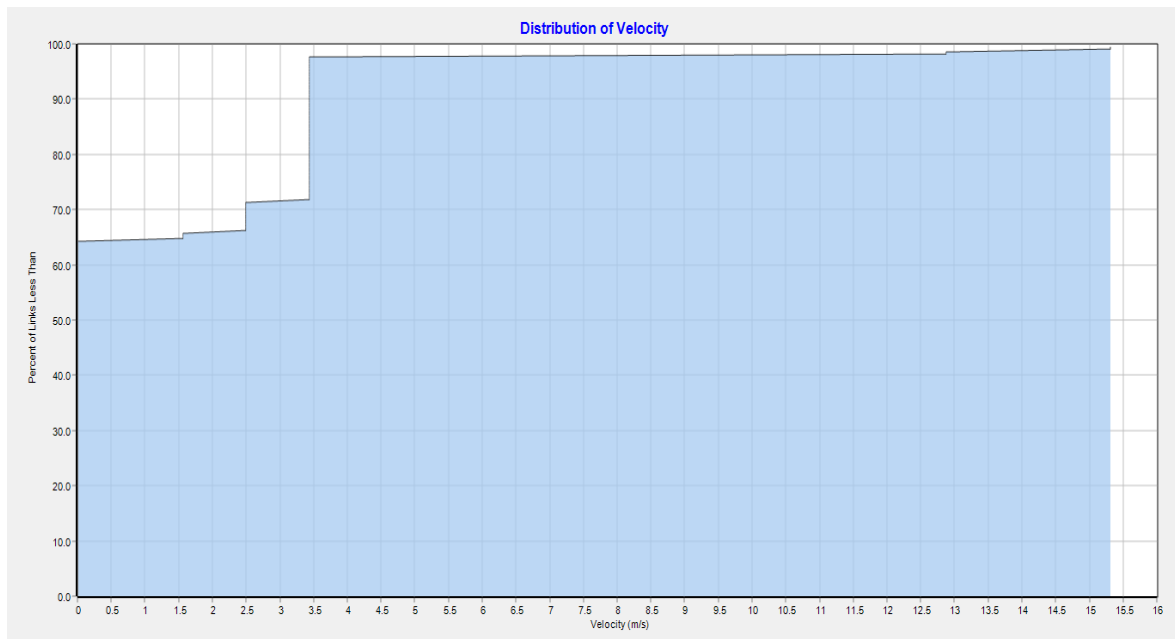


Figura 3.10. Distribución de velocidad del Escenario 2

Elaborado por: Vanessa Averos

Fuente: EPANET 2.2. Escenario 2

Con respecto a las velocidades se obtuvieron valores de entre 0 y 15.5 [m/s] aproximadamente, como se observa en la Figura 3.9, las tuberías de la línea principal tienen velocidades menores a 5 [m/s] mientras que los ramales que van hacia las válvulas abiertas de este escenario 2 que son la 11 y 16 tienen velocidades mayores, esto se da debido a que el sistema se encuentra sin ningún tipo de control, al estar conduciendo el máximo valor de caudal por el sistema de riego y al tener tuberías de 110 [mm] de diámetro, en estos ramales la velocidad aumenta y tiene estos valores altos.

En la Figura 3.10 se observa que menos del 65% de todas las tuberías de la línea de conducción tienen valores de velocidad por debajo de 1.5 [m/s] y el 7% tiene velocidades entre 1.5 y 3.6 [m/s] y el 28% de tuberías tienen valores superiores a 3.6 [m/s] que corresponden a los ramales que van hacia las válvulas 11 y 16. De acuerdo con el ANEXO XI, este escenario está simulado con el máximo caudal sin control de 242.32 [L/s], en este punto es importante mencionar que en la realidad este caudal no está circulando por el sistema de riego El Porlón, debido a que únicamente tienen concesionado 30 [L/s].

- **Caudales**

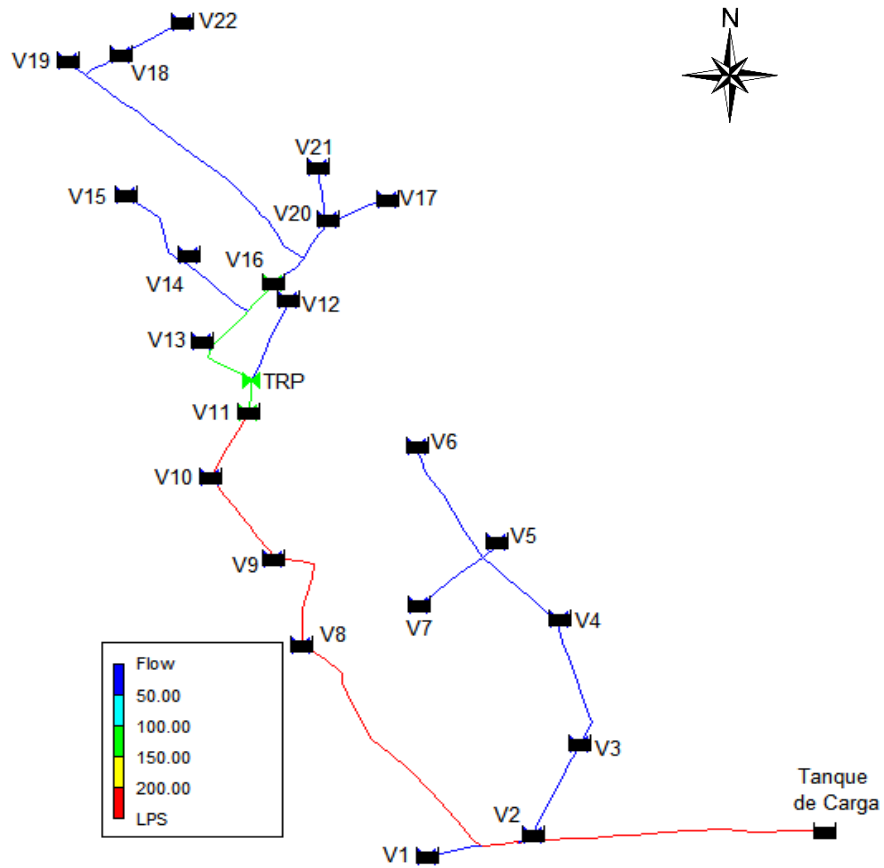


Figura 3.11. Caudales del Escenario 2

Elaborado por: Vanessa Averos

Fuente: EPANET 2.2. Escenario 2

- **Distribución de caudal**

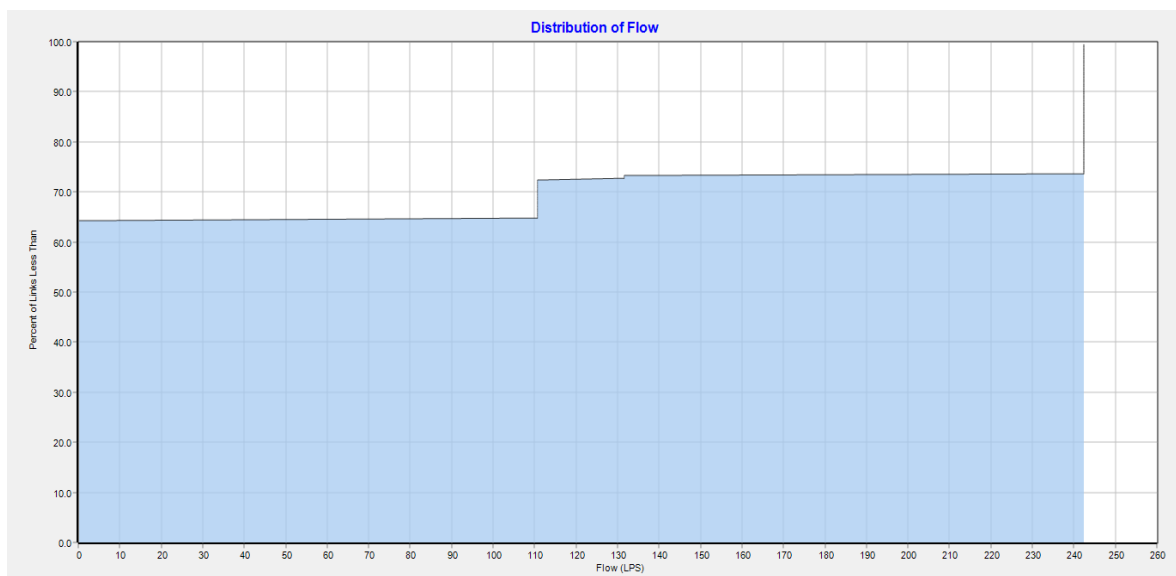


Figura 3.12. Distribución de caudal del Escenario 2

Elaborado por: Vanessa Averos

Fuente: EPANET 2.2. Escenario 2

En este segundo escenario se simuló el máximo caudal determinado por las combinaciones de válvulas, en este caso la válvula 11 y 16 reparten un total de 242.32 [L/s] en un sistema sin control alguno, como se observa en la Figura 3.11, la línea de conducción principal que pasa por la válvula 11, transporta un caudal superior a 200 [L/s], por lo que cuando ya está abierta la válvula 11, el caudal que le llega a la válvula 16 es menor a 150 [L/s].

En la Figura 3.12 se observa que menos de 65% de todas las tuberías del sistema de riego transportaron un caudal menor a 110 [L/s] mientras que menos del 10% de tuberías conducen un caudal de entre 110 y 245 [L/s].

Escenario 3

- Presiones

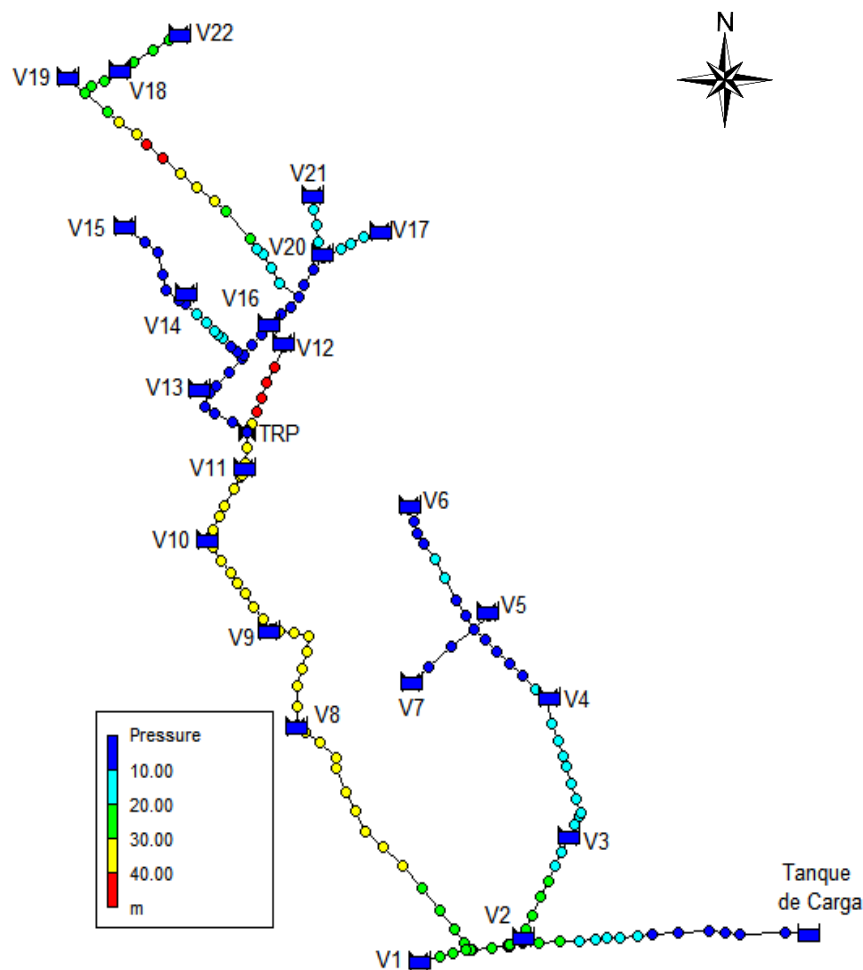


Figura 3.13. Presiones del Escenario 3

Elaborado por: Vanessa Averos

Fuente: EPANET 2.2. Escenario 3

- **Distribución de presión**

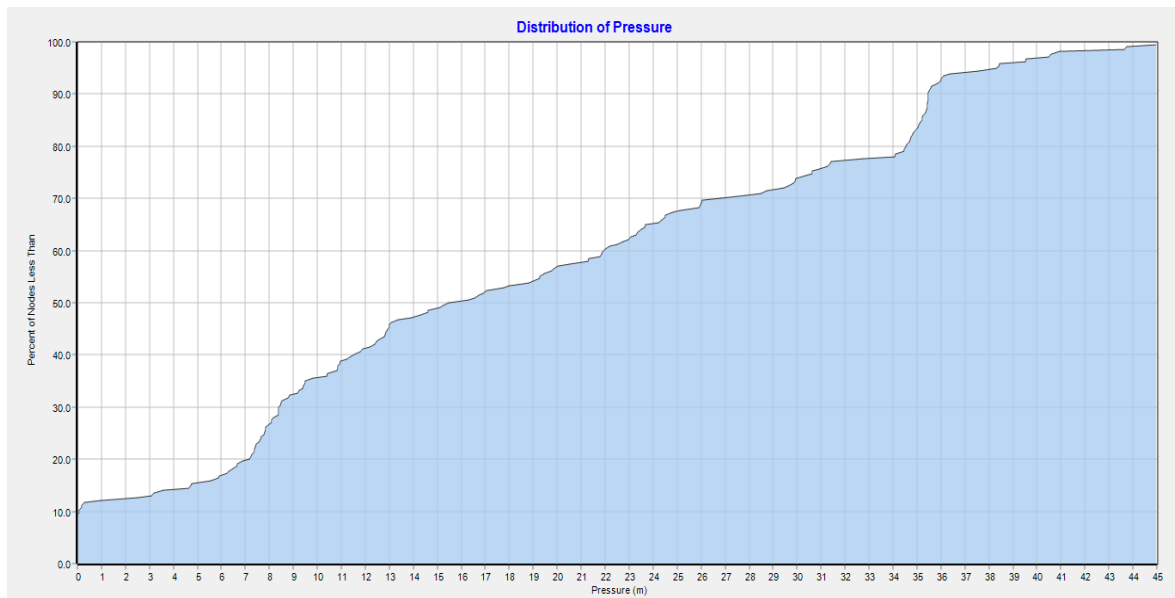


Figura 3.14. Distribución de presión del Escenario 3

Elaborado por: Vanessa Averos

Fuente: EPANET 2.2. Escenario 3

En el escenario 3 se obtuvo valores de presiones dentro del rango de entre 0 y 45 [m.c.a], como se observa en la Figura 3.13 se tienen presiones superiores a 40 [m.c.a] en el ramal dirigido hacia la válvula 12 debido a que este tramo no pasa por el Tanque Rompe Presión por lo que mientras exista una conducción de caudal y las cotas de la tubería sigan en descenso, las presiones aumentan.

En la distribución de presiones, que corresponde a la Figura 3.14, se observa que menos del 35% de nodos del sistema tienen presiones por debajo de 10 [m.c.a], de igual forma menos del 22% de nodos tienen una presión de entre 10 y 20 [m.c.a], asimismo presiones dentro del rango de 20 a 30 [m.c.a] corresponde un porcentaje total de 18% y finalmente se tiene que valores de presiones por encima de 30 [m.c.a] pertenece a un 25% de nodos aproximadamente.

- **Velocidades**

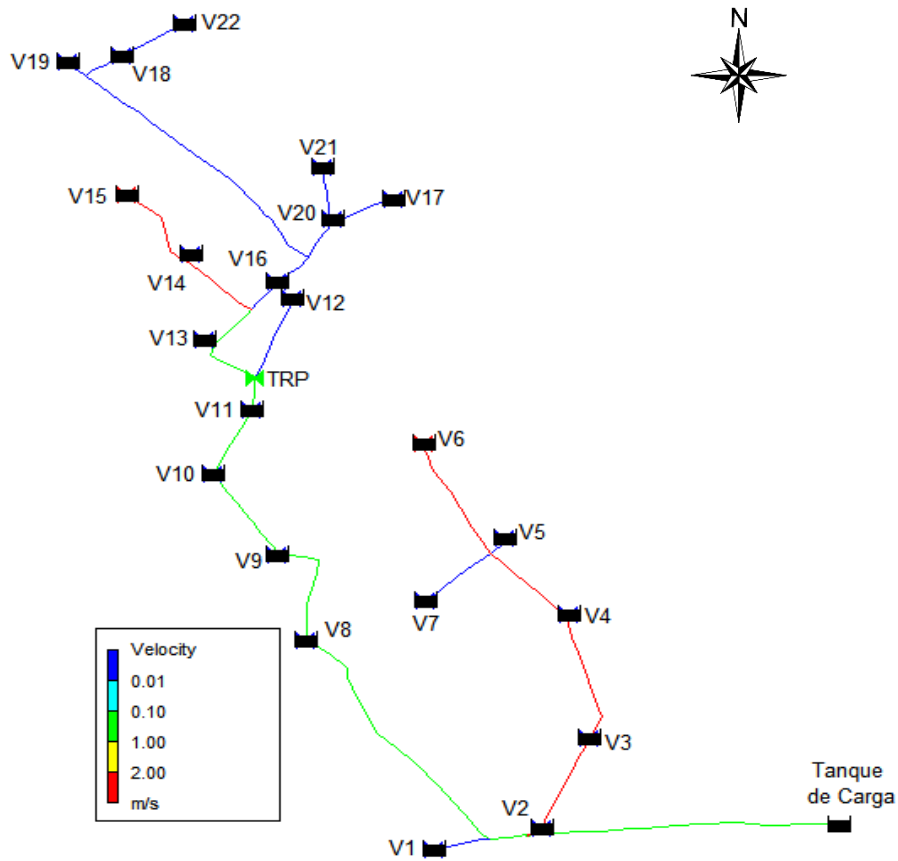


Figura 3.15. Velocidades del Escenario 3

Elaborado por: Vanessa Averos

Fuente: EPANET 2.2. Escenario 3

- **Distribución de velocidad**

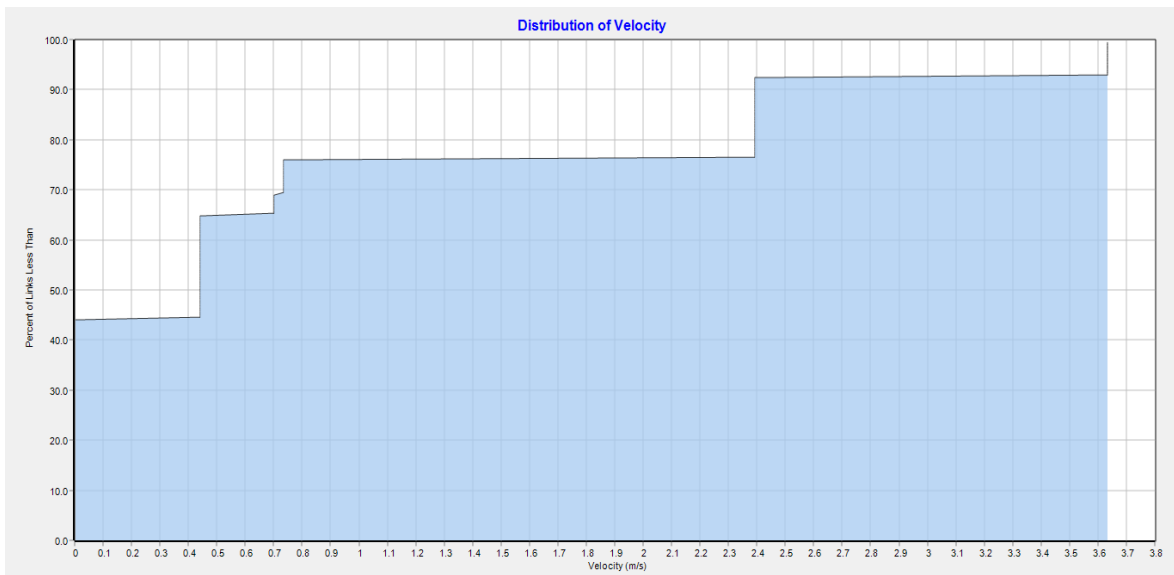


Figura 3.16. Distribución de velocidad del Escenario 3

Elaborado por: Vanessa Averos

Fuente: EPANET 2.2. Escenario 3

En el tercer escenario se obtuvo valores de velocidades menores en comparación con el escenario 2, debido a que en esta simulación se tiene el caudal mínimo que corresponde a la combinación 10, donde actúan las válvulas 6 y 15. En la Figura 3.15 se observa que existen valores de velocidades superiores a 2 [m/s] en los ramales que se dirigen a las dos válvulas abiertas, esto también debido al diámetro de la tubería que es de 110 [mm].

Como se observa en la Figura 3.16 se tienen velocidades entre 0 y 3.7 [m/s], es importante mencionar que en este escenario 3, menos del 76% de tuberías del sistema tienen velocidades menores a 1 [m/s], mientras que un 17% de tuberías tienen una velocidad superior a 2.4 [m/s], estas tuberías corresponden a los tramos que se dirigen hacia las válvulas 6 y 15 que son las que se encuentran abiertas en esta simulación.

- **Caudales**

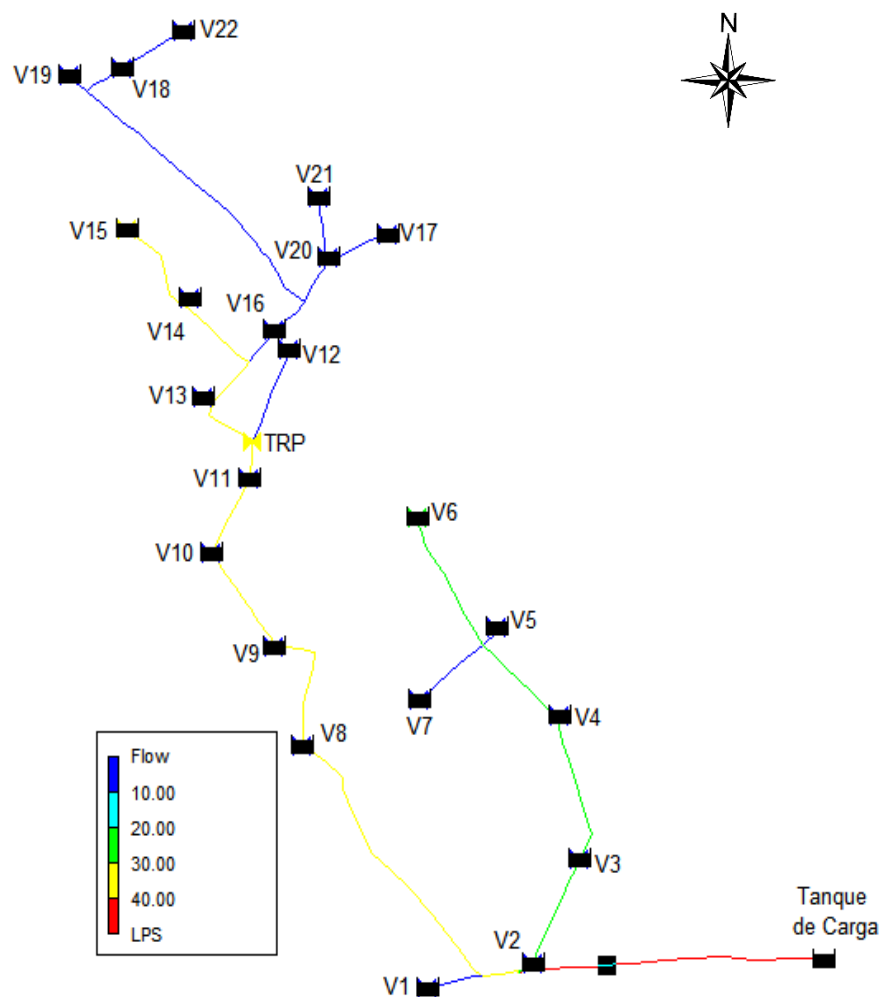


Figura 3.17. Caudales del Escenario 3

Elaborado por: Vanessa Averos

Fuente: EPANET 2.2. Escenario 3

- **Distribución de caudal**

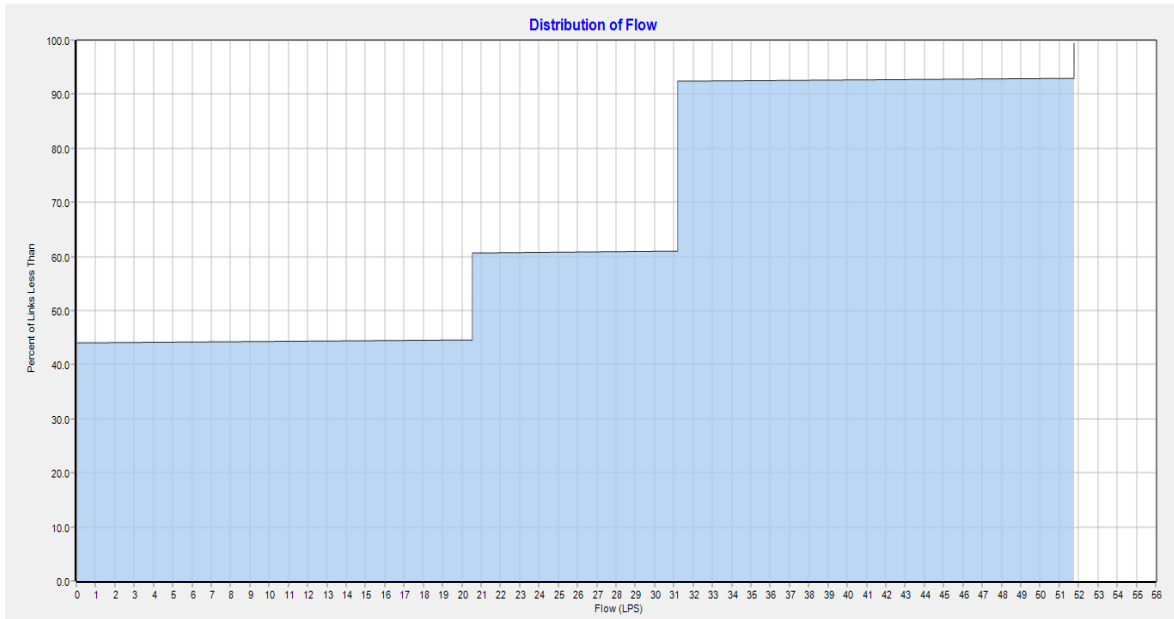


Figura 3.18. Distribución de caudal del Escenario 3

Elaborado por: Vanessa Averos

Fuente: EPANET 2.2. Escenario 3

Con respecto a los caudales, en el escenario 3 se simuló la combinación correspondiente al mínimo caudal del sistema sin control, donde la sumatoria de caudal entre las dos válvulas fue de 51.79 [L/s]. Como se observa en la Figura 3.19 los tramos que se dirigen hacia la válvula 6 conducen un caudal por debajo de los 30 [L/s], mientras que los tramos orientados hacia la válvula 15 transportan un caudal inferior a 40 [L/s] con lo que se deduce que a la válvula 15 le llega mayor cantidad de caudal que en comparación a la válvula 6. Al igual que en el escenario 2, el caudal de 51.79 [L/s] del presente escenario, no es el que en realidad circula por la red, ya que el sistema de riego únicamente tiene concesionado 30 [L/s] y este escenario 3 está simulado sin ningún tipo de control.

En la Figura 3.18 se analiza que menos del 45% de tuberías transportan un caudal menor a 20 [L/s], asimismo, menos del 15% de tuberías del sistema de riego, conducen un caudal por debajo de los 30 [L/s] y finalmente un caudal de entre 30 y 52 [L/s] transporta un 33% de tuberías del total de la línea de conducción.

Escenario 4

- Presiones

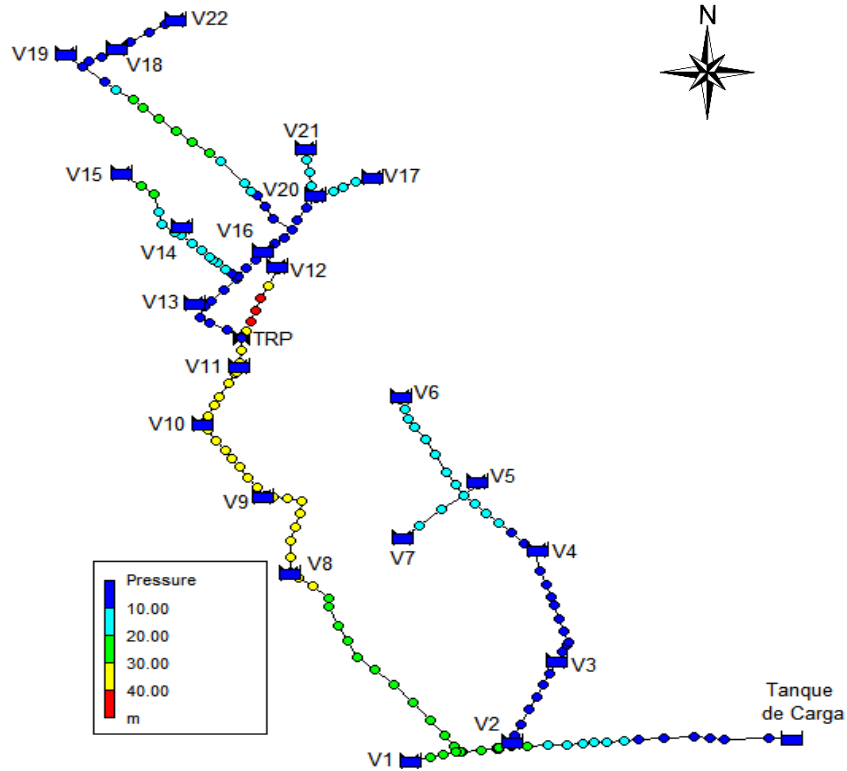


Figura 3.19. Presiones del Escenario 4

Elaborado por: Vanessa Averos

Fuente: EPANET 2.2. Escenario 4

- Distribución de presión

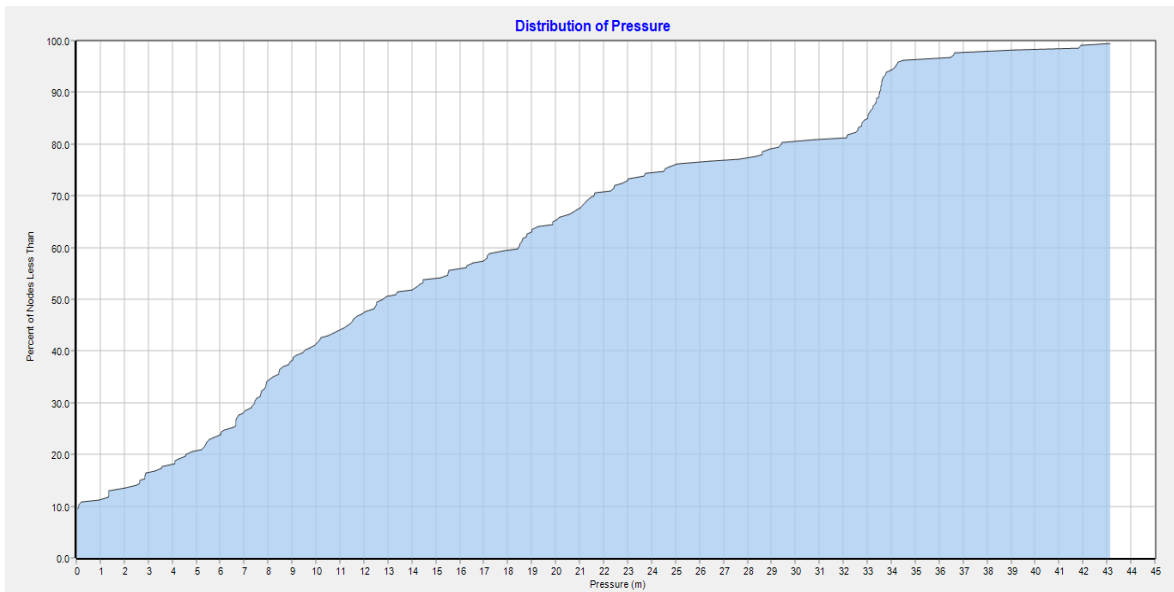


Figura 3.20. Distribución de presión del Escenario 4

Elaborado por: Vanessa Averos

Fuente: EPANET 2.2. Escenario 4

En el escenario 4 se obtuvo presiones de entre 0 a 44 [m.c.a] aproximadamente, como se aprecia en la Figura 3.19 se tienen presiones dentro del rango de 30 a 40 [m.c.a] en los nodos aguas arriba del Tanque Rompe Presión, esto debido a que la línea de energía sigue descendiendo con respecto a la línea estática tomada desde el tanque de carga, al inicio de la conducción. En la Figura 3.20 se observa que menos del 42% de nodos de la línea de conducción tiene presiones menores a 10 [m.c.a], mientras que menos del 23% tienen presiones de entre 10 y 20 [m.c.a], asimismo, el 15% tienen valores de presiones de entre 20 y 30 [m.c.a] y por último menos del 20% tiene presiones superiores a 30 [m.c.a].

- **Velocidades**

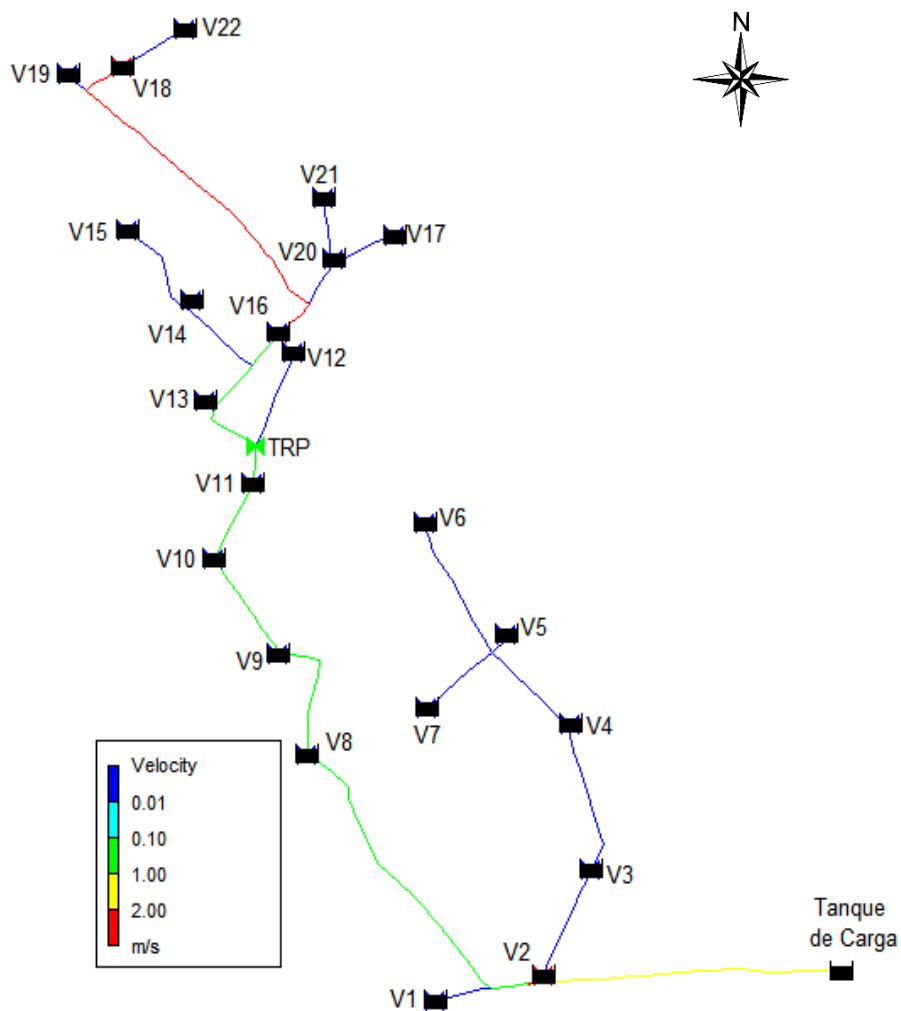


Figura 3.21. Velocidades del Escenario 4
 Elaborado por: Vanessa Averos
 Fuente: EPANET 2.2. Escenario 4

- **Distribución de velocidad**

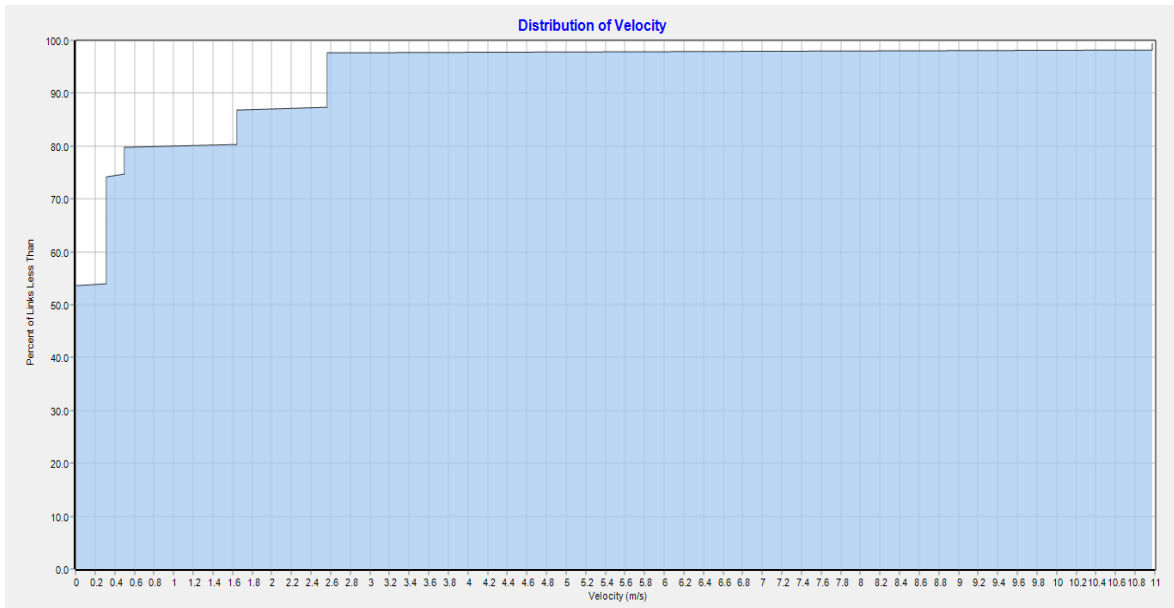


Figura 3.22. Distribución de velocidad del Escenario 4
 Elaborado por: Vanessa Averos
 Fuente: EPANET 2.2. Escenario 4

En cuanto a las velocidades del escenario 4, se tienen rangos de entre 0 a 11 [m/s], en este escenario permanecen abiertas las válvulas 2 y 18 sin ningún control en la red. Como se aprecia en la Figura 3.21 el tramo que va desde el tanque de carga hasta la bifurcación 1 tiene valores de velocidad por debajo de 2 [m/s], posteriormente del tramo que va entre la bifurcación 1 y la válvula 2, las tuberías tienen velocidades superiores a 10 [m/s], mientras que desde el nodo previo a la válvula 16 hasta la válvula 18 tienen velocidades de entre 2 y 3 [m/s].

Al observar la Figura 3.22 se deduce que menos del 80% de tuberías tienen velocidades de menos de 1.5 [m/s], menos del 8% de tuberías tienen velocidades entre el rango de 1.5 y 2.5 [m/s] y del mismo modo, menos del 10% de tuberías del sistema de riego en estudio tienen velocidades mayores a 3 [m/s].

- **Caudales**

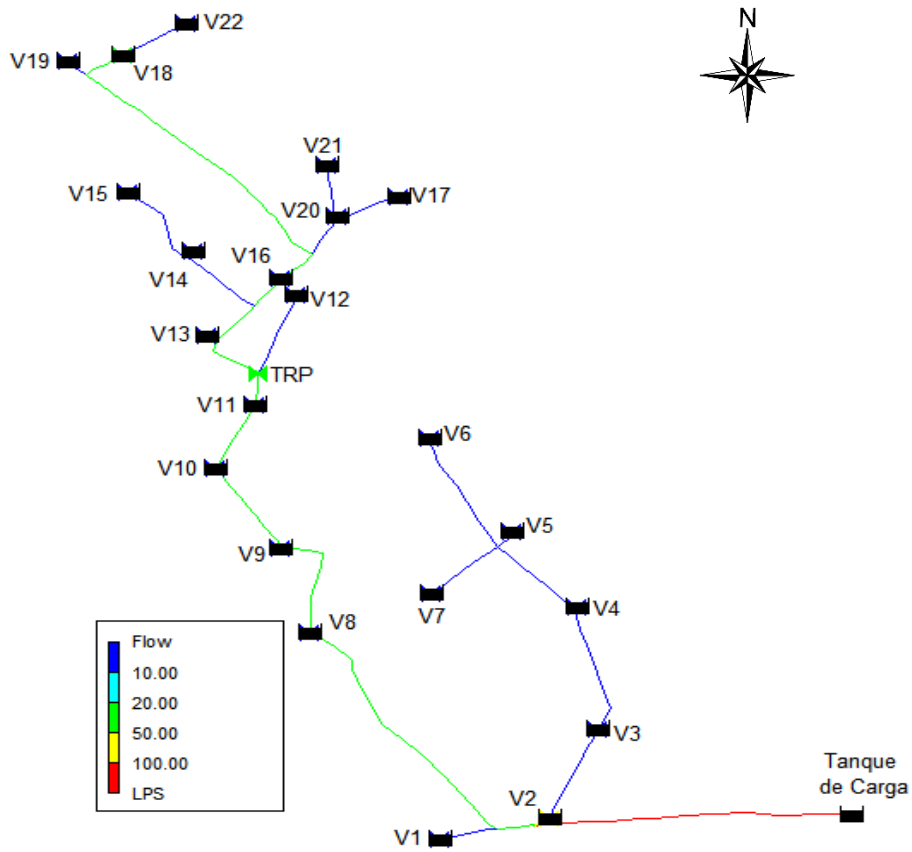


Figura 3.23. Caudales del Escenario 4
 Elaborado por: Vanessa Aversos
 Fuente: EPANET 2.2. Escenario 4

- **Distribución de caudal**

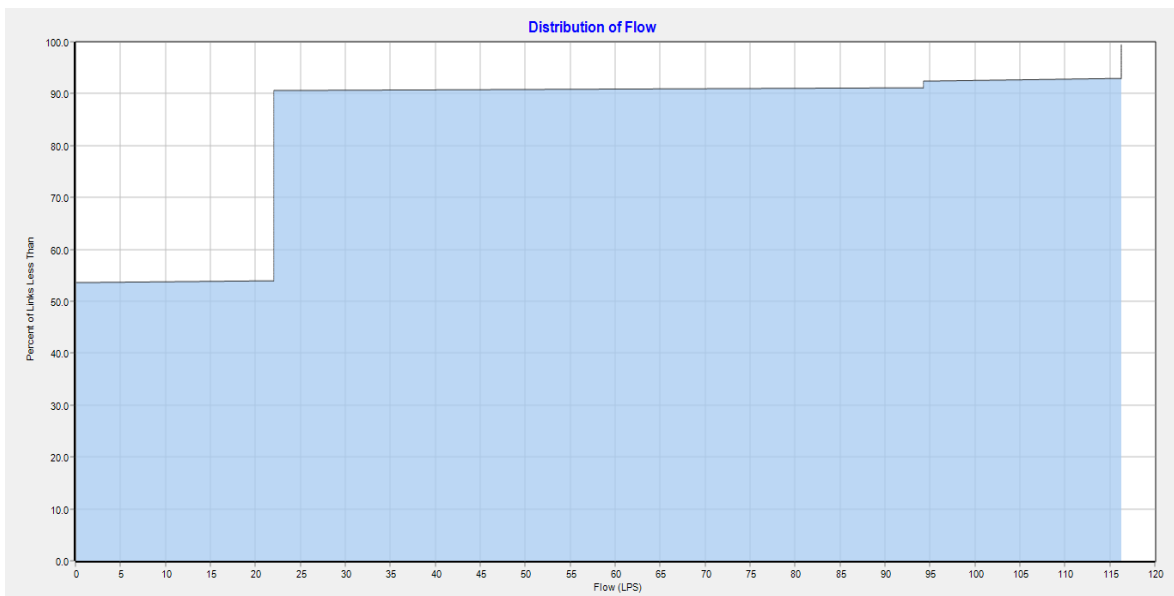


Figura 3.24. Distribución de caudal del Escenario 4
 Elaborado por: Vanessa Aversos
 Fuente: EPANET 2.2. Escenario 4

En relación con los caudales obtenidos en el escenario 4, donde se abren a las válvulas 2 y 18 del sistema de riego sin ningún control y en torno a la Figura 3.23 se tiene que desde la bifurcación 1 se divide el caudal hacia la válvula 2 y 18, llegándole mayor cantidad de caudal a la válvula 2, menos de 100 [L/s], en comparación con la válvula 18 que le llega menos de 50 [L/s].

En la Figura 3.24 se observa que menos del 55% de tuberías transportan un caudal de 23 [L/s], adicionalmente, menos del 35% de tuberías llevan de entre 23 y 94 [L/s] y consecuentemente el 3% transporta más de 94 [L/s], esto corresponde a las tuberías que se encuentran desde el tanque de carga hasta la bifurcación 1. El porcentaje restante de las tuberías no transportan caudal.

Escenario 5

- Presiones

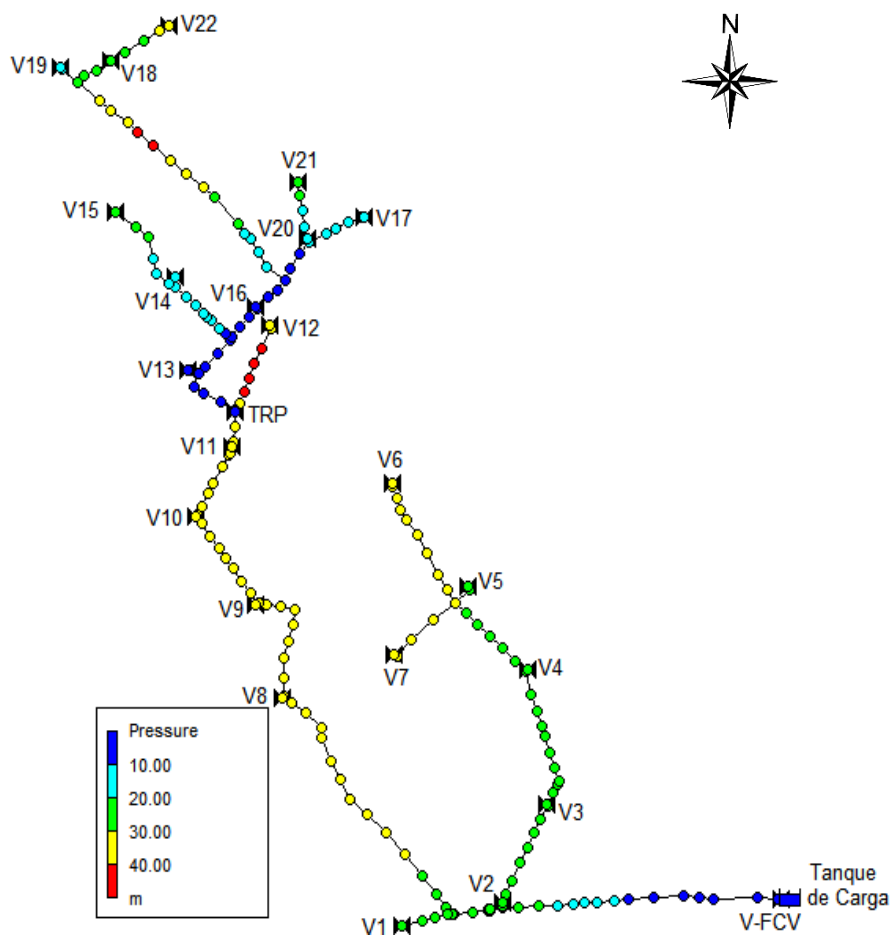


Figura 3.25. Presiones del Escenario 5

Elaborado por: Vanessa Averos

Fuente: EPANET 2.2. Escenario 5

- **Distribución de presión**

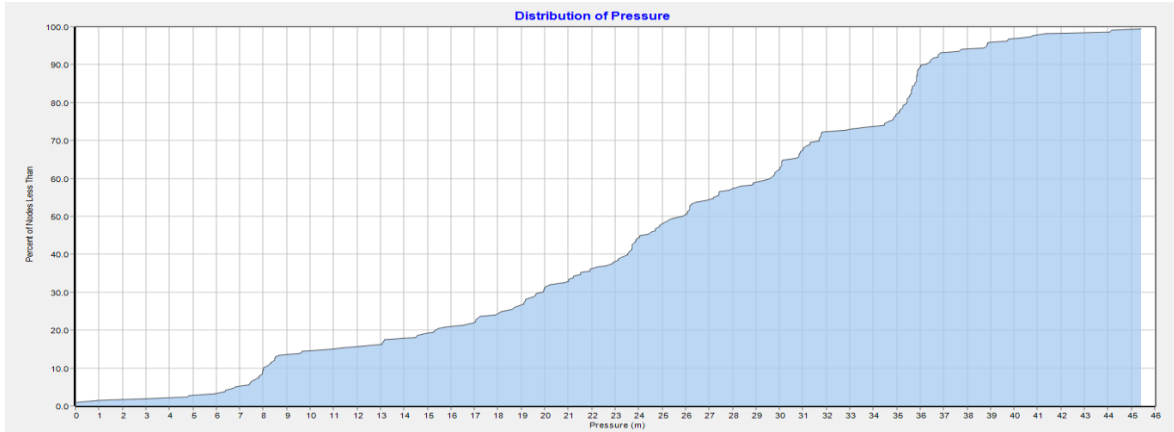


Figura 3.26. Distribución de presión del Escenario 5

Elaborado por: Vanessa Averos
Fuente: EPANET 2.2. Escenario 5

En el escenario 5 se obtuvo valores de presiones entre 0 y 46 [m.c.a], como se observa en la Figura 3.25 se tienen presiones menores a 10 [m.c.a] aguas abajo del Tanque Rompe Presión hasta aproximadamente la válvula 20. Además, se muestran presiones superiores a los 40 [m.c.a] que se encuentran en el ramal que va a la válvula 12 ya que no pasa por el Tanque Rompe Presión y adicionalmente 2 nodos más, que se encuentran en la parte central del tramo dirigido hacia la válvula 19. En la Figura 3.26 se observa que menos del 15% de nodos del sistema tienen presiones menores a 10 [m.c.a], el 48% de nodos tienen presiones entre 10 y 30 [m.c.a] y el 37% tienen presiones superiores a 30 [m.c.a].

- **Velocidades**

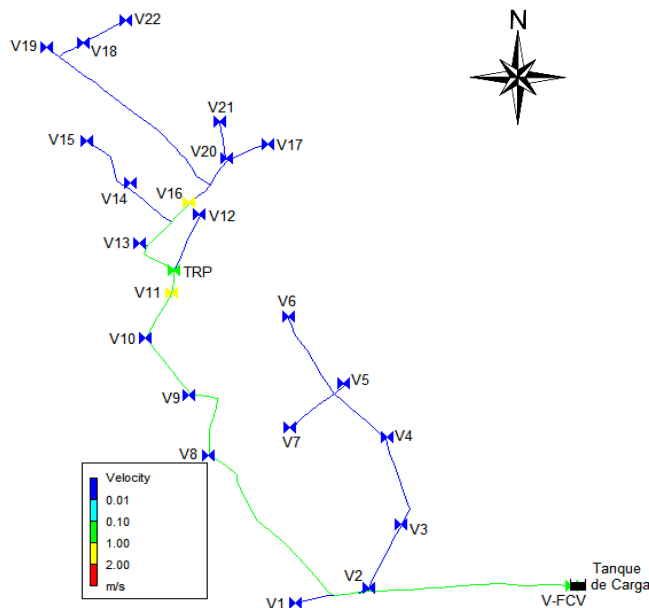


Figura 3.27. Velocidades del Escenario 5

Elaborado por: Vanessa Averos
Fuente: EPANET 2.2. Escenario 5

- **Distribución de velocidad**

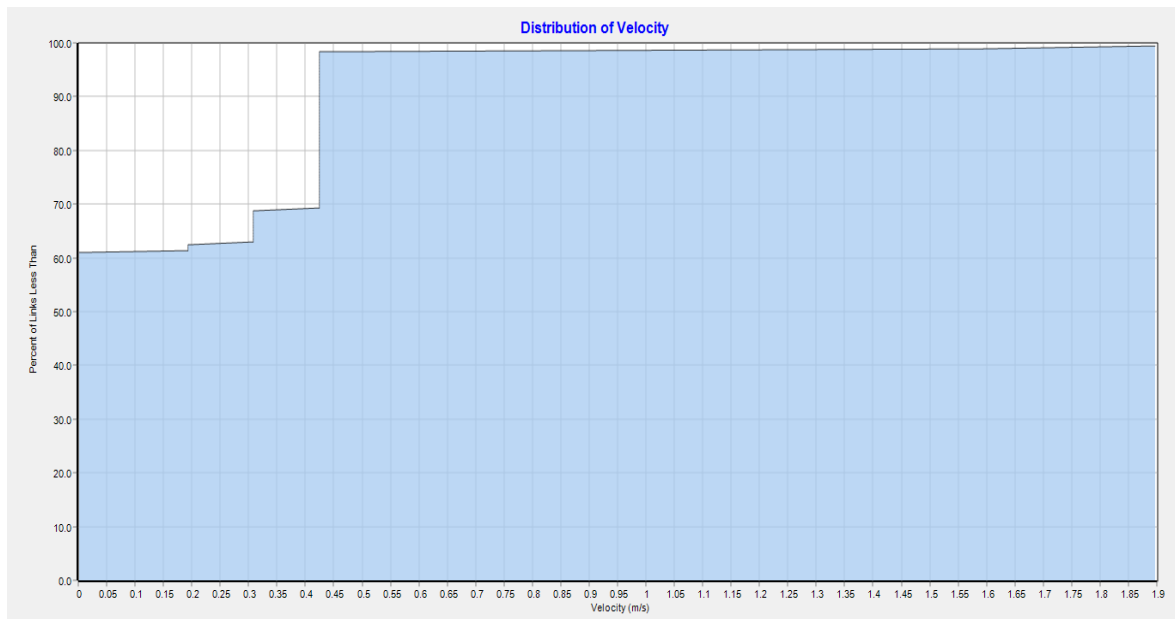


Figura 3.28. Distribución de velocidad del Escenario 5

Elaborado por: Vanessa Averos

Fuente: EPANET 2.2. Escenario 5

En este escenario 5 el sistema ya se encuentra controlado con una válvula limitadora de caudal que se encuentra ubicada al inicio de la línea de conducción, por lo que únicamente reparte el caudal concesionado en la red que es de 30 [L/s]. En la Figura 3.27 se observa que hay tuberías que tienen velocidades entre 0.1 y 1 [m/s] y que se encuentran en el tramo principal del ramal izquierdo de la red de distribución, donde su diámetro es de 315 [mm] y 250 [mm]. Es importante mencionar que en los ramales dirigidos hacia las válvulas 11 y 16 tienen velocidades entre 1 y 2 [m/s] con diámetros de 110 [mm].

En la Figura 3.28 se observa que el rango de velocidades que existen en la red para este escenario 5 está entre 0 y 2 [m/s], por lo que se deduce que menos del 60% de tuberías tienen velocidades menores a 0.2 [m/s] que corresponden a los ramales que se dirigen hacia las válvulas que se encuentran cerradas, por otra parte, el 10% de tuberías tienen velocidades entre el rango de 0.2 y 0.4 [m/s], y finalmente el 30% de tuberías tienen velocidades superiores a 1 [m/s].

- **Caudales**

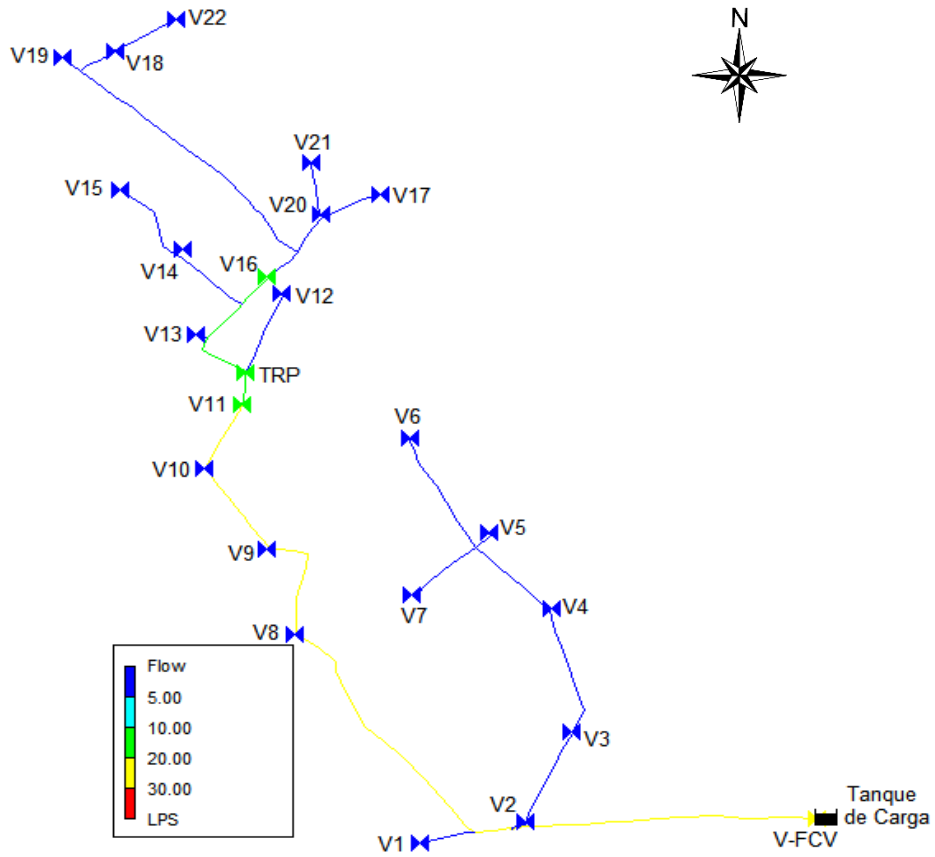


Figura 3.29. Caudales del Escenario 5
 Elaborado por: Vanessa Averos
 Fuente: EPANET 2.2. Escenario 5

- **Distribución de caudal**

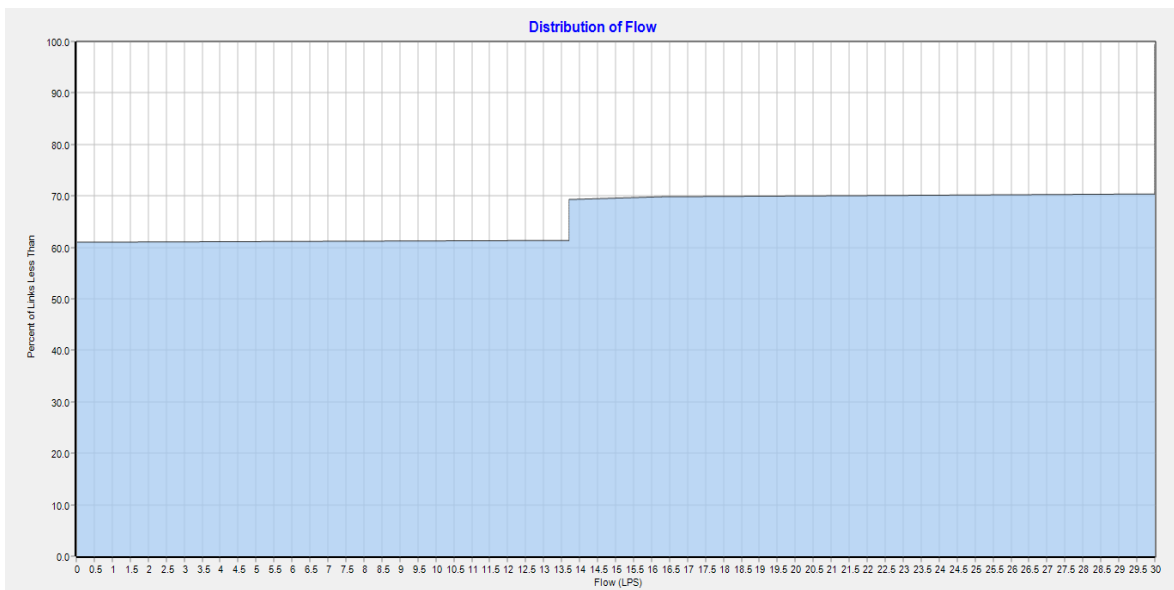


Figura 3.30. Distribución de caudal del Escenario 5
 Elaborado por: Vanessa Averos
 Fuente: EPANET 2.2. Escenario 5

El escenario 5 se simuló colocando una válvula limitadora de caudal (FCV), la cual controla que únicamente se transporte 30 [L/s], caudal concesionado al sistema de riego El Porlón, por lo que, como se observa en la Figura 3.29, desde el tanque de carga hasta el nudo previo a la válvula 11 se transporta el caudal de 30 [L/s] y posteriormente se reparte hacia la válvula 11 y 16 respectivamente. En la Figura 3.30 se aprecia que menos del 60% de tuberías transportan un caudal de 30 [L/s] mientras que el 10 % transporta un caudal de 14 [L/s] aproximadamente, el porcentaje restante de tuberías no transportan caudal debido a que las válvulas se encuentran cerradas.

Escenario 6

- Presiones

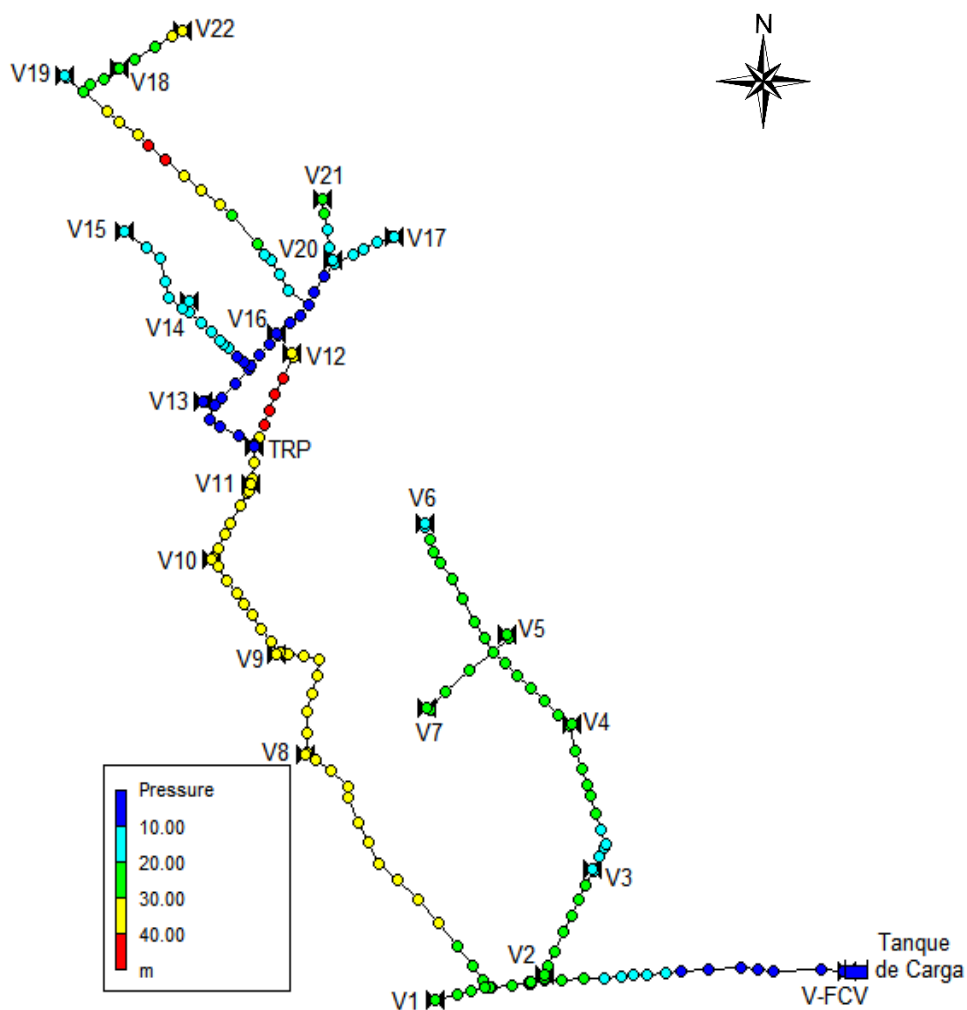


Figura 3.31. Presiones del Escenario 6

Elaborado por: Vanessa Averos

Fuente: EPANET 2.2. Escenario 6

- **Distribución de presión**

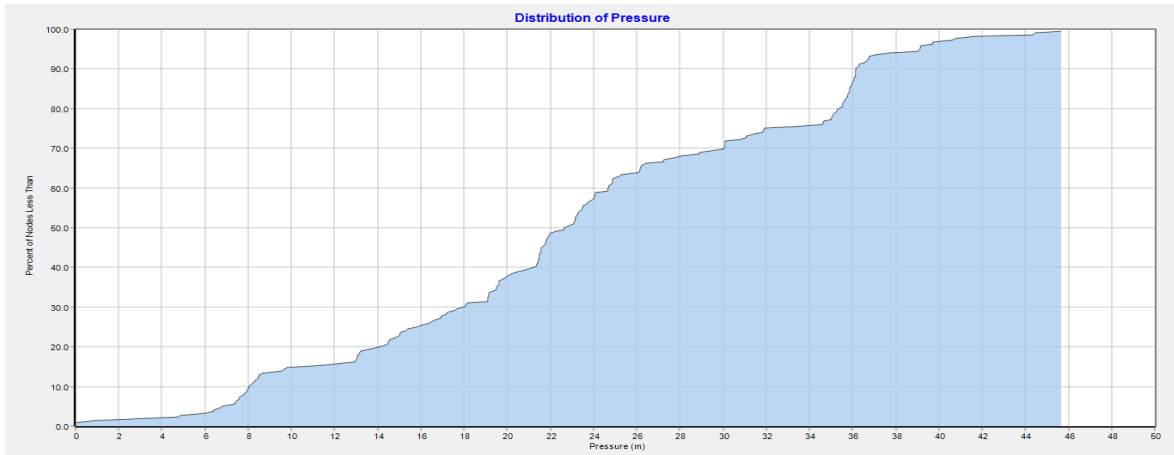


Figura 3.32. Distribución de presión del Escenario 6
 Elaborado por: Vanessa Averos
 Fuente: EPANET 2.2. Escenario 6

En el escenario 6 las válvulas que permanecen abiertas son la 6 y 15, observando la Figura 3.31 se tienen presiones mayores a 40 [m.c.a] en el tramo hacia la válvula 12 y en 2 nodos ubicados en la parte central del tramo que se dirige hacia la válvula 19, y de acuerdo con la topografía de la red, estos 2 últimos nodos tienen menores cotas de posición con respecto a los demás nodos. En la Figura 3.32 se analiza que menos del 15% de nodos de todo el sistema tiene presiones menores a 10 [m.c.a], por otra parte, el 55% de nodos tienen una carga de presión entre 10 y 30 [m.c.a] y posteriormente el 30% de nodos de la red tienen presiones entre el rango de 30 a 46 [m.c.a].

- **Velocidades**

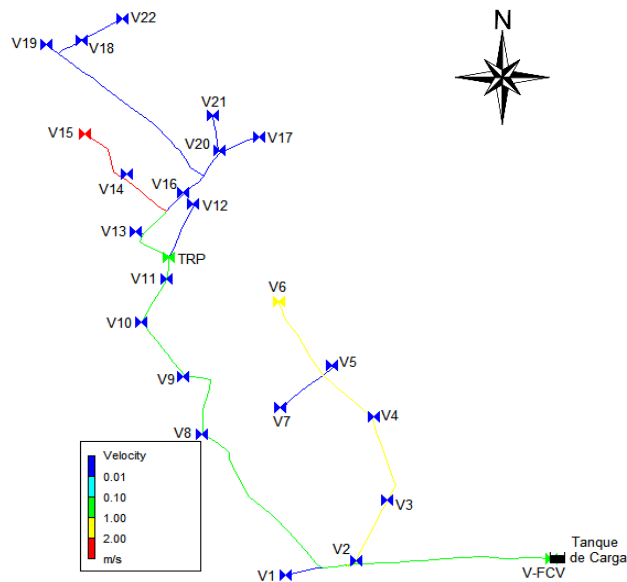


Figura 3.33. Velocidades del Escenario 6
 Elaborado por: Vanessa Averos
 Fuente: EPANET 2.2. Escenario 6

- **Distribución de velocidad**

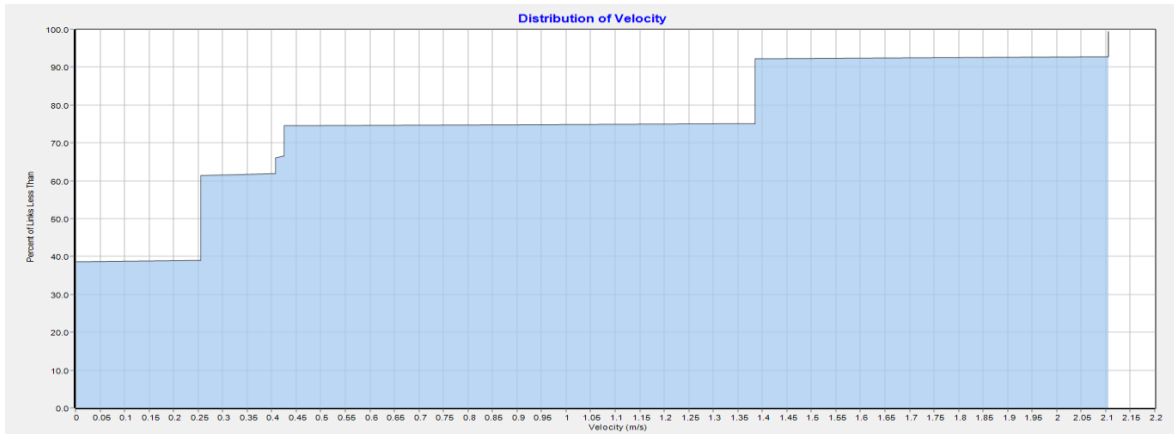


Figura 3.34. Distribución de velocidad del Escenario 6

Elaborado por: Vanessa Averos
Fuente: EPANET 2.2. Escenario 6

En cuanto a las velocidades del escenario 6 se obtuvo resultados por debajo de 2.2 [m/s]. Al observar la Figura 3.33 la velocidad con la que circula en los tramos que se dirigen hacia la válvula 6 está entre 1 a 2 [m/s], mientras que la velocidad desde el tanque de carga hasta la bifurcación 3 se encuentra entre 0.1 y 1 [m/s] pero en el tramo hacia la válvula 15 hay velocidades superiores a 2 [m/s], esto debido a la cantidad de caudal que transporta a cada válvula. En la Figura 3.34 se observa que menos del 39% de tuberías tienen velocidades por debajo de 0.25 [m/s], un 36% de tuberías tienen velocidades entre el rango de 0.25 y 1.4 [m/s] y el 15% transporta el caudal con velocidades entre 1.4 y 2.2 [m/s].

- **Caudales**

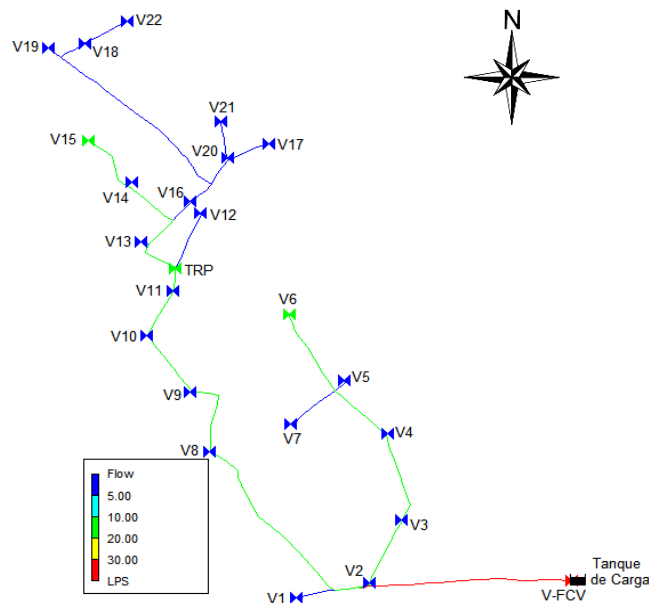


Figura 3.35. Caudales del Escenario 6

Elaborado por: Vanessa Averos
Fuente: EPANET 2.2. Escenario 6

- **Distribución de caudal**

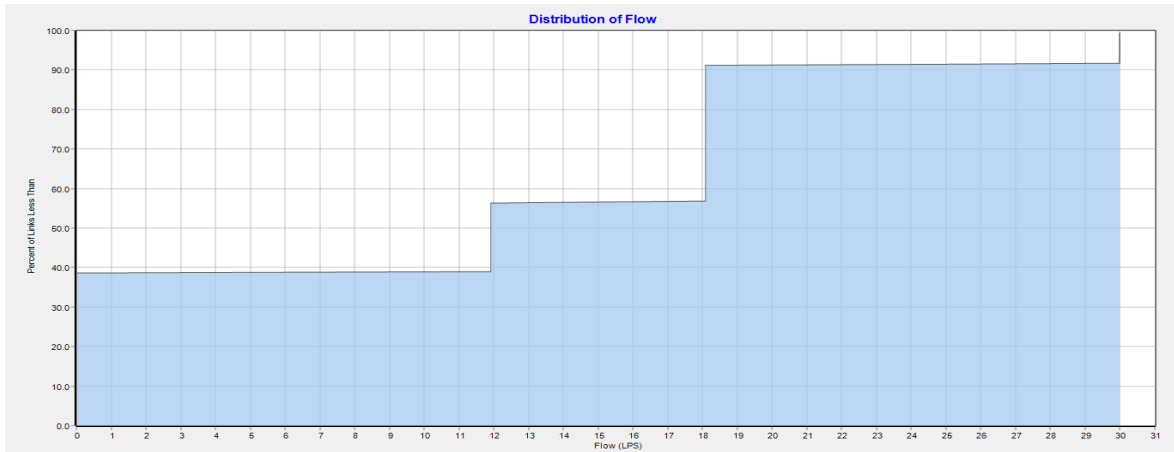


Figura 3.36. Distribución de caudal del Escenario 6
 Elaborado por: Vanessa Averos
 Fuente: EPANET 2.2. Escenario 6

En la Figura 3.35 se observa que desde el tanque de carga hasta la bifurcación 1, las tuberías transportan un caudal de 30 [L/s], posterior a la bifurcación y dirigiéndose a la válvula 6 y 15, transportan un caudal de entre 10 y 20 [L/s], repartiendo el caudal de acuerdo con el porcentaje especificado para este escenario en el ANEXO XI. En la Figura 3.36 se deduce que menos del 39% de tuberías transportan un caudal de entre 0 y 12 [m/s], posteriormente, un 28% transporta caudal dentro del rango de 12 y 18 [L/s] y finalmente un 24% de tuberías conduce un caudal superior a 18 [L/s].

Escenario 7

- **Presiones**

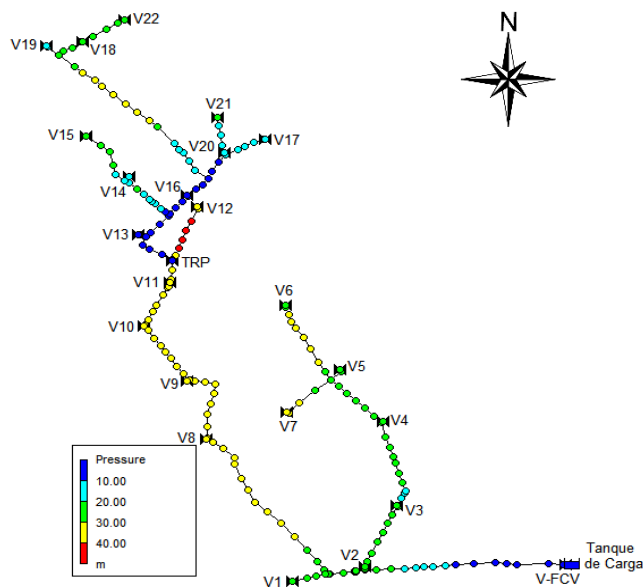


Figura 3.37. Presiones del Escenario 7
 Elaborado por: Vanessa Averos
 Fuente: EPANET 2.2. Escenario 7

- **Distribución de presión**

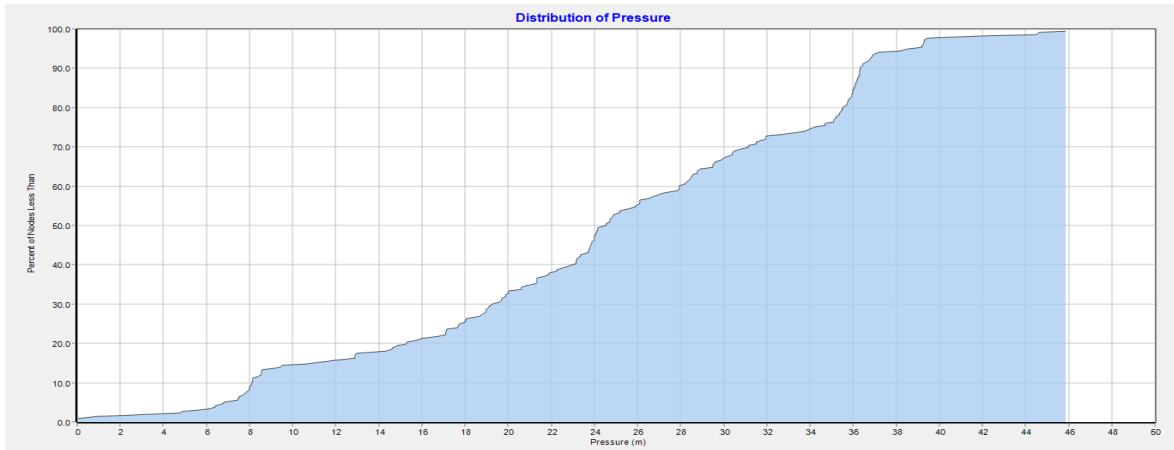


Figura 3.38. Distribución de presión del Escenario 7
 Elaborado por: Vanessa Averos
 Fuente: EPANET 2.2. Escenario 7

En este último escenario 7 se obtuvo como resultados valores de presiones entre 0 y 46 [m.c.a], como se observa en la Figura 3.37 únicamente en el tramo que se dirige hacia la válvula 12 existen nodos con presiones superiores a los 40 [m.c.a], esto debido a que no pasa por el Tanque Rompe Presión y por ende la carga de presión sigue aumentando conforme la tubería va en descenso. En la Figura 3.38 se observa que menos del 34% de nodos del sistema de riego tiene presiones por debajo de 20 [m.c.a], mientras que el 64% de nodos tienen una carga de presión entre 20 y 40 [m.c.a] y únicamente el 2% de todos los nodos tienen una presión superior a los 40 [m.c.a].

- **Velocidades**

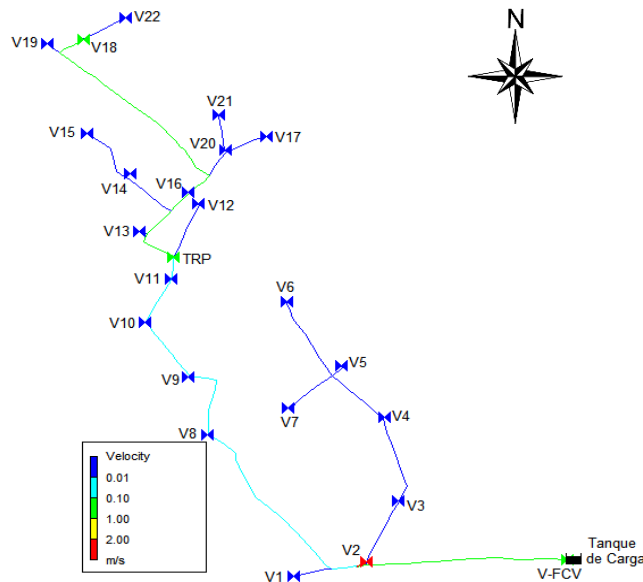


Figura 3.39. Velocidades del Escenario 7
 Elaborado por: Vanessa Averos
 Fuente: EPANET 2.2. Escenario 7

- **Distribución de velocidad**

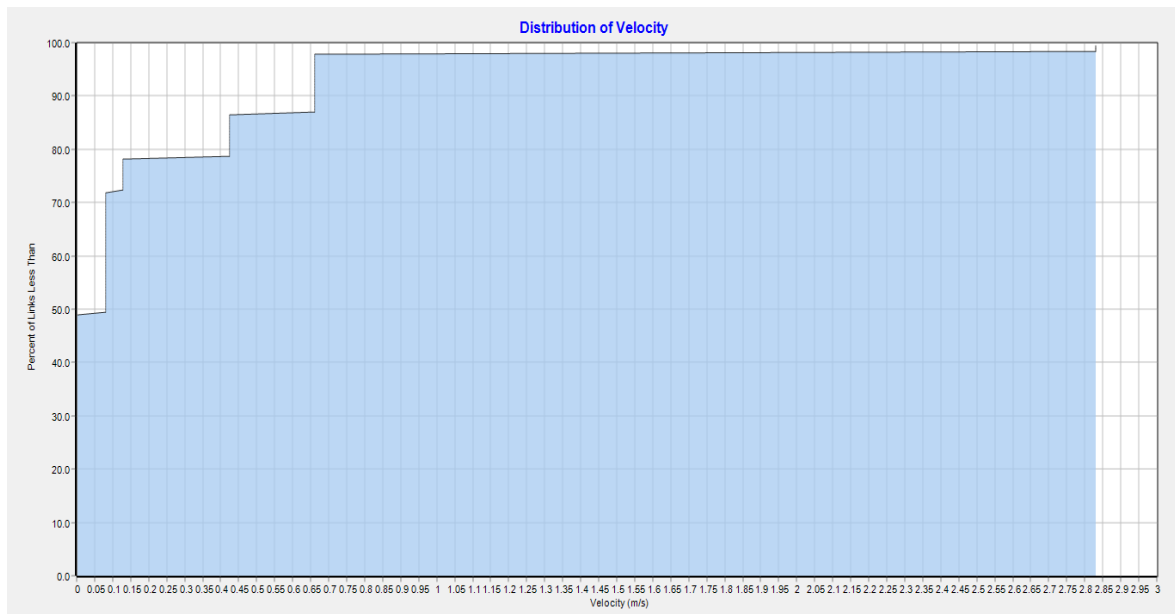


Figura 3.40. Distribución de velocidad del Escenario 7
 Elaborado por: Vanessa Averos
 Fuente: EPANET 2.2. Escenario 7

Con respecto a los resultados de velocidades del escenario 7 se obtuvo valores por debajo de 3 [m/s] aproximadamente. Como se observa en la Figura 3.39 desde el tanque de carga hasta la primera bifurcación y desde el tanque rompe presión hasta la válvula 18 las tuberías tienen velocidades entre 0.1 y 1 [m/s], en este punto es importante recalcar que en el tramo desde la bifurcación 1 hasta la válvula 2 se tienen velocidades superiores a 2 [m/s] debido a que el diámetro en esta sección es de 110 [mm].

A continuación, en la Figura 3.40 se observa que menos del 78% de tuberías de todo el sistema de riego en estudio, transportan caudal con velocidades por debajo de 0.4 [m/s], menos del 9% de tuberías tienen velocidades de entre el rango de 0.4 y 0.65 [m/s] y el 11% de tuberías tienen velocidades entre el intervalo de 0.65 y 2.9 [m/s].

- **Caudales**

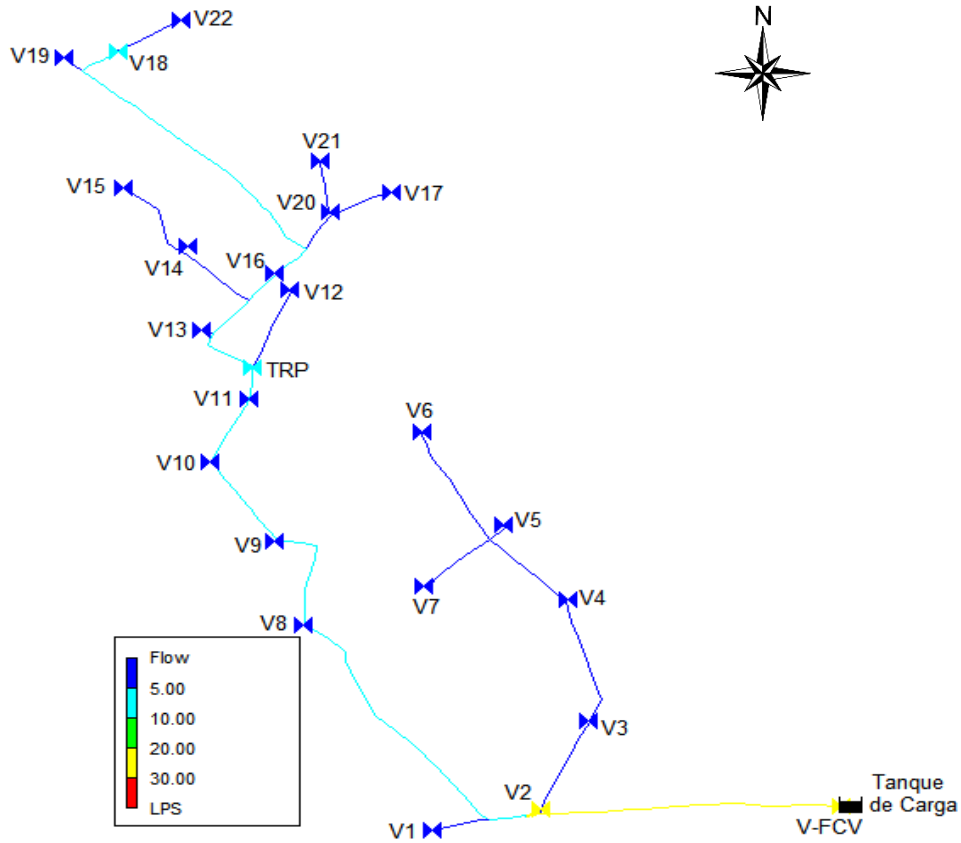


Figura 3.41. Caudales del Escenario 7
 Elaborado por: Vanessa Aversos
 Fuente: EPANET 2.2. Escenario 7

- **Distribución de caudal**

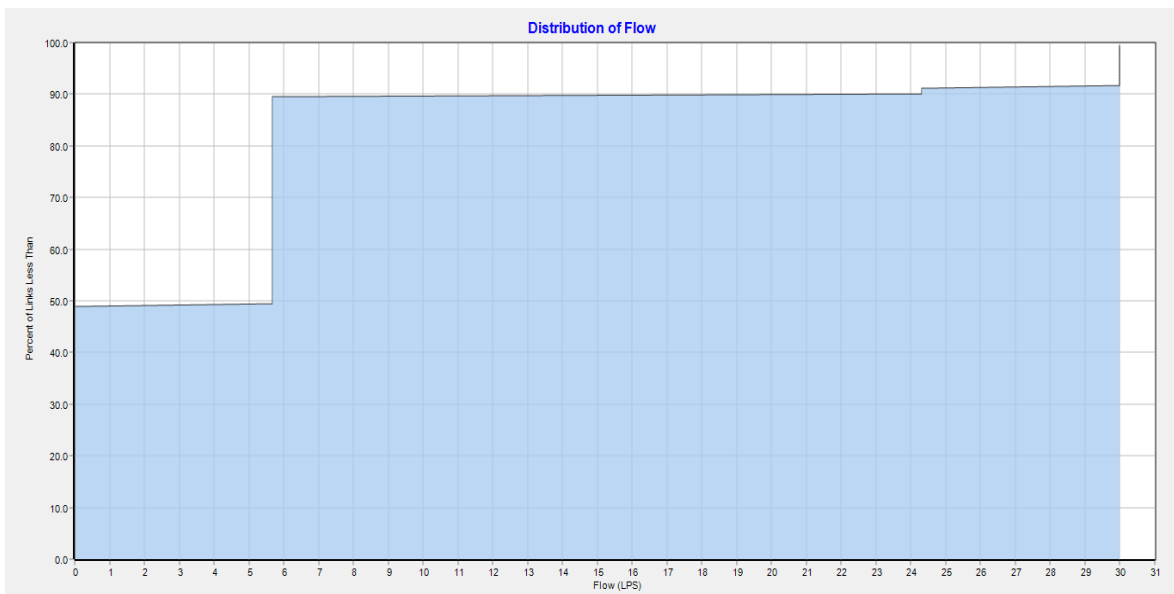


Figura 3.42. Distribución de caudal del Escenario 7
 Elaborado por: Vanessa Aversos
 Fuente: EPANET 2.2. Escenario 7

En relación con los caudales del escenario 7, en la Figura 3.41 se puede observar que desde el tanque de carga hasta la válvula 2, el rango de caudal que transporta esta entre 20 y 30 [L/s], mientras que a partir de la bifurcación 1 hasta la válvula 18, las tuberías transportan caudales de entre 5 y 10 [L/s]. En la Figura 3.42 se deduce que menos de 50% de tuberías conducen caudales menores a 5 [L/s], menos del 40% de tuberías transportan caudales entre el rango de 5 y 30 [L/s], el porcentaje restante corresponde a las tuberías que no transportan caudal ya que las válvulas se encuentran cerradas.

Resumen de resultados de todos los escenarios

Ante lo mencionado, se realizó un resumen con los valores más relevantes de presiones, velocidades y caudales obtenidos en los 7 escenarios simulados, esto se muestra en la Tabla 3.1, a continuación:

Tabla 3.1. Resumen de resultados de los 7 escenarios

Resumen de Resultados de los 7 Escenarios						
	Presión [m.c.a]		Velocidad [m/s]		Caudal [L/s]	Observación
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima		
Escenario 1	0.93	45.67	0.04	1.27	21 válvulas abiertas = 30 [L/s]	21 válvulas abiertas con demanda base de caudal calculado en función del área de riego.
Escenario 2	0.91	37.13	1.57	15.32	V11 = 131.63 [L/s]	Sistema sin control. Válvula 11 y 16 abiertas.
					V16 = 110.69 [L/s]	
Escenario 3	0.08	44.96	0.44	3.63	V6 = 20.56 [L/s]	Sistema sin control. Válvula 6 y 15 abiertas.
					V15 = 31.23 [L/s]	
Escenario 4	0.1	43.15	0.31	10.97	V2 = 94.27 [L/s]	Sistema sin control. Válvula 2 y 18 abiertas.
					V18 = 22.04 [L/s]	
Escenario 5	0.93	45.4	0.19	1.9	V11 = 16.30 [L/s]	Sistema con control. Válvula 11 y 16 abiertas.
					V16 = 13.70 [L/s]	
Escenario 6	0.93	45.68	0.26	2.11	V6 = 11.91 [L/s]	Sistema con control. Válvula 6 y 15 abiertas.
					V15 = 18.09 [L/s]	
Escenario 7	0.93	45.86	0.08	2.83	V2 = 24.32 [L/s]	Sistema con control. Válvula 2 y 18 abiertas.
					V18 = 5.68 [L/s]	

Elaborado por: Vanessa Averos

Como se observa en la Tabla 3.1, de los 7 escenarios simulados, la menor presión fue de 0.08 [m.c.a] en el escenario 3, donde permaneció abiertas las válvulas 6 y 15, en un sistema

sin ningún tipo de control y con el caudal mínimo determinado a partir de las combinaciones mostradas en el ANEXO XI. Con respecto a los valores de presiones máximas, los escenarios 1, 5, 6 y 7 se obtuvo valores similares de presiones máximas de aproximadamente 45 [m.c.a], es importante mencionar que en dichos escenarios circula un caudal total de 30 [L/s] en el sistema.

En cuanto a los resultados de velocidades, el valor mínimo se obtuvo en el escenario 1, donde actuaron las 21 válvulas abiertas con la demanda base de caudal calculado en función del área de riego presentados en la Tabla 2.2. En el escenario 2 se tuvo un valor de 15.32 [m/s], siendo la máxima velocidad obtenida en todos los escenarios simulados, este valor se encuentra en el tramo de tubería que va desde el nudo previo de la línea de conducción principal hacia la válvula 11, es importante mencionar que el escenario 2 corresponde a la simulación del máximo caudal obtenido del análisis estadístico de las combinaciones y al tener un tramo de tuberías con diámetro de 110 [mm] se tiene esta velocidad mayor.

En relación con los caudales obtenidos a partir de las 7 simulaciones, el escenario 1 se colocó la demanda base de caudal de acuerdo con las áreas que riega cada una de las 21 válvulas, en la Tabla 2.2, se muestra que la válvula 15 es la que tiene mayor área de riego por ende el valor de caudal fue de 2.79 [L/s], mientras que la válvula 21 riega un caudal de 0.38 [L/s] siendo el menor valor.

En el escenario 2, 3 y 4 se simuló combinaciones de válvulas que permanecen abiertas simultáneamente, sin ningún tipo de control en el sistema de riego, en el escenario 2, al permanecer abiertas las válvulas 11 y 16, se obtuvo una sumatoria de caudal de 242.32 [L/s], donde la válvula 11 es la que tiene mayor caudal, con un resultado de 131.63 [L/s], es necesario señalar que las válvulas 11 y 16 se encuentran en el ramal izquierdo de la red de riego, siendo la válvula 16 la que se encuentra más alejada del tanque de carga, por lo que la trayectoria es más larga y le llega un caudal menor. Al ser una simulación sin control en el sistema, el valor de la sumatoria de caudal de las dos válvulas no es el que en realidad está circulando por la red, debido a que el Sistema de Riego El Porlón, Reservorio 67 tiene concesionado únicamente 30 [L/s] de caudal para toda su área.

Es preciso señalar que en el escenario 3 permanecen abiertas las válvulas 6 y 15, al simular esta combinación de válvulas en el sistema sin control, se obtuvo una sumatoria de caudal de 51.79 [L/s] siendo este valor el mínimo, cabe destacar que estas válvulas se encuentran en ramales distintos en la red, la válvula 6 se encuentra en el ramal derecho, donde los tramos de tuberías tienen diámetros de 110 [mm], mientras que la válvula 15 se ubica en

el ramal izquierdo del sistema y la mayoría de tuberías tienen diámetros de 315 [mm], ante lo mencionado a esta última válvula le llegó un caudal mayor en comparación a la válvula de distribución 6.

Respecto al escenario 4, se simuló a las válvulas 2 y 18 abiertas, la ubicación de la válvula 2 es en el ramal derecho de la red y cerca del tanque de carga, en comparación a la válvula 18 que se encuentra en el ramal izquierdo del sistema, y bastante alejada del reservorio de sistema de riego, por lo que esta es una razón del porque a la válvula 18 le llega un caudal de 22.04 [L/s] siendo esto un valor mínimo de caudal en comparación al de la válvula 2.

Finalmente se simularon los escenarios 5, 6 y 7, donde se tomaron como referencia las combinaciones simuladas en los escenarios 2, 3 y 4, con la diferencia de que se colocó una válvula limitadora de caudal al inicio del sistema de riego. La sumatoria de caudal de cada combinación o escenario es de 30 [L/s] debido a que ese es el caudal concesionado al sistema de riego y por ende sería el que esté actuando en realidad en la red. En estos escenarios las válvulas que mayor caudal tuvieron fueron las válvulas 11, 15 y 2. Asimismo, los valores de velocidades se encuentran dentro del rango establecido por la norma, a excepción de algunos tramos de tuberías que tienen velocidades menores a 0.5 [m/s] en los cuales es necesario mantenimiento continuo para evitar sedimentación.

Soluciones y Presupuestos

- **Solución 1: Colocar una válvula limitadora de caudal**

Al analizar las simulaciones de los escenarios 2, 3 y 4 se observó que como resultados se obtienen caudales superiores al que únicamente tiene concesionado el sistema de riego Porlón, motivo por el cual se colocó una válvula limitadora o controladora de caudal, de manera que garantice el buen funcionamiento del sistema, esta válvula ayuda a limitar el caudal a 30 [L/s] que es la cantidad de caudal concesionado en la red, es importante mencionar en este punto que los escenarios 5, 6 y 7 se los simuló con este control en el sistema, donde se observó mejores resultados.

La válvula limitadora de caudal se debe colocar al inicio de la línea de conducción, es decir a la salida del tanque de carga. Esta válvula controla el flujo a un valor preestablecido, en este caso 30 [L/s], esto se da debido a la pérdida de carga producida en una placa de orificio, la cual debe ser dimensionada para cada caso acorde a los requerimientos del paso de caudal, esta placa da como resultado una reducción en el área de la tubería, específicamente en el diámetro interno, la placa orificio debe ser colocada aguas abajo de la válvula.

Una parte importante de la válvula es el piloto que consta de un tornillo que ayuda a regular la pérdida de carga admitida en la placa orificio, y por ende la cantidad de caudal que circula por la válvula, el piloto debe ser calibrado acorde a las funciones específicas que se requiera en la aplicación, es importante mencionar que el funcionamiento de toda la válvula limitadora de caudal es automático. Al instalar la válvula se debe realizar una conexión entre el piloto y un punto de la tubería que se encuentre después de la placa orificio, con esta instalación, el piloto es quien recopila toda la información de presiones aguas arriba y abajo de la placa de orificio colocada (IWIA, 2020). Con este tipo de válvula se ayuda a evitar las deficiencias de suministros de agua a las diferentes válvulas de distribución. En la Figura 3.43 se puede observar un esquema sobre la válvula limitadora de caudal.

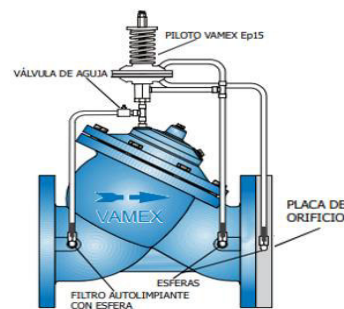


Figura 3.43. Válvula limitadora de caudal.
Fuente: (VAMEX, 2020)

La válvula limitadora de caudal debe ser colocada horizontalmente, en sentido del flujo, adicional a la instalación de la válvula es recomendable colocar una válvula de compuerta antes y después de la válvula y un filtro en Yee con el objetivo de que se facilite su mantenimiento (HELMAN, 2016). En la Figura 3.44 se muestra la instalación mencionada:

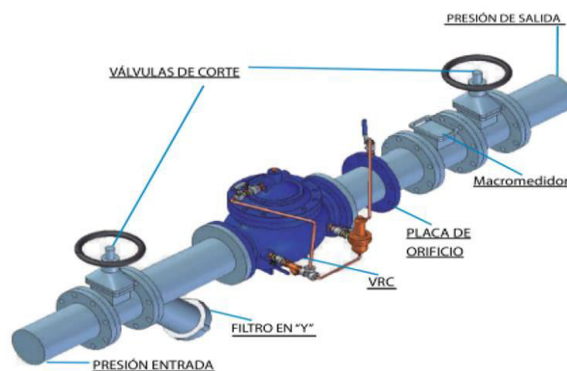


Figura 3.44. Instalación de la válvula limitadora de caudal
Fuente: (HELMAN, 2016)

Es importante tener en cuenta que el costo de una válvula varía dependiendo el diámetro requerido, inicialmente se tiene que la tubería que sale del tanque de carga es de 315 [mm], con este diámetro el costo de una válvula limitadora de caudal resultaría bastante elevado, por lo que es recomendable colocar reductores en la tubería para instalar una válvula de

menor diámetro, siempre y cuando se cumpla con el rango de velocidades aceptables en la normativa. En los escenarios 5, 6 y 7, en la tubería colocada a la salida del tanque de carga, se tiene una velocidad de 0.43 [m/s], por lo que a partir de la Ecuación 1.3. Ecuación de la continuidad se realizó un cálculo preliminar para determinar un nuevo diámetro con una velocidad de 2 [m/s], se tiene lo siguiente:

$$Q = v * A$$

$$0.03 \left[\frac{m^3}{s} \right] = 2 \left[\frac{m}{s} \right] * \frac{\pi * \phi^2}{4}$$

$$\phi = 0.138 [m] = 138 [mm]$$

Por lo que se sugiere colocar reductores de 315 [mm] a 160 [mm], donde la válvula limitadora de caudal sea del mismo diámetro con el fin de que se tenga un costo menor para su implementación. Con el nuevo diámetro de 160 [mm] se tiene la siguiente velocidad, la cual cumple con el rango de velocidades dispuesto por la normativa.

$$Q = v * A$$

$$0.03 \left[\frac{m^3}{s} \right] = v * \frac{\pi * 0.160^2}{4}$$

$$v = 1.49 [m/s]$$

Adicional, es recomendable colocar una válvula de aire después del reductor aguas abajo de la válvula limitadora de caudal para asegurar que no se transporte aire en la tubería de la red. A continuación, en la Tabla 3.2 se presenta un presupuesto para esta solución 1:

Tabla 3.2. Presupuesto Solución 1

SISTEMA DE RIEGO PORLÓN - EL SOCORRO - RESERVORIO 67					
PRESUPUESTO SOLUCIÓN 1					
No.	LISTADO DE ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	PRELIMINARES				
1.1	Desbroce y limpieza a mano	m2	3.4	0.94	\$3.19
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
2.1	Excavación a mano	m3	2.1	6.66	\$13.70
2.2	Relleno con material excavado en sitio	m3	2.1	1.28	\$2.64
3	INSTALACIÓN				
3.1	Válvula limitadora de control de caudal/Flujo Bridada ISO PN10/16 MOD. 206-RF DN 160mm	u	1	4356.04	\$4,356.04

No.	LISTADO DE ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
3.2	Válvula de compuerta de 160mm extremo bridado	u	2	597.49	\$1,194.97
3.3	Junta Brida Universal de H.D. DN 160mm/ (Rango: 159mm)	u	2	76.01	\$152.01
3.4	Filtro "Y" bridado de 160mm	u	1	477.94	\$477.94
3.5	Reductor PVC UZ 315 A 160 mm	u	2	118.51	\$237.01
3.6	Válvula de aire trifuncional ARI	u	1	129.87	\$129.87
3.7	Purga 1/16" - Cinética 1" Collarín PP INY 315mm x 1"	u	1	164.77	\$164.77
				TOTAL	\$6,732.14

Elaborado por: Vanessa Averos
Fuente: Proforma IWIAPRODUCTOS C.A

- **Solución 2: Colocar válvulas de compuerta en la bifurcación 1**

En el ANEXO I se puede observar que el sistema de riego El Porlón se divide en 2 ramales, el punto de la división es llamado bifurcación 1, para la segunda solución se recomienda colocar una válvula de compuerta en cada uno de los dos ramales de la red, de manera que se pueda aislar el caudal y con ello ayudar a que circule la cantidad correcta para cada válvula de distribución, tomando en cuenta los horarios de riego de cada válvula.

La característica principal de estas válvulas de compuerta es que funcionen completamente abiertas o cerradas, con el objetivo de permitir o cortar el paso del caudal por las tuberías. Este tipo de válvulas tienen un vástago el cual se gira para abrir o cerrar haciendo que la compuerta suba o baje respectivamente. Al estar completamente abierta va a resultar pérdidas de carga mínimas, lo cual es importante en el sistema (Grupo AlmagroMur, 2017). Con el objetivo de que el costo de implementación sea menor, se recomienda colocar una válvula de compuerta de 160 [mm] en los dos ramales.

Ante lo mencionado, se realizó previamente una simulación numérica en EPANET 2.2, con un control en el sistema, es decir con la válvula limitadora de caudal, y se colocó, en la bifurcación 1, las válvulas de compuerta de 160 [mm] en los dos ramales, se procedió a abrir dos válvulas del ramal derecho, siendo estas las válvulas 3 y 6, con ello se obtuvo presiones por debajo de los 30 [m.c.a] y velocidades de 3.5 [m/s] desde la bifurcación 1 hasta la primera válvula abierta, en este caso la válvula 3, lo mencionado se muestra en la Figura 3.45.

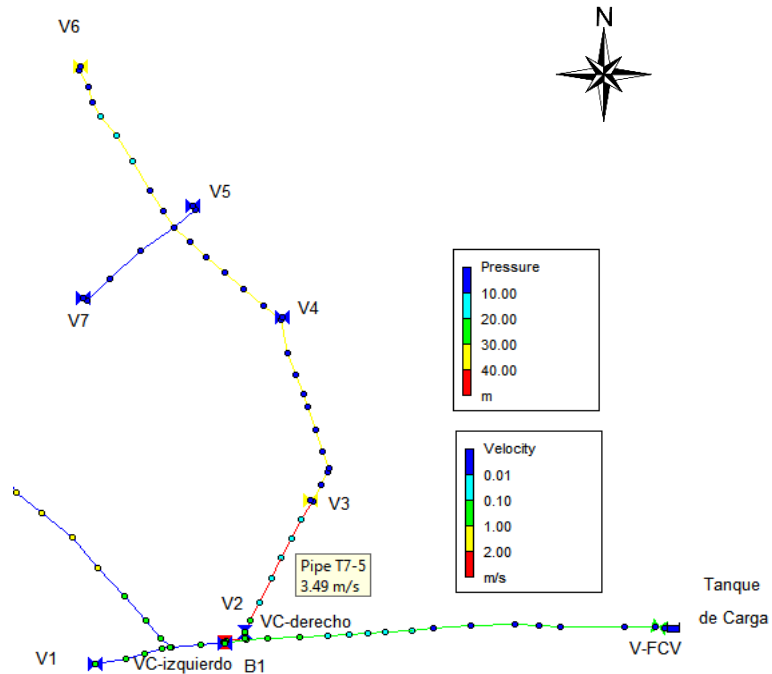


Figura 3.45. Resultados de la simulación de la solución 2
 Elaborado por: Vanessa Averos
 Fuente: EPANET 2.2. Simulación solución 2

A fin de no tener velocidades abrasivas, se recomienda cambiar las tuberías, desde la bifurcación 1 hasta la V3, a un diámetro de 160 [mm], con ello se garantiza que la velocidad en este tramo este por debajo de los 2 [m/s], cumpliendo con la normativa. Con estos cambios se tienen los siguientes resultados que se muestran en la Figura 3.46:

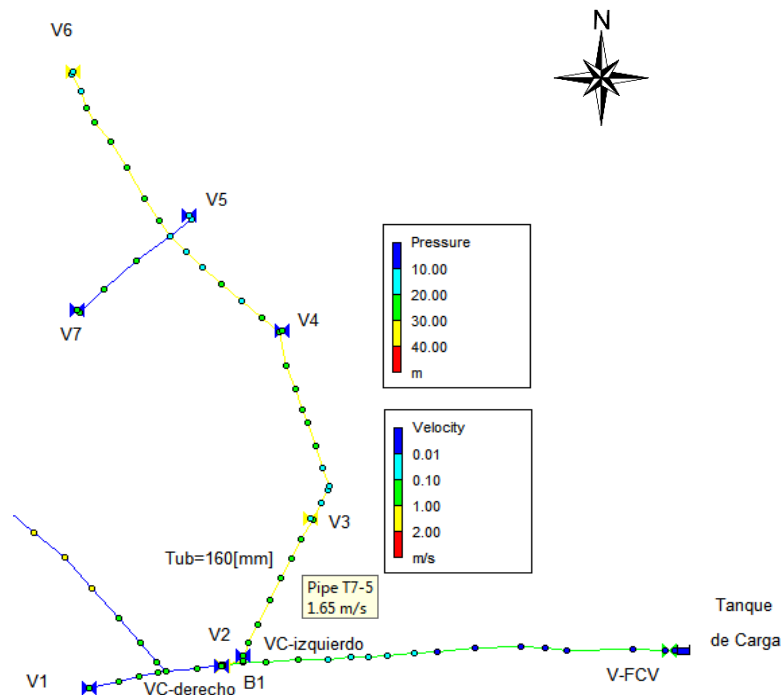


Figura 3.46. Resultados de la simulación de la solución 2 cambiando diámetros
 Elaborado por: Vanessa Averos
 Fuente: EPANET 2.2. Simulación solución 2

En la Figura 3.47 se observa la colocación recomendada de las válvulas de compuerta y el cambio de diámetros desde la bifurcación 1 hasta la Válvula 3.

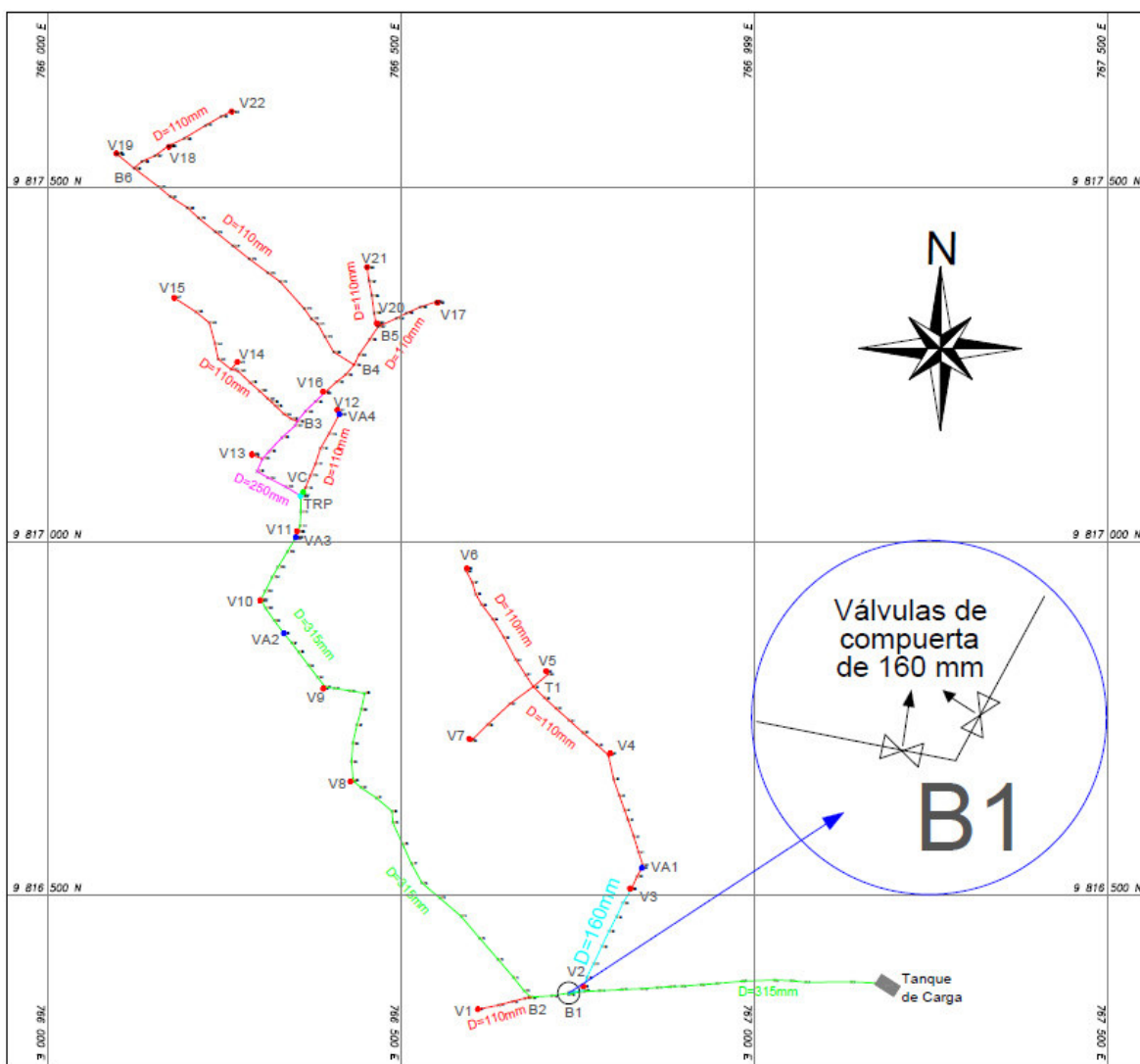


Figura 3.47. Ubicación de las válvulas de compuerta en B1
Elaborado por: Vanessa Averos

Es importante mencionar que, para aplicar esta solución 2, se debe tener en cuenta las combinaciones de válvulas abiertas dependiendo de los horarios de riego, por lo que a partir de varias simulaciones en EPANET 2.2, al tener abierta la válvula de compuerta del ramal derecho, es posible observar que las válvulas 2 ó 3 combinadas con las válvulas 4, 5, 6 ó 7 son las que dan resultados aceptables tanto de velocidades como de presiones, en el caso de realizar combinaciones entre las ultimas válvulas se va a tener presiones negativas, es decir que la línea de gradiente hidráulico este por debajo de la línea de tubería, lo cual perjudica el funcionamiento del sistema de riego. Otra opción es abrir simultáneamente las válvulas de compuerta en la bifurcación 1 y abrir válvulas de distribución que se encuentren cercanas una a la otra, a pesar de que no se encuentren en

el mismo ramal, con esto logrando repartir el caudal necesario a cada parcela, es de gran importancia realizar estudios con mayor detalle de estas simulaciones analizando las combinaciones correctas de válvulas para un buen funcionamiento de la red.

Por otra parte, para cumplir con uno de los objetivos específicos del presente trabajo, en la Tabla 3.3 se presenta el presupuesto de la solución 2:

Tabla 3.3. Presupuesto Solución 2

SISTEMA DE RIEGO PORLÓN - EL SOCORRO - RESERVORIO 67					
PRESUPUESTO SOLUCIÓN 2					
No.	LISTADO DE ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	PRELIMINARES				
1.1	Desbroce y limpieza a mano	m2	3.4	0.94	\$3.19
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
2.1	Excavación a mano	m3	2.1	6.66	\$13.70
2.2	Relleno con material excavado en sitio	m3	2.1	1.28	\$2.64
3	INSTALACIÓN				
3.1	Válvula de compuerta de 160mm extremo bridado	u	2	591.85	\$1,183.70
3.2	Junta Brida Universal de H.D. DN 160mm/ (Rango: 159mm)	u	4	70.37	\$281.48
3.3	Reductor PVC UZ 315 A 160 mm	u	3	351.90	\$1,055.70
3.4	Reductor PVC UZ 160 A 110 mm	u	1	31.32	\$31.32
3.5	Tubería PVC UZ 160mm x 6m 0.63 MPa	u	30	83.60	\$2,508.11
				TOTAL	\$5,079.83

Elaborado por: Vanessa Averos
Fuente: Proforma Imporagua S.A & Intertubep S.A

- **Solución 3: Cambiar horarios de riego**

Al analizar los horarios de riego de cada una de las válvulas de distribución del sistema, se observó que existen válvulas que permanecen abiertas durante un mismo intervalo de tiempo, en el ANEXO XI se presenta todas las combinaciones de válvulas que interactúan juntas y se observa que se abren simultáneamente una válvula cercana al tanque de carga junto con una válvula ubicada al final del sistema de riego, por ejemplo, en la combinación 2 que corresponde al escenario 4 y 7, las válvulas que se abren son la 2 y la 18, en la Figura 3.48 se observa la ubicación de estas válvulas.

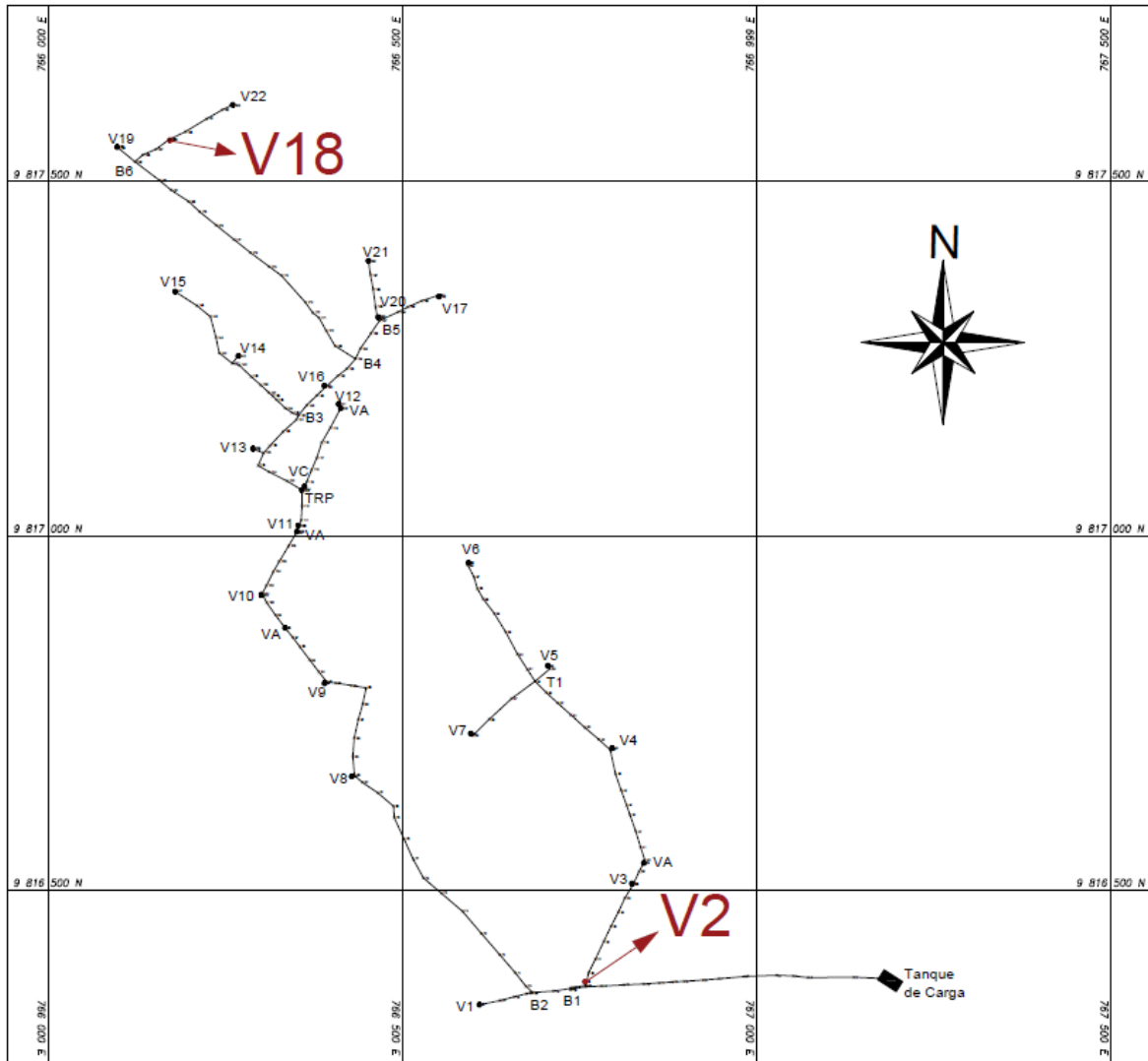


Figura 3.48. Ubicación de Válvulas 2 y 18

Elaborado por: Vanessa Averos

Como se visualiza en la anterior figura, las válvulas 2 y 18 están muy distanciadas, el caudal que circula por las tuberías recorre una distancia corta para llegar a la válvula 2 a diferencia de la distancia que debe transitar para llegar a la válvula 18, esta es la razón del porque llega mayor cantidad de caudal a la válvula 2 en comparación con la válvula 18 cuando están abiertas en un mismo intervalo de tiempo. En la Tabla 3.4 se presenta la combinación 2 de las válvulas que interactúan juntas.

Tabla 3.4. Combinación 2 de las válvulas que interactúan juntas

VÁLVULAS QUE INTERACTÚAN JUNTAS					
Combinación	DÍA	Válvula	Caudal [L/s]	[%] respecto a la sumatoria	Q respecto a 30 [L/s]
2	LUNES	2	94.27	81.05%	24.32
	LUNES	18	22.04	18.95%	5.68

Elaborado por: Vanessa Averos

Esta situación se presenta en todas las combinaciones de válvulas presentadas en el ANEXO XI, excepto en las combinaciones del sábado, ya que en este día interactúan las válvulas 11, 12, 13, 14 y 16, y como se observa en el ANEXO I, la ubicación de estas válvulas es cercana una a la otra, por lo que no existiría este problema del desequilibrio en la cantidad de caudal que llega a cada válvula de distribución.

Es por esta razón que la cuarta solución que se sugiere para mejorar el funcionamiento de la red es cambiar los Horarios de Riego, es decir la hora de apertura y cierre de la mayoría de las válvulas, tomando en cuenta que las válvulas abiertas, en determinados intervalos de tiempo, no estén muy distanciadas de manera que la cantidad de caudal se distribuya convenientemente para las parcelas que va a regar cada válvula de distribución.

- **Solución 4: Cambiar diámetros de tuberías**

Con el propósito de tener una mejor distribución de caudal para cada válvula del sistema, se propone una cuarta solución que se basa en cambiar los diámetros de las tuberías. Como se sabe, el diámetro de la tubería depende de la cantidad de caudal necesario en los diferentes puntos a los que se requiere transportar. En el ANEXO I se puede observar las tuberías que se encuentran instaladas actualmente en la red, junto con la ubicación de cada válvula de distribución.

En la simulación del escenario 3 y 6 se puede observar que a la válvula 6 le llega un porcentaje menor de caudal en comparación con la válvula 15, siendo que las dos válvulas no se encuentran tan alejadas una de la otra. Es importante señalar que el diámetro de las tuberías que se dirigen a la válvula 15, un mayor porcentaje corresponde a un diámetro nominal de 315 [mm], en comparación con la válvula 6 que las tuberías tienen un diámetro nominal de 110 [mm], siendo la razón por la que la válvula 15 tiene mayor cantidad de caudal en relación con la válvula 6.

Por lo que la cuarta solución es cambiar los diámetros de tuberías en tramos específicos del sistema de riego, como ejemplo, se recomienda cambiar las tuberías desde el nudo previo a la válvula 8 hasta el tanque rompe presión a una tubería de 260 [mm] y a partir de las tuberías que salen del tanque rompe presión hasta el nudo previo de la válvula 16 cambiar a una tubería de diámetro nominal de 110 [mm], con estos cambios se tiene una mejor distribución del caudal. En la Figura 3.49 se presenta el cambio a los diámetros propuestos:

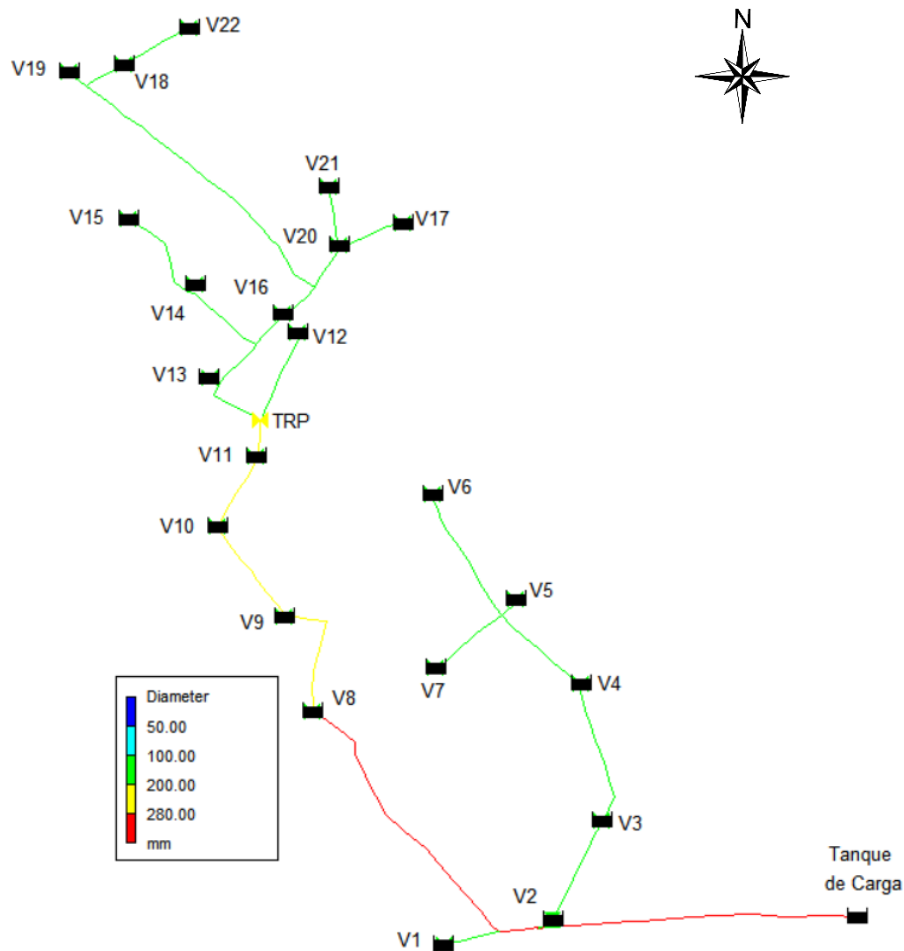


Figura 3.49. Diámetros recomendados de la solución 5

Elaborado por: Vanessa Averos

Fuente: EPANET 2.2. Nueva Simulación

De manera preliminar se realizó una nueva simulación cambiando los diámetros de tuberías descritas anteriormente en el sistema sin control donde se mantiene abierta las válvulas 6 y 15, las cuales corresponden a la combinación 10 y que anteriormente se simularon en el escenario 3, con esta nueva simulación se puede comprobar lo anteriormente expuesto, dando los siguientes resultados mostrados en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Resultados de la Nueva Simulación, cambiando diámetros

VÁLVULAS QUE INTERACTÚAN JUNTAS						
Combinación	DÍA	Válvula	Caudal [L/s]	[%] respecto a la sumatoria	Diferencia de Porcentajes	Observación
10	JUEVES	6	20.56	39.70%	20.60%	Simulación Escenario 3
	JUEVES	15	31.23	60.30%		
Combinación	DÍA	Válvula	Caudal [L/s]	[%] respecto a la sumatoria	Diferencia de Porcentajes	Observación
10	JUEVES	6	20.61	46.10%	7.81%	Nueva Simulación
	JUEVES	15	24.1	53.90%		

Elaborado por: Vanessa Averos

Como se observa en la Tabla 3.5 los porcentajes de caudal que llega a cada válvula tienen un cambio considerable, en el escenario 3 se tiene una diferencia de porcentajes de 20.60%, mientras que en la nueva simulación la diferencia es de 7.81%, con esto se demuestra que realizar un cambio en los diámetros de las tuberías con la misma presión nominal ayuda de gran manera a un mejor funcionamiento en el sistema de riego.

Con el propósito de abaratar costos se recomendaría utilizar las tuberías de 250 [mm] que se encuentran instaladas actualmente en el tramo que empieza desde el tanque rompe presión hasta el nudo previo a la válvula de distribución 16 con una longitud alrededor de 218 [m], desinstalarlas y colocarlas en el tramo desde la válvula de aire 2 hasta el tanque el tanque rompe presión, ya que esta longitud es aproximadamente igual a la primera, con esta recomendación se lograría comprar únicamente 48 unidades de Tuberías PVC UZ de 250mm x 6m 0.63 MPa para completar su instalación lo que disminuiría considerablemente el presupuesto de esta cuarta solución. Ante esta solución recomendada, en la Tabla 3.6 se muestra un presupuesto aproximado:

Tabla 3.6. Presupuesto Solución 4

SISTEMA DE RIEGO PORLÓN - EL SOCORRO - RESERVORIO 67					
PRESUPUESTO SOLUCIÓN 4					
No.	LISTADO DE ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	PRELIMINARES				
1.1	Desbroce y limpieza con maquinaria	m2	742.056	1.51	\$1,119.32
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
2.1	Excavación a cielo abierto con maquinaria	m3	556.542	2.16	\$1,203.24
2.2	Relleno con material excavado en sitio	m3	556.542	2.29	\$1,276.75
3	INSTALACIÓN				
3.1	Tubería PVC UZ 110mm x 6m 0.63 MPa	u	40.0	27.56	\$1,102.43
3.2	Reductor PVC UD Z 315 A 250 mm	u	1	119.31	\$119.31
3.3	Tubería PVC UZ 250mm x 6m 0.63 MPa	u	48.0	138.48	\$6,647.07
				TOTAL	\$11,468.11

Elaborado por: Vanessa Averos
Fuente: Proforma Imporagua S.A & Intertubep S.A

- **Complementario: Colocar válvulas de aire trifuncionales**

Al realizar la visita de campo al sistema de riego Porlón – El Socorro – Reservoirio 67 se observó que existen entradas de aire a las tuberías de la conducción, en la actualidad existen únicamente 4 válvulas de aire instaladas en la red, por lo que colocar válvulas de

aire como recomendación complementaria a las soluciones anteriormente descritas, ayuda a mejorar el funcionamiento del sistema y a eliminar el aire de las tuberías es colocar más válvulas de aire trifuncionales en puntos estratégicos de la red, de manera que disminuya el volumen de aire y se transporte la cantidad de caudal adecuado a cada válvula de distribución y por ende a cada parcela. A continuación, en la Figura 3.50 se presenta una imagen de una válvula de aire trifuncional de la marca A.R.I.



Figura 3.50. Válvula de aire trifuncional.
Fuente: (A.R.I, 2014)

Las válvulas de aire trifuncionales se emplean con dos objetivos, admitir y expulsar volúmenes de aire en el proceso de llenado y vaciado de las tuberías, de manera que se garantice un llenado total de la tubería. Este tipo de válvulas tienen dos componentes, el primer componente es el de purga de aire, el cual ayuda a liberar de manera automática el aire a la atmósfera, mientras que el segundo componente de llenado y vaciado, este admite volúmenes de aire en el proceso de llenado y vaciado de la tubería (Mizrahi, 2014).

Se realizó un estudio de los perfiles de elevación de toda la red y se recomienda colocar válvulas de aire como se indica en el apartado 2.7 y en el ANEXO VIII. A continuación, en la Tabla 3.7 se muestra el presupuesto de este complemento a las soluciones.

Tabla 3.7. Presupuesto Complementario – Válvulas de aire

SISTEMA DE RIEGO PORLÓN - EL SOCORRO - RESERVORIO 67					
PRESUPUESTO SOLUCIÓN COMPLEMENTARIA					
No.	LISTADO DE ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	PRELIMINARES				
1.1	Desbroce y limpieza a mano	m2	12.5	0.94	\$11.80
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
2.1	Excavación a mano	m3	18.75	6.66	\$124.78
2.2	Relleno con material excavado en sitio	m3	1.08	1.28	\$1.38

No.	LISTADO DE ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
3	CONSTRUCCIÓN DE CÁMARA				
	3.1 Encofrado de madera Hormigón simple f'c 140	m	70.4	15.48	\$1,089.79
	3.2 kg/cm2	m3	10.56	132.68	\$1,401.10
	3.3 Tapa metálica 50cm x 50cm	u	8	152.37	\$1,218.96
4	INSTALACIÓN				
	4.1 Válvula de aire trifuncional ARI Purga 1/16" - Cinética 1"	u	8	129.87	\$1,038.96
	4.2 Collarín PP INY 110mm x 1"	u	5	8.44	\$42.20
	4.3 Collarín PP INY 315mm x 1"	u	3	164.77	\$494.31
				TOTAL	\$5,423.29

Elaborado por: Vanessa Averos
Fuente: Proforma Imporagua S.A

A fin de que las soluciones anteriormente descritas ayuden a mejorar el funcionamiento de la red de estudio, se deberá desarrollar nuevas simulaciones numéricas a detalle de manera que se observe resultados eficientes en su funcionamiento y por lo tanto contribuya positivamente en la cotidianidad de los moradores del sistema de riego Porlón – El Socorro – Reservoirio 67.

Comparación de Presupuestos

En relación a las soluciones mostradas anteriormente, se procede a realizar una comparación de presupuestos de cada solución recomendada, en la Tabla 3.8 se presenta cada alternativa con su respectivo costo y observación a tomar en cuenta y que se puede presentar al realizar su implementación.

Tabla 3.8. Resumen de Presupuestos

SISTEMA DE RIEGO PORLÓN - EL SOCORRO - RESERVORIO 67			
Resumen de Presupuestos			
Alternativa	Costo [\$]	Constructividad	Observaciones
Solución 1	\$ 6,732.14	Válvula limitadora de caudal	Costo de la implementación y mantenimiento
Solución 2	\$ 5,079.83	Válvulas de compuerta	Reorganización de Horarios de riego
Solución 3	\$ -	Cambio de horarios de riego	Organización y acuerdo con moradores
Solución 4	\$ 11,468.11	Cambio de tuberías	Solución más costosa
Solución Complementaria	\$ 5,423.29	Válvulas de aire	Mantenimiento

Elaborado por: Vanessa Averos

Como se observa en la Tabla 3.8 la solución con 0\$ de costo en su aplicación corresponde a la solución 3: Cambio de Horarios de Riego, representado en color verde, con relación a las observaciones de su implementación se tiene la organización de la Junta de riego, que actualmente está administrando los horarios de apertura y cierre de cada válvula, y el acuerdo en conjunto con todos los beneficiarios del sistema de riego, en ese sentido, la recomendación es realizar reuniones y conversaciones pacíficas donde todos los beneficiarios junto con los dirigentes lleguen a un acuerdo mutuo con el fin de mejorar el funcionamiento del sistema de riego.

Con respecto a las soluciones que requieren de un presupuesto diferente de cero se encuentra la solución 2: colocar válvulas de compuerta en la bifurcación 1. Las observaciones que se pueden presentar al realizar su implementación es la reorganización de los horarios de riego, debido a que actualmente y como se puede observar en el ANEXO III, existen válvulas que se abren simultáneamente y que se encuentran ubicadas en distintos ramales de la red.

A continuación, se tiene la solución 1: colocar una válvula limitadora de caudal aguas abajo del tanque de carga, las observaciones a tomar en cuenta son el alto costo para su implementación, ya que, además del gran precio que tiene la válvula, se necesita colocar 2 válvulas de compuerta aguas arriba y aguas abajo de la válvula limitadora de flujo y adicionalmente un filtro en Yee para que ayude al mantenimiento de la válvula. El mantenimiento también es otra observación importante, debido a que se debe realizar con una persona capacitada que tenga conocimiento del funcionamiento de cada parte de la válvula.

Posteriormente, se tiene la solución 4: cambiar diámetros de válvulas, el presupuesto para esta solución va a depender de qué tramos de tuberías se desea cambiar, del diámetro y de la longitud de cada tramo, además de si se reutiliza las tuberías que se desinstalan y se coloquen en los nuevos tramos con el objetivo que bajar el presupuesto. En este caso cambiando el diámetro de tuberías como se explicó anteriormente, corresponde a la solución que mayor presupuesto presenta en su implementación, tomando en cuenta el tiempo que deja de funcionar el sistema de riego debido a la ejecución de la obra.

Finalmente, como parte de las soluciones descritas, se tiene la solución complementaria: colocar válvulas de aire trifuncionales en la red, donde la observación que se tiene es el mantenimiento periódico de las válvulas de aire, dicho mantenimiento se debe realizar con el objetivo de comprobar la integridad y el buen estado de cada válvula para que no afecte en el funcionamiento del sistema de riego.

Todas las soluciones recomendadas ayudan a mejorar el funcionamiento del sistema de riego, aunque también tienen observaciones en su aplicación, por esta razón, se debe analizar más a profundidad cada solución, realizando simulaciones numéricas más detalladas y considerando la mayor cantidad de información posible, de manera que se puedan llegar a obtener resultados óptimos y que estas acciones impacten positivamente a todos los moradores favorecidos del sistema de riego.

3.2 Conclusiones

En el presente trabajo se cumple con el objetivo de diagnosticar el funcionamiento hidráulico en flujo permanente del sistema de riego Porlón - El Socorro - Reservoirio 67 a partir de 7 escenarios de simulación en EPANET 2.2, los cuales ayudaron a conocer la situación actual de operación de la red y junto con toda la información recopilada, tanto de la topografía como de horarios de riego, se logró determinar aspectos hidráulicos que ocasionan un funcionamiento deficiente del sistema.

Se realizó visitas de campo donde se observó que, en estructuras importantes del sistema como el tanque de carga y el tanque rompe presión, está ingresando aire a las tuberías y esto se comprobó abriendo varias válvulas de distribución, en las cuales se observó que la válvula descarga un volumen de aire y posteriormente de agua, por este motivo se determinó una altura de sumergencia tanto para el tanque de carga como para el tanque rompe presión, de manera que ayude a evitar el ingreso de aire a la conducción, estos valores de altura de sumergencia se encuentran en las Tablas 2.4 y 2.6.

Con toda la información topográfica proporcionada, tal como coordenadas y cotas de diferentes puntos de la línea de conducción, diámetros y longitudes de tuberías, cantidad de válvulas de distribución, los horarios de riego de cada válvula y junto con un análisis estadístico, considerando un tiempo específico donde permanece abierta cada válvula, se llegó a determinar 7 escenarios de simulación, cada escenario representa las situaciones más importantes en el funcionamiento del sistema de riego, tomando en cuenta que todas las simulaciones se desarrollaron en flujo permanente, es decir, cuando en cualquier punto del volumen de control, el caudal no cambia con respecto al tiempo.

Con la ayuda de EPANET 2.2, se realizó la comprobación de la presión nominal de las tuberías colocadas actualmente en el sistema de riego Porlón – El socorro – Reservoirio 67, junto con la carga estática de la red, cuando las válvulas de distribución se encuentran totalmente cerradas, con lo que se verificó que en todos los puntos de las tuberías se cumple que la presión nominal es mayor a la carga estática. Adicionalmente, con la simulación del escenario 1, al tener todas las válvulas de distribución totalmente abiertas y

repartiendo el caudal como se muestra en la Tabla 2.2, se realizó una segunda comprobación de la presión nominal de la tubería con la carga dinámica en todos los puntos de la red, donde efectivamente se cumple la relación de presión nominal mayor a carga dinámica. Estas comprobaciones ayudaron a verificar que las tuberías colocadas en el sistema de riego son capaces de resistir las presiones en condiciones de flujo permanente, a trabajo normal.

Con la ayuda de los perfiles de elevación que proporciona EPANET 2.2 se determinaron puntos estratégicos para la colocación de válvulas de aire trifuncionales, las cuales ayudarán a eliminar volúmenes de aire que se encuentran en las tuberías de la línea de conducción, de esta manera ayudando a mejorar el funcionamiento de la red, en total se definieron 8 puntos que son los recomendados para la instalación de las válvulas de aire, estos puntos se presentan en la Tabla 2.8 y corresponde a una solución complementaria.

De acuerdo con la información de los horarios de riego, se determinaron combinaciones de válvulas que permanecen abiertas durante un mismo intervalo de tiempo y desarrollando una previa simulación con flujo permanente de cada combinación, sin ningún control en el sistema, se establecieron los valores de caudales de cada válvula, con esta información y junto con un análisis estadístico se determinó el valor máximo, mínimo y medio de las sumatorias de caudales, siendo estos los escenarios 2, 3 y 4 respectivamente.

Dentro de estos primeros escenarios, específicamente en el escenario 2, donde actúan abiertas las válvulas 11 y 16, se evidencia que la sumatoria de caudal total es de 242.32 [L/s] con velocidades máximas de hasta 15.32 [m/s], en este punto es importante señalar que el sistema se encuentra sin ningún control, por lo que el Reservorio 67 alimenta a todo el sistema de riego acorde a sus requerimientos de caudal. Ante lo mencionado se concluye que en la actualidad no se presentan estos valores, por el motivo de que no se está considerando únicamente el caudal concesionado en el sistema de riego que es de 30 [L/s].

Por otra parte, para asemejarse más a la realidad del funcionamiento del sistema de riego, se planteó 3 escenarios más en los cuales se colocó una válvula limitadora de caudal a la salida del tanque de carga, la cual ayudó a tener un control en el sistema de riego Porlón - El socorro - Reservorio 67. Al realizar las simulaciones de estos escenarios 5, 6 y 7 se alcanzó presiones muy semejantes. Con respecto a las velocidades se obtuvo valores menores a 0.5 [m/s], lo que indica una falencia en el funcionamiento de la red debido a que no se está garantizando la autolimpieza en algunas tuberías del sistema y por ende se está dando problemas de sedimentación.

Se plantearon 5 soluciones adecuadas que cumplen con el objetivo de ayudar al sistema de riego a tener un correcto funcionamiento hidráulico. Entre las soluciones propuestas está colocar una válvula limitadora de caudal a la salida del tanque de carga de manera que controle el caudal a un valor de 30 [L/s] que es el valor concesionado para la red, esta válvula ayuda a evitar las deficiencias de suministros de agua a las diferentes válvulas de distribución y por ende a cada parcela. De la misma manera, una solución que ayude a regular el caudal para una mejor distribución es la colocación de válvulas de compuerta en la bifurcación 1, estas válvulas ayudan a aislar el caudal de las dos ramificaciones haciendo que circule el caudal establecido para cada válvula de distribución.

Al realizar las simulaciones se observó que al abrirse simultáneamente dos válvulas, la mayor cantidad de caudal llega a la válvula más cercana al tanque de carga o a la que tiene tramos de tuberías con diámetros mayores, por lo que se planteó dos soluciones adicionales, la primera es desarrollar una nueva distribución de los horarios de riego de todas las válvulas del sistema de riego, tomando en cuenta las condiciones descritas anteriormente, y la segunda es cambiar los diámetros de las tuberías en tramos determinados de la red. Como complemento a las soluciones planteadas se menciona colocar válvulas de aire trifuncionales en puntos específicos, de manera que ayuden a eliminar los volúmenes de aire presente en las tuberías, y en conjunto con la implementación de otra solución propuesta, ayuden al buen funcionamiento del sistema.

En relación a los presupuestos de cada solución y a los inconvenientes que se pueden presentar en su implementación, se concluye que la solución que no tiene ningún tipo de costo es la solución 3: cambiar los horarios de riego, ya que únicamente necesita del mutuo acuerdo entre los dirigentes y beneficiarios del sistema de riego en estudio, y adicional la solución 2: colocar válvulas de compuerta en la bifurcación 1, es la menos costosa en comparación con las otras soluciones y que iría de la mano con la solución 3, mientras que la solución 4: Cambiar diámetros de tuberías es la que mayor costo de construcción tiene, es importante mencionar que este presupuesto va a depender del tramo, diámetro y longitud de tubería a cambiar.

3.3 Recomendaciones

Ante todas las soluciones planteadas para un mejor funcionamiento del sistema, es recomendable realizar estudios más a detalle o simulaciones numéricas que contengan mayores especificaciones, de manera que se analice profundamente sus ventajas y desventajas de su implementación y de cómo va a aportar en el mejoramiento del funcionamiento hidráulico.

Reorganizar los horarios de riego de las válvulas de distribución del sistema de riego en mención, tomando en cuenta que las válvulas que se abren simultáneamente estén cercanas y ubicadas en un mismo ramal del sistema, es una recomendación ya que con ello se garantiza una mejor repartición de caudal a cada válvula, evitando así el desbalance en la cantidad de agua que llega a las diferentes parcelas.

Se sugiere colocar válvulas de aire trifuncionales en los puntos establecidos como parte adicional de cada solución, de manera que contribuya a mejorar el funcionamiento de la red.

Debido a la calidad de riego utilizada en el sistema de riego es recomendable realizar mantenimiento continuo en las tuberías donde se tengan velocidades menores a 0.5 [m/s] con el fin de evitar sedimentación y por ende el mal funcionamiento del sistema de riego.

Se sugiere realizar una inspección en toda la red de conducción, con el propósito de evitar fugas de agua, ya sea por alguna fisura en las tuberías del sistema.

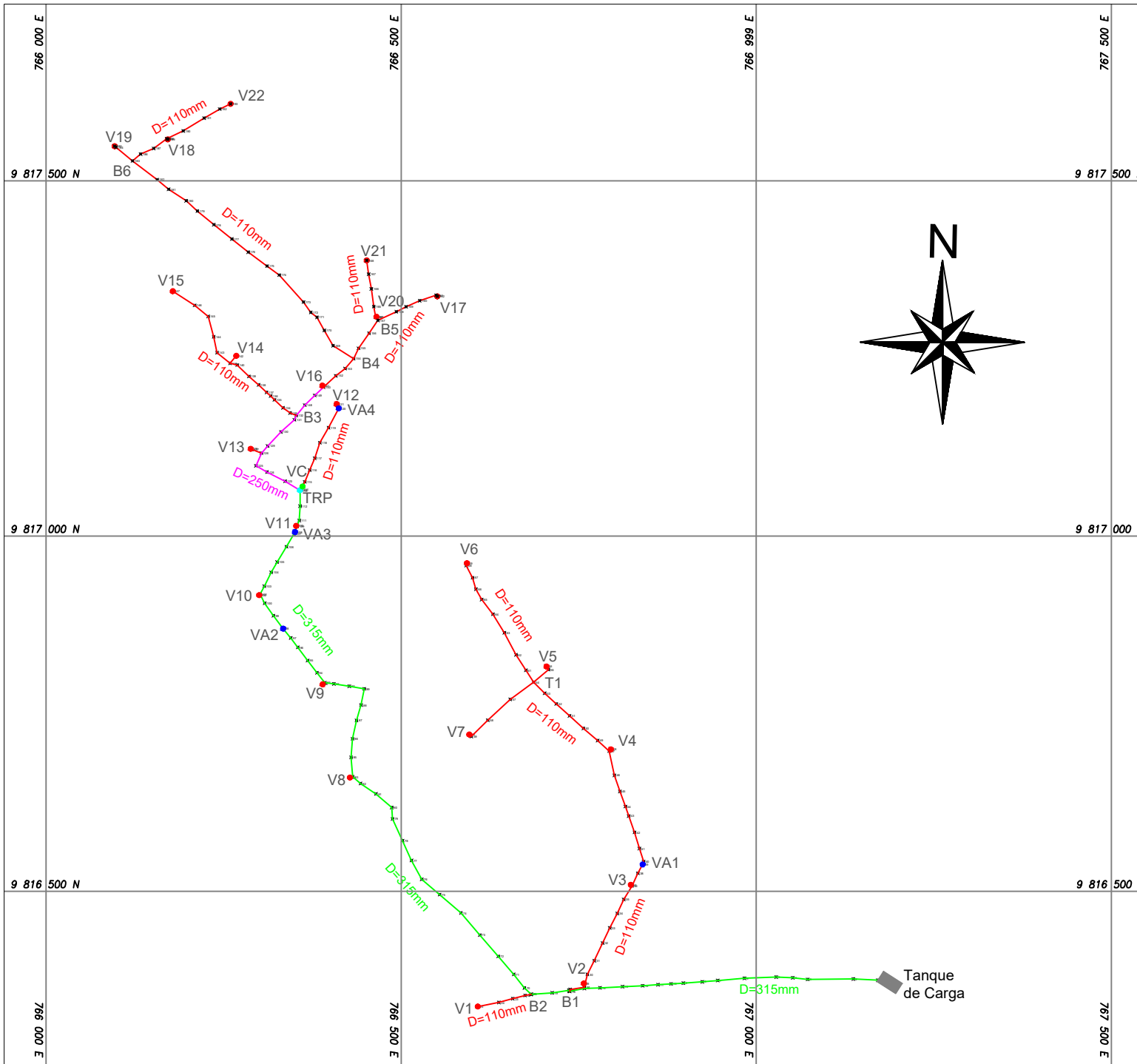
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Water Works Association [AWWA]. (2016). *Air Valves: Air - Release, Air/Vacuum & Combination; M51*. (2nd Ed.). AWWA. <https://www.awwa.org/portals/0/files/publications/documents/m51lookinside.pdf>
- A.R.I. (29 de noviembre de 2014). *A.R.I VALVES*. <https://www.arivalves.com/es/products/water-supply/item/d-040-combination-air-valve-barak>
- Ayamamani, P. (2018). *Mejoramiento de la eficiencia hidráulica de la red de distribución de agua potable en la zona Rinconada - Juliaca por el método de la sectorización* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano].
- Basile, P. (2020). *Flujo en conducciones a presión*. Rosario.
- Chuquín, N., Chuquín D., Miño, G., Chuquín, J. & Soriano, J. (2018). *Modelación matemática del sistema hidráulico de la red de agua potable de la ciudad de Riobamba*. *Perfiles* 19(1), 37-49. http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/9382/1/per_n19_v1_05.pdf
- E. Bladé -M. Sánchez-Juny H.P. Sanches – D. Niñerola M. Gomez. (2009). *Modelación numérica en ríos en régimen permanente y variable*. Ediciones UPC.
- Franco, L. (2006). *Cálculo de redes de agua potable considerando flujo permanente* [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/817>
- Galván-Cano, O. y A. Exebio-García. 2020. Rediseño óptimo de la red presurizada de la sección 01, del distrito de riego 001 Pabellón de Arteaga, Aguascalientes. *Terra Latinoamericana* 38: 323-331. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.645>
- Grupo AlmagroMur. (22 de noviembre de 2017). *Grupo AlmagroMur Fabricants de válvulas y accesorios para obras*. <https://www.grupoalmagromur.es/las-valvulas-compuerta-elegirlas-correctamente/>
- Guaycochea, D. (1992). *Flujo en tubos a presión*. México: Azcapotzalco.
- HELMAN. (2016). *HELMAN*. Obtenido de Válvula limitadora de caudal: <https://www.helman.co/index.php/productos-helman-sas/acueducto/valvula-limitadora-de-caudal-detail.html>
- Idrobo, P. (2018). *Desarrollo de un modelo de simulación mediante el software EPANET de la red de distribución de agua potable de la cabecera cantonal de Guano provincial de Chimboazo* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/9664/1/15T00690.pdf>
- IWIA. (27 de octubre de 2020). *iwia Tuberías & Equipamiento Hidráulico*. IWIAPRODUCTOS C.A: <https://iwia.ec/productos/valvula-limitadora-de-caudal/>
- Knauss, J. (1987). *Swirling Flow Problems at Intakes*. Obernach: Adress.
- Lapo, C., Pérez, R. (2012). Diseño óptimo de sistemas de riego a presión Aplicación en casos (Ecuador). *Revista de integración Agraria y Ambiental*. Vol 4(1).

- Meadows, M. (2002). *Computer Applications in Hydraulic Engineering*. Haestad Press.
- Mizrahi, G. (29 de Noviembre de 2014). *Arivalves*. A.R.I. <https://www.arivalves.com/es/products/water-supply/item/d-040-combination-air-valve-barak>
- Mohapatra, S., Sargaonkar, A. (2014). Evaluación de Redes de Distribución con EPANET para Suministro de Agua Intermitente y Continuo. *Water Resour Manage*. 3-7. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0707-y>
- Ordoñez, F. (2017). *Diseño y modelación de la red de distribución de agua potable de una edificación multifamiliar usando EPANET* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/11213Machala>.
- Plaza, J. (2017). *Ejercicios Prácticos en EPANET*. Bogotá, Colombia: Freepik.
- Pedroza, E. (2018). *Hidráulica Básica. Historia, conceptos previos y ecuaciones*. México: Progreso.
- Regaber. (16 de febrero de 2021). *Regaber Matholding group*. <https://regaber.com/producto/valvulas-de-compuerta-gaer/>
- Rocha, A. (2007). *Hidráulica de tuberías y canales*. Lima: Primera.
- Rossmann, L., Woo, H., Tryby, M., Shang, F., Janke, R. & Haxton, T. (2020). *Manual de usuario de EPANET 2.2*. EPANET. https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-7/epanet_users_manual_2.2.0-1.pdf
- Saldarriaga, J. (s.f). *Hidráulica de Tuberías, Abastecimiento de Agua, Redes, Riegos*. 3ra Edición. Editorial Alfaomega
- Sotelo, G. (1997). *Hidráulica general*. México: Limusa.
- VAMEX. (2020). *Válvulas de control automático*. <https://www.vamex.com.mx/wp-content/uploads/2020/02/Control%20de%20Gasto%20y%20Sostenedoras.pdf>
- White, F. (2003). *Mecánica de Fluidos*. Madrid: McGrawHill.

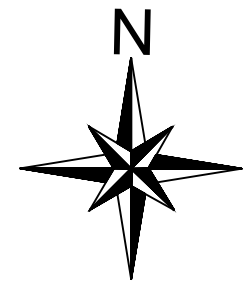
ANEXOS

ANEXO I. Plano con Cotas de Proyecto



SIMBOLOGÍA

- V1 - Válvula de distribución
- VA1 - Válvula de aire
- VC - Válvula de control
- TRP - Tanque Rompe Presión
- TC - Tanque de Carga
- └─┘ B1 - Bifurcación
- ✕ T1 - Trifurcación
- Tubería D = 110 mm
- Tubería D = 250 mm
- Tubería D = 315 mm



**ESCUELA
POLITÉCNICA
NACIONAL**

Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

Ingeniería Civil

Trabajo de Integración Curricular

Sistema de Riego Porlón - El Socorro - Reservorio 67

Plano con Cotas de Proyecto

Estudiante: Vanessa Averos

Fecha: Agosto 2022

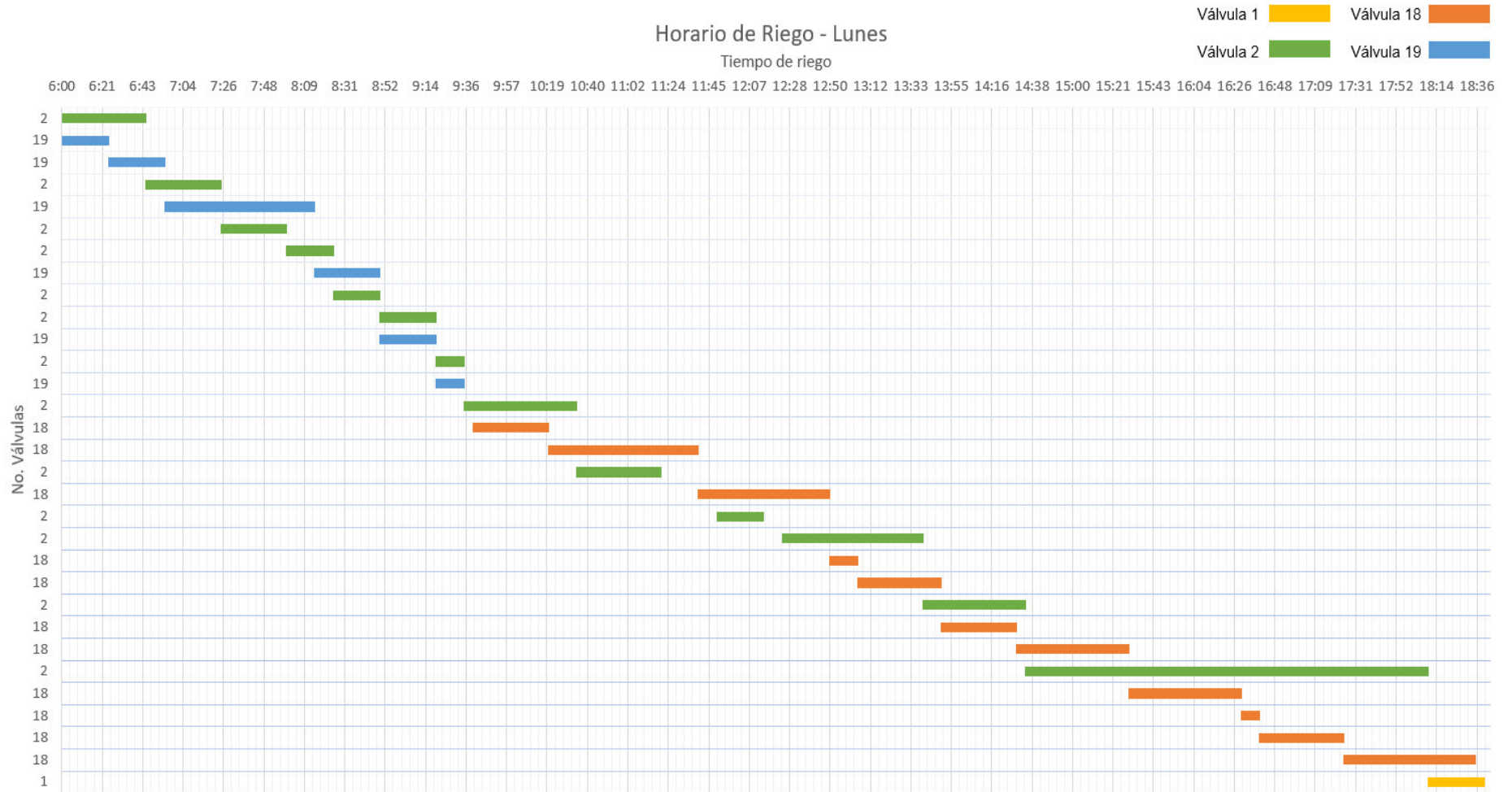
Escala: 1:200

ANEXO II. Resumen Completo de Horarios de Riego

SISTEMA DE RIEGO CHAMBO - GUANO				
PORLÓN - EL SOCORRO				
RESERVORIO 67				
Resumen Completo de Horarios de Riego				
Día	Válvulas	Tiempo total (min)	Cantidad de Lotes	Área (m2)
LUNES	1	30	1	1180
	2	690	13	33203
	18	535	11	14421
	19	215	6	5673
TOTAL	4 válvulas	1470	31	54477
Día	Válvulas	Tiempo total (min)	Cantidad de Lotes	Área (m2)
MARTES	1	305	7	13354
	3	390	9	16812
	17	430	4	11598
	18	325	6	8788
TOTAL	4 válvulas	1450	26	50552
Día	Válvulas	Tiempo total (min)	Cantidad de Lotes	Área (m2)
MIÉRCOLES	3	95	2	4156
	4	335	5	14778
	5	340	5	15028
	15	455	4	12368
	17	265	7	7056
TOTAL	5 válvulas	1490	23	53386
Día	Válvulas	Tiempo total (min)	Cantidad de Lotes	Área (m2)
JUEVES	5	95	4	4048
	6	530	9	23447
	7	110	9	4053
	15	775	8	20955
TOTAL	4 válvulas	1510	30	52503
Día	Válvulas	Tiempo total (min)	Cantidad de Lotes	Área (m2)
VIERNES	7	500	10	18688
	12	260	6	12852
	15	35.00	1	882
	14	640	9	17262
TOTAL	4 válvulas	1435	26	49684

Día	Válvulas	Tiempo total (min)	Cantidad de Lotes	Área (m2)
SÁBADO	11	475	12	22830
	12	245	4	11874
	13	375	5	9928
	14	60	1	1631
	16	330	8	8816
TOTAL	5 válvulas	1485	30	55079
Día	Válvulas	Tiempo total (min)	Cantidad de Lotes	Área (m2)
DOMINGO	8	280	14	12340
	9	295	14	13153
	10	170	3	8208
	20	490	11	12868
	21	190	8	4653
TOTAL	5 válvulas	1425	50	51222

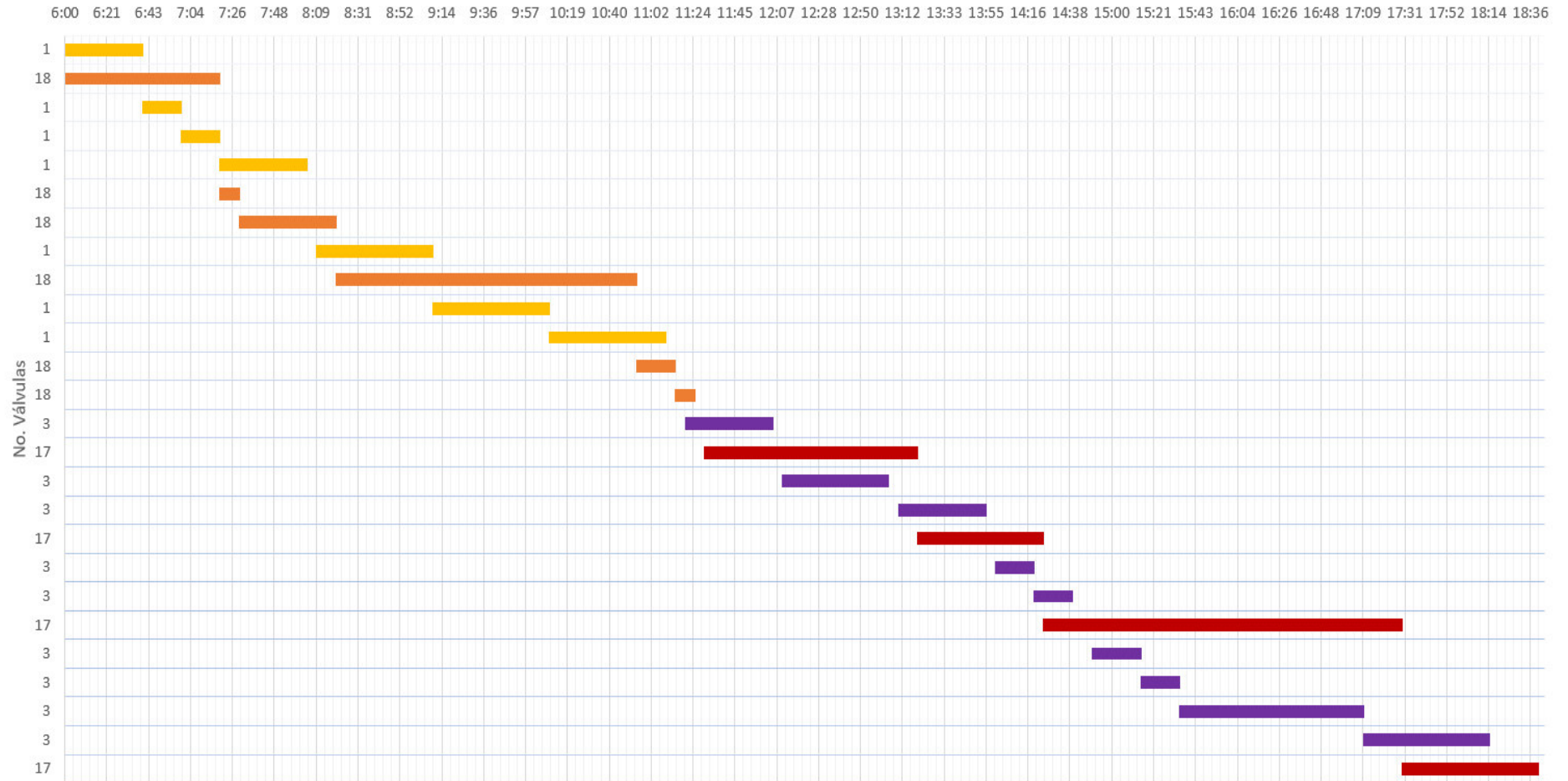
ANEXO III. Cronograma de tiempo de riego de válvulas



Horario de Riego - Martes

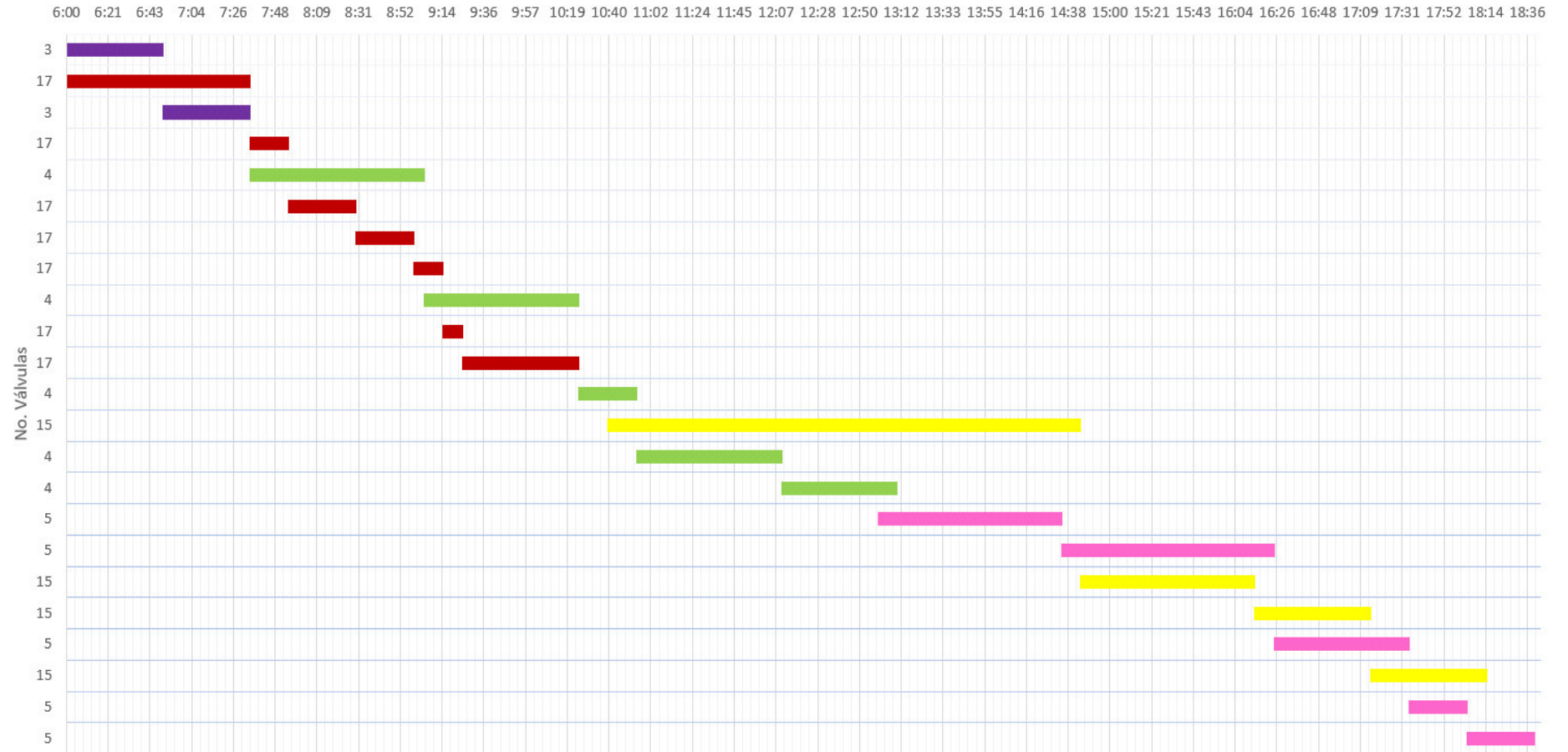
Tiempo de riego

Válvula 1 ■ Válvula 17 ■
 Válvula 3 ■ Válvula 18 ■



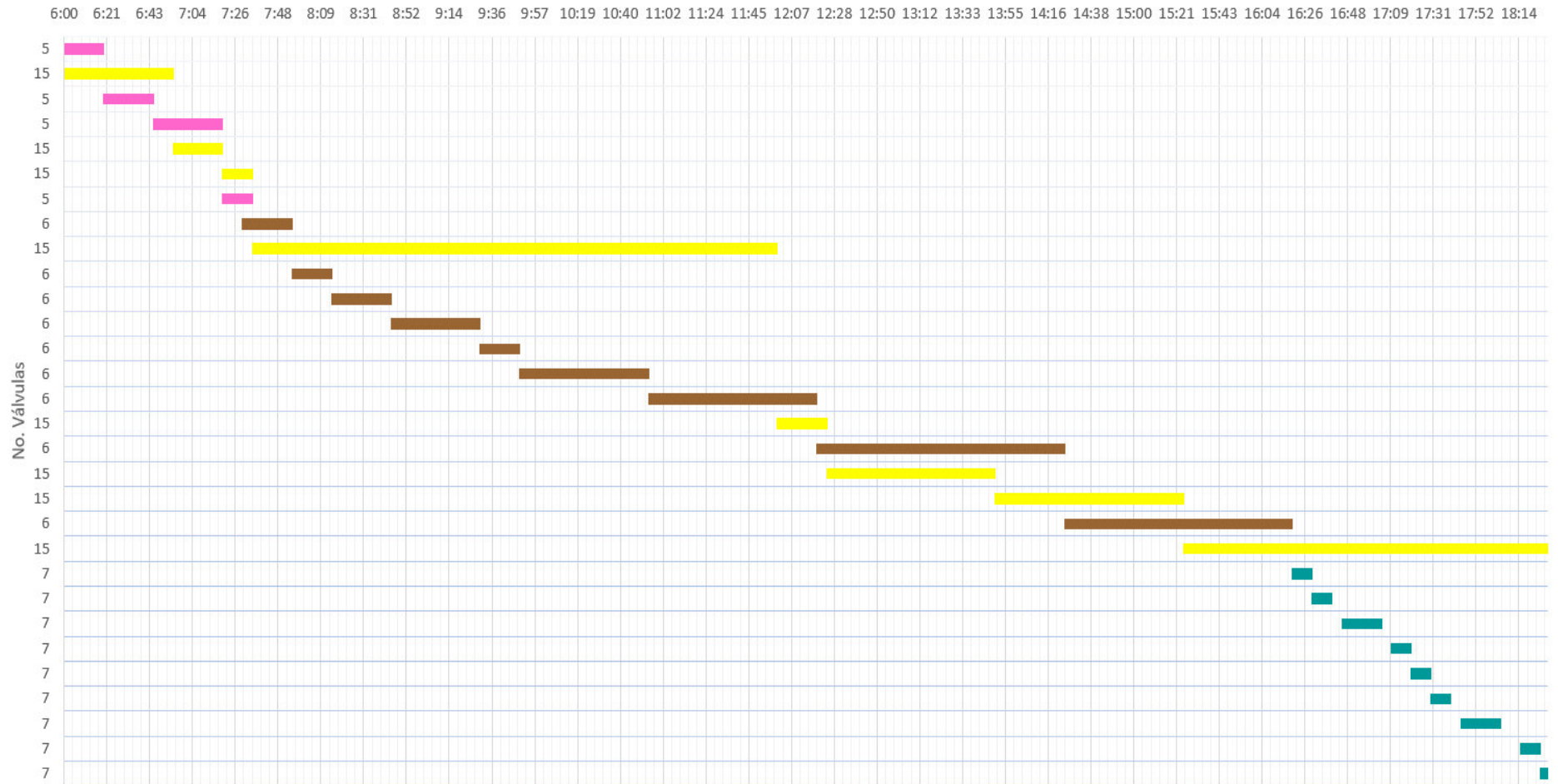
Horario de Riego - Miércoles

Tiempo de riego



Horario de Riego - Jueves

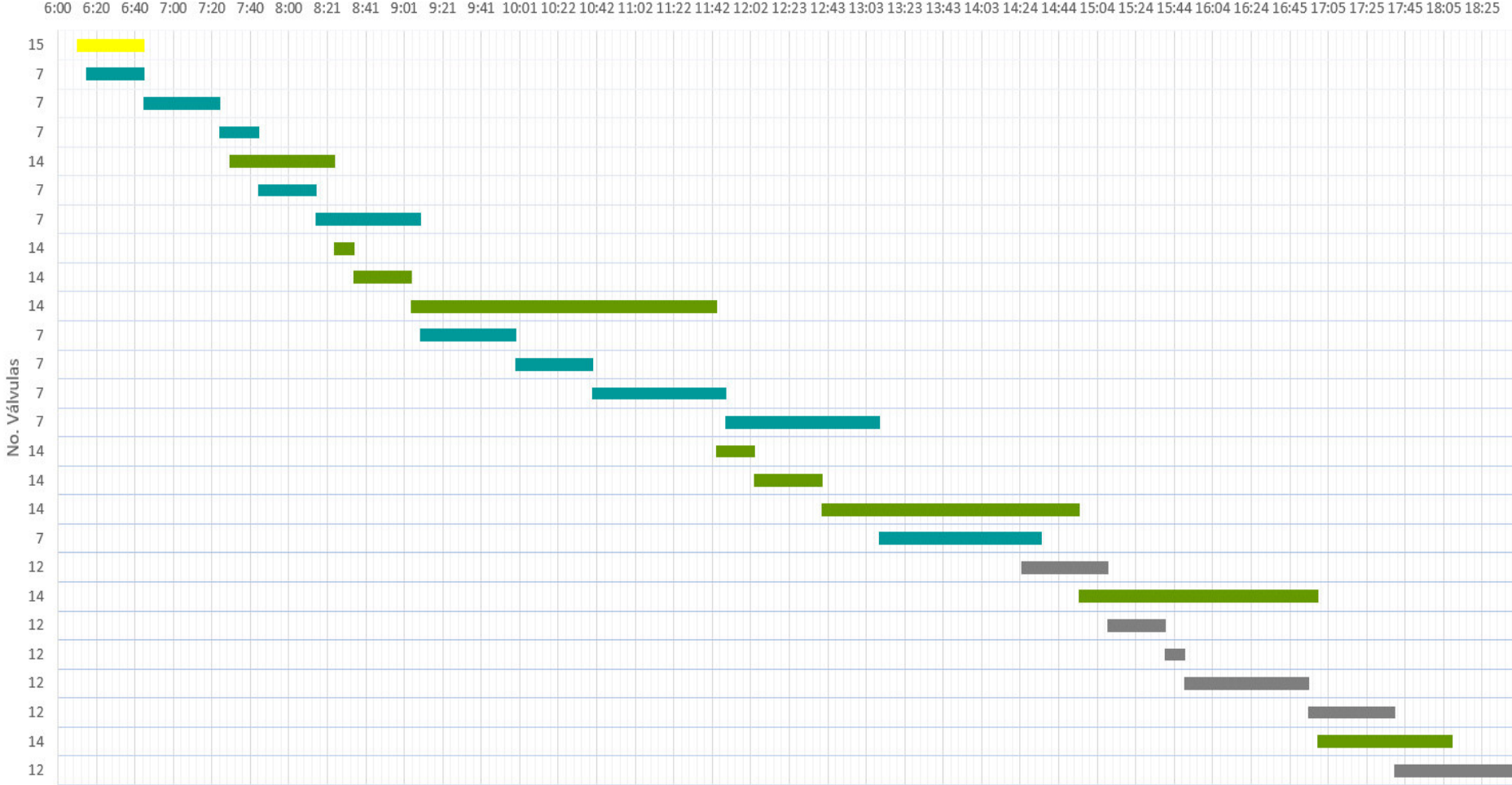
Válvula 5 █ Válvula 7 █
 Válvula 6 █ Válvula 15 █



Horario de Riego - Viernes

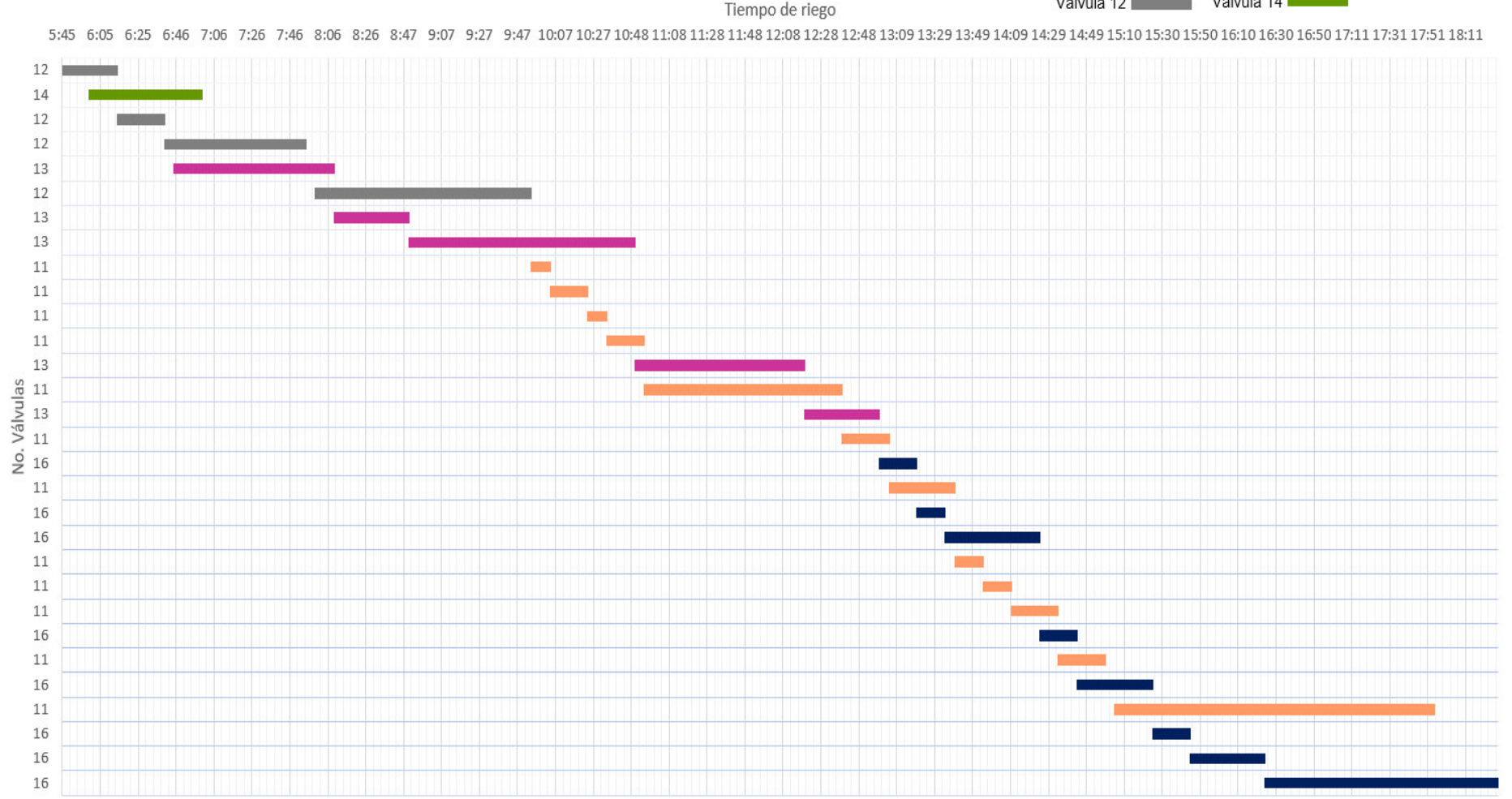
Tiempo de riego

Válvula 7 █ Válvula 14 █
 Válvula 12 █ Válvula 15 █



Horario de Riego - Sábado

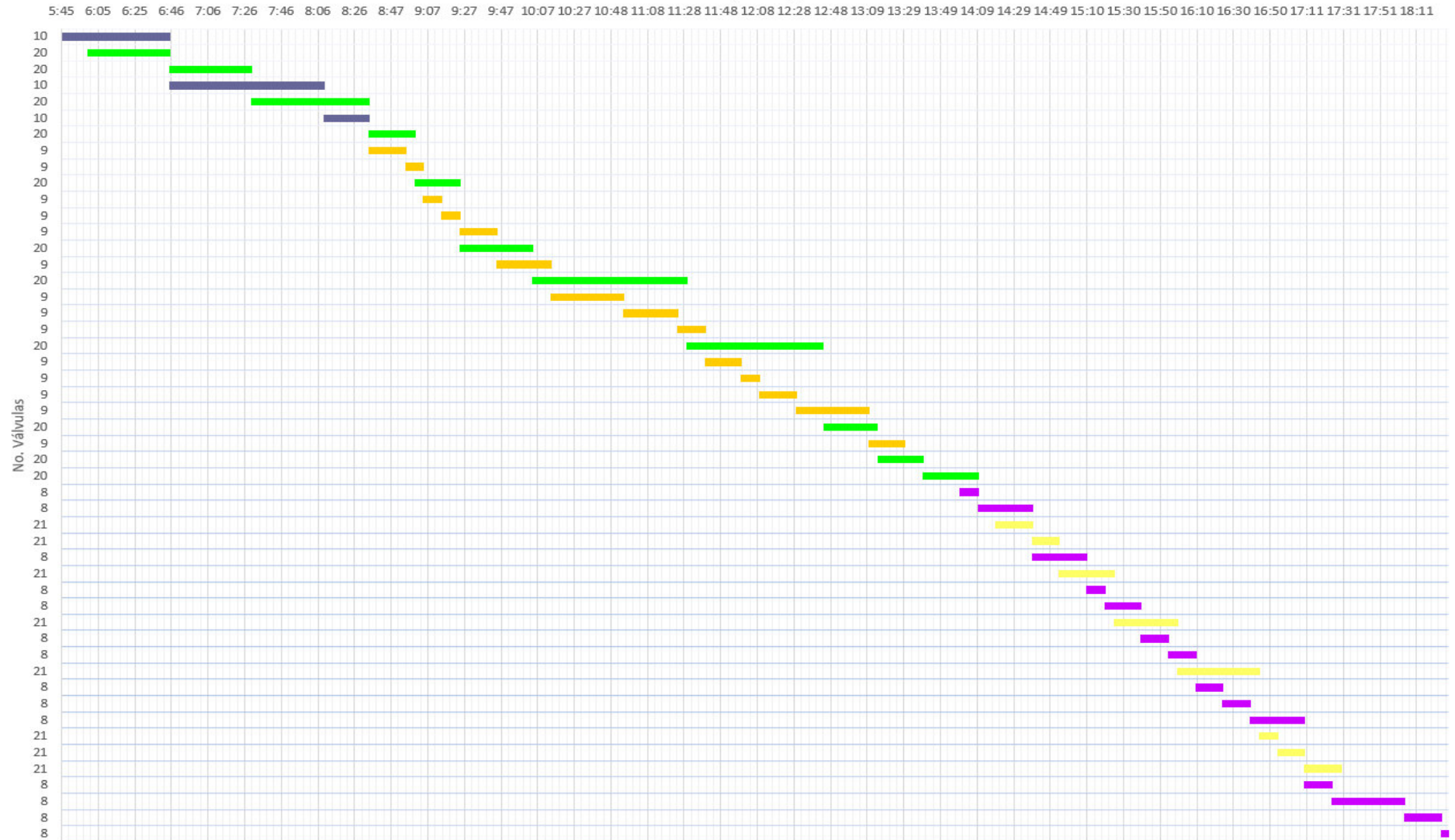
Válvula 11 ■ Válvula 13 ■ Válvula 16 ■
 Válvula 12 ■ Válvula 14 ■



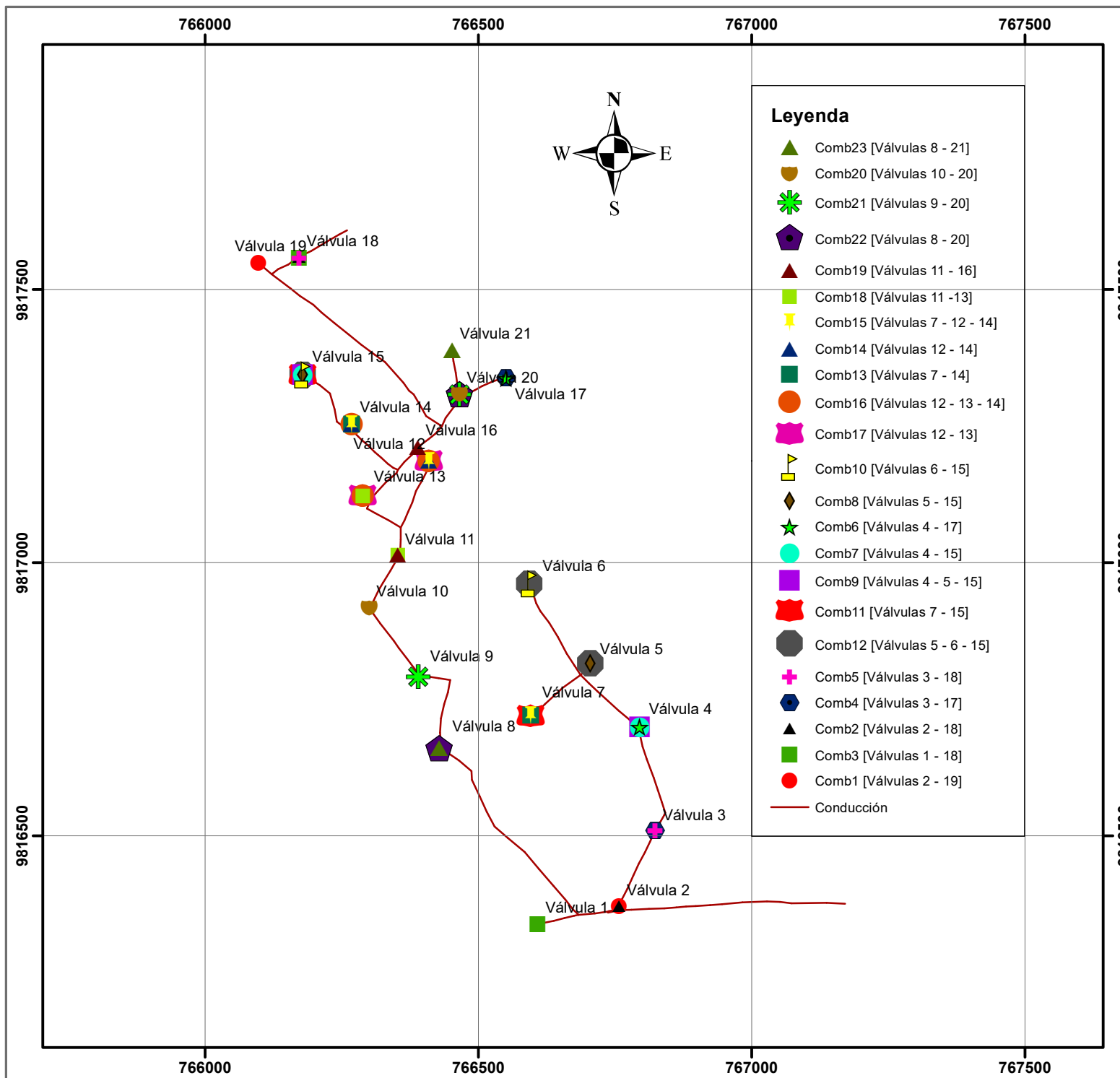
Horario de Riego - Domingo

Válvula 8 ■ Válvula 10 ■ Válvula 21 ■

Tiempo de riego

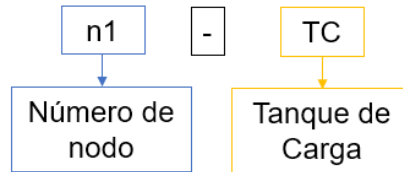


ANEXO IV. Combinaciones de válvulas

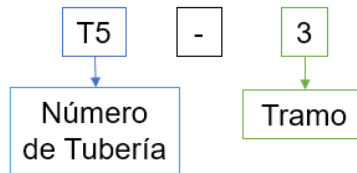


ANEXO V. Nombres de componentes en EPANET

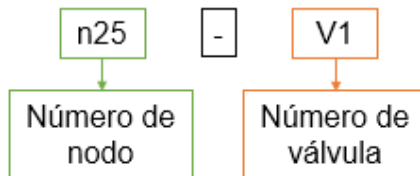
- Tanque de Carga:



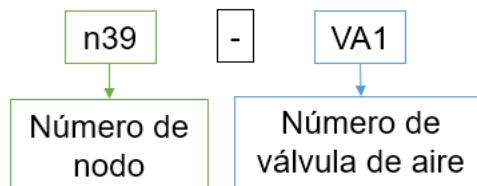
- Tuberías:



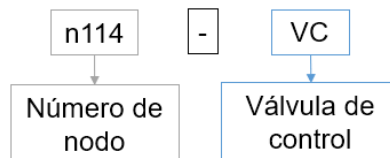
- Válvulas de distribución:



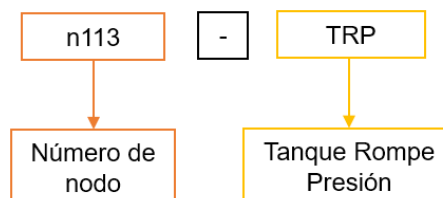
- Válvula de Aire existentes:



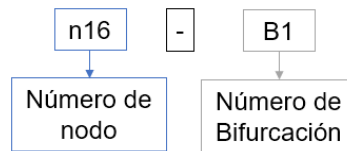
- Válvula de Control:



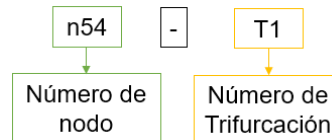
- Tanque Rompe Presión:



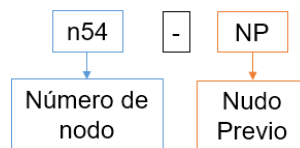
- Bifurcación:



- Trifurcación:

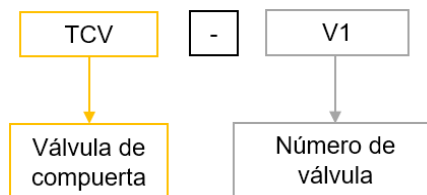


- Nudo previo:

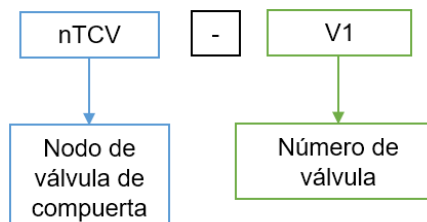


Nota: El nudo previo se refiere al nudo que se encuentra en la red principal de riego y antes de una válvula de distribución.

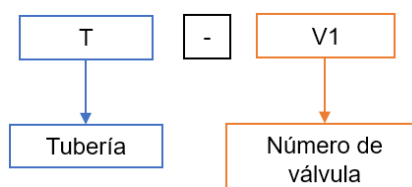
- Válvula de regulación:



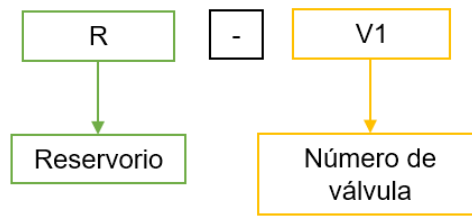
- Nodo de la válvula de regulación:



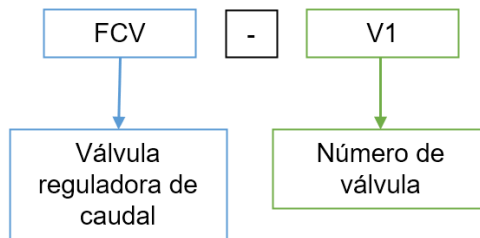
- Tubería junto a la válvula de regulación:



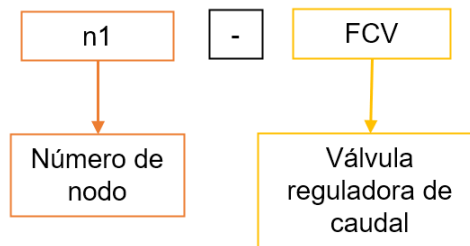
- Reservorio junto a la válvula de regulación:



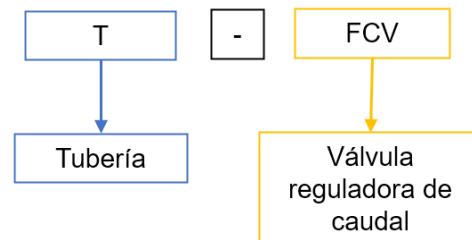
- Válvula limitadora de caudal



- Nodo de la válvula limitadora de caudal



- Tubería de la válvula limitadora de caudal



ANEXO VI. Comprobación de Presión Nominal con Carga Estática y Dinámica

Presión Nominal		0.63	[Mpa]	64.24	[mca]						
Tramo	Diámetro [mm]	Tubería	Nodo-Válvula	Cota [m.s.n.m]	Línea Estática	Carga Estática [mca]	PN > CE	Línea Energía	Carga Dinámica [mca]	PN > CD	Descripción
1	299.6		n1-TC	2770.570	2770.570	0.000	OK	2770.570	0.000	OK	Tanque de carga
		T1-1	n2	2765.784	2770.570	4.786	OK	2770.550	4.766	OK	
		T2-1	n3	2764.561	2770.570	6.009	OK	2770.520	5.959	OK	
		T3-1	n4	2764.097	2770.570	6.473	OK	2770.510	6.413	OK	
		T4-1	n5	2763.688	2770.570	6.882	OK	2770.490	6.802	OK	
		T5-1	n6	2764.081	2770.570	6.489	OK	2770.470	6.389	OK	
		T6-1	n7	2762.633	2770.570	7.937	OK	2770.450	7.817	OK	
		T7-1	n8	2759.015	2770.570	11.555	OK	2770.440	11.425	OK	
		T8-1	n9	2754.713	2770.570	15.857	OK	2770.430	15.717	OK	
		T9-1	n10	2753.258	2770.570	17.312	OK	2770.420	17.162	OK	
		T10-1	n11	2752.351	2770.570	18.219	OK	2770.410	18.059	OK	
		T11-1	n12	2751.292	2770.570	19.278	OK	2770.400	19.108	OK	
		T12-1	n13	2749.565	2770.570	21.005	OK	2770.380	20.815	OK	
		T13-1	n14	2748.121	2770.570	22.449	OK	2770.360	22.239	OK	
		T14-1	n15	2747.470	2770.570	23.100	OK	2770.350	22.880	OK	
		T15-1	n16-B1	2745.603	2770.570	24.967	OK	2770.340	24.737	OK	Bifurcación 1
2	299.6		n17	2745.452	2770.570	25.118	OK	2770.340	24.888	OK	
		T1-2	n18	2745.452	2770.570	25.118	OK	2770.340	24.888	OK	
		T2-2	n19	2746.985	2770.570	23.585	OK	2770.330	23.345	OK	
		T3-2	n20-B2	2746.627	2770.570	23.943	OK	2770.330	23.703	OK	Bifurcación 2
3	104.6		n21	2746.570	2770.570	24.000	OK	2770.330	23.760	OK	
		T1-3	n22	2746.278	2770.570	24.292	OK	2770.330	24.052	OK	
		T2-3	n23	2746.246	2770.570	24.324	OK	2770.320	24.074	OK	
		T3-3	n24	2746.435	2770.570	24.135	OK	2770.320	23.885	OK	
		T4-3	n25-V1	2747.180	2770.570	23.390	OK	2770.310	23.130	OK	Válvula de distrib. 1

Tramo	Diámetro [mm]	Tubería	Nodo-Válvula	Cota [m.s.n.m]	Línea Estática	Carga Estática [mca]	PN > CE	Línea Energía	Carga Dinámica [mca]	PN > CD	Descripción
4	104.6	T1-4	n26	2745.603	2770.570	24.967	OK	2770.300	24.697	OK	
		T2-4	n27-NP	2745.910	2770.570	24.660	OK	2770.030	24.120	OK	Nudo previo
		T3-4	n28-V2	2746.807	2770.570	23.763	OK	2770.020	23.213	OK	Válvula de distrib. 2
5	104.6	T1-5	n30	2746.418	2770.570	24.152	OK	2769.880	23.462	OK	
		T2-5	n31	2745.307	2770.570	25.263	OK	2769.710	24.403	OK	
		T3-5	n32	2744.284	2770.570	26.286	OK	2769.490	25.206	OK	
		T4-5	n33	2743.851	2770.570	26.719	OK	2769.300	25.449	OK	
		T5-5	n34	2744.886	2770.570	25.684	OK	2769.110	24.224	OK	
		T6-5	n35	2746.718	2770.570	23.852	OK	2768.940	22.222	OK	
		T7-5	n36-NP	2747.694	2770.570	22.876	OK	2768.760	21.066	OK	Nudo previo
	T8-5	n37-V3	2748.394	2770.570	22.176	OK	2768.750	20.356	OK	Válvula de distrib. 3	
6	104.6	T1-6	n38	2749.107	2770.570	21.463	OK	2768.650	19.543	OK	
		T2-6	n39-VA1	2749.307	2770.570	21.263	OK	2768.580	19.273	OK	Válvula de aire 1
		T3-6	n40	2749.320	2770.570	21.250	OK	2768.550	19.230	OK	
		T4-6	n41	2747.410	2770.570	23.160	OK	2768.450	21.040	OK	
		T5-6	n42	2745.804	2770.570	24.766	OK	2768.330	22.526	OK	
		T6-6	n43	2744.498	2770.570	26.072	OK	2768.200	23.702	OK	
		T7-6	n44	2744.249	2770.570	26.321	OK	2768.120	23.871	OK	
		T8-6	n45	2743.509	2770.570	27.061	OK	2768.000	24.491	OK	
		T9-6	n46	2743.120	2770.570	27.450	OK	2767.870	24.750	OK	
		T10-6	n47-NP	2742.914	2770.570	27.656	OK	2767.690	24.776	OK	Nudo previo
		T11-6	n48-V4	2742.893	2770.570	27.677	OK	2767.690	24.797	OK	Válvula de distrib. 4
7	104.6	T1-7	n49	2742.502	2770.570	28.068	OK	2767.610	25.108	OK	
		T2-7	n50	2742.005	2770.570	28.565	OK	2767.510	25.505	OK	
		T3-7	n51	2741.203	2770.570	29.367	OK	2767.420	26.217	OK	
		T4-7	n52	2740.808	2770.570	29.762	OK	2767.320	26.512	OK	

Tramo	Diámetro [mm]	Tubería	Nodo-Válvula	Cota [m.s.n.m]	Línea Estática	Carga Estática [mca]	PN > CE	Línea Energía	Carga Dinámica [mca]	PN > CD	Descripción
7	104.6	T5-7	n53	2740.620	2770.570	29.950	OK	2767.240	26.620	OK	
		T6-7	n54-T1	2740.227	2770.570	30.343	OK	2767.160	26.933	OK	Trifurcación 1
8	104.6	T1-8	n55	2740.422	2770.570	30.148	OK	2767.150	26.728	OK	
		T2-8	n56-V5	2740.524	2770.570	30.046	OK	2767.150	26.626	OK	Válvula de distrib. 5
9	104.6	T1-9	n57	2739.421	2770.570	31.149	OK	2767.140	27.719	OK	
		T2-9	n58	2739.019	2770.570	31.551	OK	2767.110	28.091	OK	
		T3-9	n59	2738.545	2770.570	32.025	OK	2767.090	28.545	OK	
		T4-9	n60-V7	2738.619	2770.570	31.951	OK	2767.090	28.471	OK	Válvula de distrib. 7
10	104.6	T1-10	n61	2739.167	2770.570	31.403	OK	2767.150	27.983	OK	
		T2-10	n62	2736.435	2770.570	34.135	OK	2767.130	30.695	OK	
		T3-10	n63	2733.558	2770.570	37.012	OK	2767.110	33.552	OK	
		T4-10	n64	2732.687	2770.570	37.883	OK	2767.090	34.403	OK	
		T5-10	n65	2733.478	2770.570	37.092	OK	2767.080	33.602	OK	
		T6-10	n66	2734.780	2770.570	35.790	OK	2767.070	32.290	OK	
		T7-10	n67	2737.500	2770.570	33.070	OK	2767.060	29.560	OK	
		T8-10	n68	2739.473	2770.570	31.097	OK	2767.050	27.577	OK	
		T9-10	n69-V6	2739.516	2770.570	31.054	OK	2767.040	27.524	OK	Válvula de distrib. 6
11	299.6	T1-11	n70	2745.140	2770.570	25.430	OK	2770.320	25.180	OK	
		T2-11	n71	2743.108	2770.570	27.462	OK	2770.320	27.212	OK	
		T3-11	n72	2741.410	2770.570	29.160	OK	2770.310	28.900	OK	
		T4-11	n73	2740.219	2770.570	30.351	OK	2770.300	30.081	OK	
		T5-11	n74	2739.507	2770.570	31.063	OK	2770.300	30.793	OK	
		T6-11	n75	2739.189	2770.570	31.381	OK	2770.290	31.101	OK	
		T7-11	n76	2739.174	2770.570	31.396	OK	2770.280	31.106	OK	
		T8-11	n77	2738.362	2770.570	32.208	OK	2770.270	31.908	OK	
		T9-11	n78	2738.363	2770.570	32.207	OK	2770.270	31.907	OK	

Tramo	Diámetro [mm]	Tubería	Nodo-Válvula	Cota [m.s.n.m]	Línea Estática	Carga Estática [mca]	PN > CE	Línea Energía	Carga Dinámica [mca]	PN > CD	Descripción
11	299.6	T10-11	n79	2738.463	2770.570	32.107	OK	2770.260	31.797	OK	
		T11-11	n80	2738.823	2770.570	31.747	OK	2770.260	31.437	OK	
		T12-11	n81	2736.965	2770.570	33.605	OK	2770.250	33.285	OK	
		T13-11	n82	2735.599	2770.570	34.971	OK	2770.250	34.651	OK	
		T14-11	n83-NP	2735.634	2770.570	34.936	OK	2770.240	34.606	OK	Nudo previo
	104.6	T15-11	n84-V8	2735.222	2770.570	35.348	OK	2770.240	35.018	OK	Válvula de distrib. 8
12	299.6	T1-12	n85	2735.143	2770.570	35.427	OK	2770.240	35.097	OK	
		T2-12	n86	2735.106	2770.570	35.464	OK	2770.230	35.124	OK	
		T3-12	n87	2734.965	2770.570	35.605	OK	2770.230	35.265	OK	
		T4-12	n88	2734.934	2770.570	35.636	OK	2770.220	35.286	OK	
		T5-12	n89	2734.661	2770.570	35.909	OK	2770.220	35.559	OK	
		T6-12	n90	2734.224	2770.570	36.346	OK	2770.220	35.996	OK	
		T7-12	n91	2734.220	2770.570	36.350	OK	2770.210	35.990	OK	
	T8-12	n92-NP	2734.133	2770.570	36.437	OK	2770.210	36.077	OK	Nudo previo	
104.6	T9-12	n93-V9	2734.334	2770.570	36.236	OK	2770.210	35.876	OK	Válvula de distrib. 9	
13	299.6	T1-13	n94	2734.151	2770.570	36.419	OK	2770.210	36.059	OK	
		T2-13	n95	2734.440	2770.570	36.130	OK	2770.200	35.760	OK	
		T3-13	n96	2734.529	2770.570	36.041	OK	2770.200	35.671	OK	
		T4-13	n97	2734.792	2770.570	35.778	OK	2770.200	35.408	OK	
		T5-13	n98-VA2	2734.095	2770.570	36.475	OK	2770.190	36.095	OK	Válvula de aire 2
		T6-13	n99	2734.291	2770.570	36.279	OK	2770.190	35.899	OK	
		T7-13	n100	2733.990	2770.570	36.580	OK	2770.190	36.200	OK	
	T8-13	n101-NP	2734.042	2770.570	36.528	OK	2770.180	36.138	OK	nudo previo	
104.6	T9-13	n102-V10	2734.031	2770.570	36.539	OK	2770.180	36.149	OK	Válvula de distrib. 10	
14	299.6	T1-14	n103	2733.488	2770.570	37.082	OK	2770.180	36.692	OK	
		T2-14	n104	2733.361	2770.570	37.209	OK	2770.180	36.819	OK	

Tramo	Diámetro [mm]	Tubería	Nodo-Válvula	Cota [m.s.n.m]	Línea Estática	Carga Estática [mca]	PN > CE	Línea Energía	Carga Dinámica [mca]	PN > CD	Descripción
14	299.6	T3-14	n105	2733.123	2770.570	37.447	OK	2770.180	37.057	OK	
		T4-14	n106	2733.861	2770.570	36.709	OK	2770.170	36.309	OK	
		T5-14	n107	2734.248	2770.570	36.322	OK	2770.170	35.922	OK	
		T6-14	n108-VA3	2734.581	2770.570	35.989	OK	2770.170	35.589	OK	Válvula de aire 3
		T7-14	n109-NP	2734.018	2770.570	36.552	OK	2770.170	36.152	OK	Nudo previo
	104.6	T8-14	n110-V11	2734.367	2770.570	36.203	OK	2770.170	35.803	OK	Válvula de distrib. 11
15	299.6	T1-15	n111	2733.420	2770.570	37.150	OK	2770.170	36.750	OK	
		T2-15	n112	2733.835	2770.570	36.735	OK	2770.160	36.325	OK	
16	104.6	T1-16	n114-VC	2733.557	2770.570	37.013	OK	2770.160	36.603	OK	Válvula de control
		T2-16	n115	2730.970	2770.570	39.600	OK	2770.150	39.180	OK	
		T3-16	n116	2725.791	2770.570	44.779	OK	2770.140	44.349	OK	
		T4-16	n117	2724.456	2770.570	46.114	OK	2770.120	45.664	OK	
		T5-16	n118	2725.679	2770.570	44.891	OK	2770.110	44.431	OK	
		T6-16	n119	2728.462	2770.570	42.108	OK	2770.090	41.628	OK	
		T7-16	n120-VA4	2731.127	2770.570	39.443	OK	2770.070	38.943	OK	Válvula de aire 4
		T8-16	n121-V12	2731.014	2770.570	39.556	OK	2770.060	39.046	OK	Válvula de distrib. 12
15	299.6	T3-15	n113-TRP2	2734.581	2734.581	0.000	OK	2770.160	35.579	OK	Tanque Rompe pres.
17	237.8	T1-17	n122	2733.651	2734.581	0.930	OK	2734.580	0.929	OK	
		T2-17	n123	2732.050	2734.581	2.531	OK	2734.570	2.520	OK	
		T3-17	n124	2729.707	2734.581	4.874	OK	2734.570	4.863	OK	
		T4-17	n125	2727.799	2734.581	6.782	OK	2734.560	6.761	OK	
		T5-17	n126-NP	2727.051	2734.581	7.530	OK	2734.560	7.509	OK	Nudo previo
	104.6	T6-17	n127	2726.022	2734.581	8.559	OK	2734.560	8.538	OK	
		T7-17	n128-V13	2726.030	2734.581	8.551	OK	2734.560	8.530	OK	Válvula de distrib. 13
18	237.8	T1-18	n129	2726.560	2734.581	8.021	OK	2734.550	7.990	OK	
		T2-18	n130	2726.528	2734.581	8.053	OK	2734.550	8.022	OK	

Tramo	Diámetro [mm]	Tubería	Nodo-Válvula	Cota [m.s.n.m]	Línea Estática	Carga Estática [mca]	PN > CE	Línea Energía	Carga Dinámica [mca]	PN > CD	Descripción
18	237.8	T3-18	n131	2727.089	2734.581	7.492	OK	2734.540	7.451	OK	
		T4-18	n132-B3	2727.126	2734.581	7.455	OK	2734.540	7.414	OK	Bifurcación 3
19	104.6	T1-19	n133	2726.577	2734.581	8.004	OK	2734.510	7.933	OK	
		T2-19	n134	2723.925	2734.581	10.656	OK	2734.480	10.555	OK	
		T3-19	n135	2719.957	2734.581	14.624	OK	2734.440	14.483	OK	
		T4-19	n136	2719.250	2734.581	15.331	OK	2734.420	15.170	OK	
		T5-19	n137	2716.590	2734.581	17.991	OK	2734.400	17.810	OK	
		T6-19	n138	2715.413	2734.581	19.168	OK	2734.360	18.947	OK	
		T7-19	n139	2714.554	2734.581	20.027	OK	2734.310	19.756	OK	
		T8-19	n140	2715.810	2734.581	18.771	OK	2734.250	18.440	OK	
		T9-19	n141-NP	2715.912	2734.581	18.669	OK	2734.230	18.318	OK	Nudo previo
		T10-19	n142-V14	2717.440	2734.581	17.141	OK	2734.220	16.780	OK	Válvula de distrib. 14
20	104.6	T1-20	n143	2715.657	2734.581	18.924	OK	2734.200	18.543	OK	
		T2-20	n144	2714.536	2734.581	20.045	OK	2734.170	19.634	OK	
		T3-20	n145	2713.303	2734.581	21.278	OK	2734.140	20.837	OK	
		T4-20	n146	2710.666	2734.581	23.915	OK	2734.110	23.444	OK	
		T5-20	n147-V15	2710.766	2734.581	23.815	OK	2734.070	23.304	OK	Válvula de distrib. 15
21	237.8	T1-21	n148	2726.200	2734.581	8.381	OK	2734.540	8.340	OK	
		T2-21	n149	2726.887	2734.581	7.694	OK	2734.540	7.653	OK	
		T3-21	n150-NP	2726.640	2734.581	7.941	OK	2734.530	7.890	OK	Nudo previo
	104.6	T4-21	n151-V16	2726.437	2734.581	8.144	OK	2734.530	8.093	OK	Válvula de distrib. 16
22	104.6	T1-22	n152	2726.295	2734.581	8.286	OK	2734.530	8.235	OK	
		T2-22	n153	2725.805	2734.581	8.776	OK	2734.530	8.725	OK	
		T3-22	n154-B4	2726.142	2734.581	8.439	OK	2734.530	8.388	OK	Bifurcación 4
23	104.6	T1-23	n155	2724.917	2734.581	9.664	OK	2734.530	9.613	OK	
		T2-23	n156	2724.820	2734.581	9.761	OK	2734.530	9.710	OK	

Tramo	Diámetro [mm]	Tubería	Nodo-Válvula	Cota [m.s.n.m]	Línea Estática	Carga Estática [mca]	PN > CE	Línea Energía	Carga Dinámica [mca]	PN > CD	Descripción
23	104.6	T3-23	n157-B5	2722.419	2734.581	12.162	OK	2734.530	12.111	OK	Bifurcación 5
24	104.6	T1-24	n158	2720.001	2734.581	14.580	OK	2734.530	14.529	OK	
		T2-24	n159	2719.057	2734.581	15.524	OK	2734.530	15.473	OK	
		T3-24	n160	2717.569	2734.581	17.012	OK	2734.530	16.961	OK	
		T4-24	n161	2715.015	2734.581	19.566	OK	2734.530	19.515	OK	
	104.6	T5-24	n162-V17	2715.315	2734.581	19.266	OK	2734.530	19.215	OK	Válvula de distrib. 17
25	104.6	T1-25	n163-NP	2721.360	2734.581	13.221	OK	2734.530	13.170	OK	Nudo previo
		T2-25	n164-V20	2721.437	2734.581	13.144	OK	2734.530	13.093	OK	Válvula de distrib. 20
26	104.6	T1-26	n165	2719.689	2734.581	14.892	OK	2734.530	14.841	OK	
		T2-26	n166	2717.236	2734.581	17.345	OK	2734.530	17.294	OK	
		T3-26	n167	2714.462	2734.581	20.119	OK	2734.530	20.068	OK	
		T4-26	n168-V21	2712.977	2734.581	21.604	OK	2734.520	21.543	OK	Válvula de distrib. 21
27	104.6	T1-27	n169	2721.293	2734.581	13.288	OK	2734.500	13.207	OK	
		T2-27	n170	2719.176	2734.581	15.405	OK	2734.480	15.304	OK	
		T3-27	n171	2717.985	2734.581	16.596	OK	2734.460	16.475	OK	
		T4-27	n172	2716.321	2734.581	18.260	OK	2734.450	18.129	OK	
		T5-27	n173	2714.269	2734.581	20.312	OK	2734.430	20.161	OK	
		T6-27	n174	2704.865	2734.581	29.716	OK	2734.390	29.525	OK	
		T7-27	n175	2699.817	2734.581	34.764	OK	2734.370	34.553	OK	
		T8-27	n176	2696.744	2734.581	37.837	OK	2734.340	37.596	OK	
		T9-27	n177	2694.727	2734.581	39.854	OK	2734.320	39.593	OK	
		T10-27	n178	2693.695	2734.581	40.886	OK	2734.290	40.595	OK	
		T11-27	n179	2693.814	2734.581	40.767	OK	2734.260	40.446	OK	
		T12-27	n180	2694.783	2734.581	39.798	OK	2734.240	39.457	OK	
		T13-27	n181	2698.844	2734.581	35.737	OK	2734.220	35.376	OK	
		T14-27	n182	2704.450	2734.581	30.131	OK	2734.200	29.750	OK	

Tramo	Diámetro [mm]	Tubería	Nodo-Válvula	Cota [m.s.n.m]	Línea Estática	Carga Estática [mca]	PN > CE	Línea Energía	Carga Dinámica [mca]	PN > CD	Descripción
27	104.6	T15-27	n183-B6	2708.391	2734.581	26.190	OK	2734.160	25.769	OK	Bifurcación 6
28	104.6	T1-28	n184	2714.534	2734.581	20.047	OK	2734.160	19.626	OK	
		T2-28	n185-V19	2714.850	2734.581	19.731	OK	2734.160	19.310	OK	Válvula de distrib. 19
29	104.6	T1-29	n186	2709.180	2734.581	25.401	OK	2734.150	24.970	OK	
		T2-29	n187	2708.253	2734.581	26.328	OK	2734.140	25.887	OK	
		T3-29	n188-NP	2708.295	2734.581	26.286	OK	2734.130	25.835	OK	Nudo previo
		T4-29	n189-V18	2708.320	2734.581	26.261	OK	2734.130	25.810	OK	Válvula de distrib. 18
30	104.6	T1-30	n190	2706.453	2734.581	28.128	OK	2734.130	27.677	OK	
		T2-30	n191	2705.582	2734.581	28.999	OK	2734.130	28.548	OK	
		T3-30	n192	2704.361	2734.581	30.220	OK	2734.130	29.769	OK	
		T4-30	n193-V22	2704.381	2734.581	30.200	OK	2734.130	29.749	OK	Válvula de distrib. 22

ANEXO VII. PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN

Tubería	Long [m]	Diámetro Int [mm]	Caudal [L/s]	Velocidad [m/s]	Pérdidas de Carga [m/km]	Pérdidas de Carga [m]
Pipe T2-1	64.42	299.6	30	0.43	0.53	0.03
Pipe T3-1	21.18	299.6	30	0.43	0.52	0.01
Pipe T4-1	23.32	299.6	30	0.43	0.54	0.01
Pipe T5-1	44.68	299.6	30	0.43	0.53	0.02
Pipe T6-1	37.73	299.6	30	0.43	0.52	0.02
Pipe T7-1	22.16	299.6	30	0.43	0.54	0.01
Pipe T8-1	27.12	299.6	30	0.43	0.53	0.01
Pipe T9-1	17.3	299.6	30	0.43	0.52	0.01
Pipe T10-1	18.38	299.6	30	0.43	0.53	0.01
Pipe T11-1	21.86	299.6	30	0.43	0.52	0.01
Pipe T12-1	28.39	299.6	30	0.43	0.53	0.02
Pipe T13-1	31.69	299.6	30	0.43	0.53	0.02
Pipe T14-1	22.06	299.6	30	0.43	0.53	0.01
Pipe T15-1	20.98	299.6	30	0.43	0.52	0.01
Pipe T2-2	2.294	299.6	19.07	0.27	0.26	0.00
Pipe T3-2	24.02	299.6	19.07	0.27	0.24	0.01
Pipe T4-2	29.57	299.6	19.07	0.27	0.23	0.01
Pipe T1-11	13.24	299.6	17.89	0.25	0.22	0.00
Pipe T2-11	24.4	299.6	17.89	0.25	0.21	0.01
Pipe T3-11	33.43	299.6	17.89	0.25	0.2	0.01
Pipe T4-11	39.69	299.6	17.89	0.25	0.21	0.01
Pipe T5-11	40.98	299.6	17.89	0.25	0.21	0.01
Pipe T1-4	3.081	104.6	10.93	1.27	13.43	0.04
Pipe T2-4	20.05	104.6	10.93	1.27	13.41	0.27
Pipe T3-4	5.476	104.6	2.71	0.32	1.14	0.01
Pipe T3-5	21.53	104.6	8.22	0.96	8.03	0.17
Pipe T4-5	27.54	104.6	8.22	0.96	8.03	0.22
Pipe T5-5	23.73	104.6	8.22	0.96	8.04	0.19
Pipe T6-5	22.78	104.6	8.22	0.96	8.04	0.18
Pipe T7-5	21.87	104.6	8.22	0.96	8.03	0.18
Pipe T8-5	22.55	104.6	8.22	0.96	8.04	0.18
Pipe T9-5	2.258	104.6	1.71	0.2	0.4	0.00
Pipe T1-6	19.42	104.6	6.51	0.76	5.29	0.10
Pipe T2-6	14.06	104.6	6.51	0.76	5.29	0.07
Pipe T3-6	4.4	104.6	6.51	0.76	5.28	0.02
Pipe T4-6	19.49	104.6	6.51	0.76	5.28	0.10
Pipe T5-6	23.87	104.6	6.51	0.76	5.3	0.13
Pipe T6-6	24.33	104.6	6.51	0.76	5.29	0.13
Pipe T7-6	14.23	104.6	6.51	0.76	5.29	0.08

Tubería	Long [m]	Diámetro [mm]	Caudal [L/s]	Velocidad [m/s]	Pérdidas de Carga [m/km]	Pérdidas de Carga [m]
Pipe T8-6	22.41	104.6	6.51	0.76	5.29	0.12
Pipe T9-6	24.21	104.6	6.51	0.76	5.3	0.13
Pipe T10-6	34.87	104.6	6.51	0.76	5.28	0.18
Pipe T11-6	3.164	104.6	1.2	0.14	0.28	0.00
Pipe T1-7	22.08	104.6	5.31	0.62	3.68	0.08
Pipe T2-7	26.28	104.6	5.31	0.62	3.68	0.10
Pipe T3-7	26.23	104.6	5.31	0.62	3.68	0.10
Pipe T4-7	25.09	104.6	5.31	0.62	3.68	0.09
Pipe T5-7	22.26	104.6	5.31	0.62	3.68	0.08
Pipe T6-7	22.03	104.6	5.31	0.62	3.68	0.08
Pipe T1-8	27.4	104.6	1.55	0.18	0.41	0.01
Pipe T2-8	5.047	104.6	1.55	0.18	0.41	0.00
Pipe T1-9	40.94	104.6	1.85	0.22	0.57	0.02
Pipe T2-9	43.04	104.6	1.85	0.22	0.57	0.02
Pipe T3-9	32.56	104.6	1.85	0.22	0.57	0.02
Pipe T4-9	3.991	104.6	1.85	0.22	0.52	0.00
Pipe T1-10	19.95	104.6	1.91	0.22	0.6	0.01
Pipe T2-10	25.93	104.6	1.91	0.22	0.61	0.02
Pipe T3-10	35.34	104.6	1.91	0.22	0.6	0.02
Pipe T4-10	30.67	104.6	1.91	0.22	0.6	0.02
Pipe T5-10	25.99	104.6	1.91	0.22	0.61	0.02
Pipe T6-10	16.79	104.6	1.91	0.22	0.6	0.01
Pipe T7-10	17.08	104.6	1.91	0.22	0.59	0.01
Pipe T8-10	19.46	104.6	1.91	0.22	0.61	0.01
Pipe T9-10	3.452	104.6	1.91	0.22	0.6	0.00
Pipe T1-3	0.621	104.6	1.18	0.14	0.48	0.00
Pipe T2-3	8.286	104.6	1.18	0.14	0.25	0.00
Pipe T3-3	17.96	104.6	1.18	0.14	0.27	0.00
Pipe T4-3	20.19	104.6	1.18	0.14	0.25	0.01
Pipe T5-3	30.35	104.6	1.18	0.14	0.26	0.01
Pipe T6-11	39.61	299.6	17.89	0.25	0.2	0.01
Pipe T7-11	32.99	299.6	17.89	0.25	0.22	0.01
Pipe T8-11	30.34	299.6	17.89	0.25	0.21	0.01
Pipe T9-11	30.62	299.6	17.89	0.25	0.2	0.01
Pipe T10-11	33.67	299.6	17.89	0.25	0.21	0.01
Pipe T11-11	16.07	299.6	17.89	0.25	0.2	0.00
Pipe T12-11	29.36	299.6	17.89	0.25	0.21	0.01
Pipe T13-11	26.26	299.6	17.89	0.25	0.2	0.01
Pipe T14-11	14.52	299.6	17.89	0.25	0.2	0.00
Pipe T15-11	4.152	104.6	1.02	0.12	0.22	0.00
Pipe T1-12	27.28	299.6	16.87	0.24	0.19	0.01
Pipe T2-12	26.37	299.6	16.87	0.24	0.19	0.01
Pipe T3-12	26.29	299.6	16.87	0.24	0.19	0.00

Tubería	Long [m]	Diámetro [mm]	Caudal [L/s]	Velocidad [m/s]	Pérdidas de Carga [m/km]	Pérdidas de Carga [m]
Pipe T4-12	22.79	299.6	16.87	0.24	0.18	0.00
Pipe T5-12	23.16	299.6	16.87	0.24	0.19	0.00
Pipe T6-12	21.37	299.6	16.87	0.24	0.18	0.00
Pipe T7-12	21.92	299.6	16.87	0.24	0.19	0.00
Pipe T8-12	12.8	299.6	16.87	0.24	0.19	0.00
Pipe T9-12	3.923	104.6	1.07	0.12	0.23	0.00
Pipe T1-13	17.78	299.6	15.8	0.22	0.17	0.00
Pipe T2-13	21.69	299.6	15.8	0.22	0.16	0.00
Pipe T3-13	23.25	299.6	15.8	0.22	0.17	0.00
Pipe T4-13	16.41	299.6	15.8	0.22	0.16	0.00
Pipe T5-13	17.05	299.6	15.8	0.22	0.17	0.00
Pipe T6-13	22.75	299.6	15.8	0.22	0.17	0.00
Pipe T7-13	21.38	299.6	15.8	0.22	0.17	0.00
Pipe T8-13	14.42	299.6	15.8	0.22	0.17	0.00
Pipe T9-13	2.164	104.6	0.67	0.08	0.14	0.00
Pipe T1-14	12.72	299.6	15.13	0.21	0.16	0.00
Pipe T2-14	21.86	299.6	15.13	0.21	0.15	0.00
Pipe T3-14	16.64	299.6	15.13	0.21	0.16	0.00
Pipe T4-14	25.29	299.6	15.13	0.21	0.15	0.00
Pipe T5-14	20.83	299.6	15.13	0.21	0.16	0.00
Pipe T6-14	3.077	299.6	15.13	0.21	0.1	0.00
Pipe T7-14	8.432	299.6	15.13	0.21	0.14	0.00
Pipe T8-14	1.574	104.6	1.86	0.22	0.76	0.00
Pipe T1-15	8.959	299.6	13.27	0.19	0.13	0.00
Pipe T2-15	20.18	299.6	13.27	0.19	0.12	0.00
Pipe T3-15	22.14	299.6	13.27	0.19	0.13	0.00
Pipe T2-16	11.73	104.6	2.11	0.25	0.71	0.01
Pipe T3-16	18.54	104.6	2.11	0.25	0.72	0.01
Pipe T4-16	18.33	104.6	2.11	0.25	0.71	0.01
Pipe T5-16	22.95	104.6	2.11	0.25	0.71	0.02
Pipe T6-16	24.62	104.6	2.11	0.25	0.73	0.02
Pipe T7-16	30.91	104.6	2.11	0.25	0.71	0.02
Pipe T8-16	6.512	104.6	2.11	0.25	0.73	0.00
Pipe T2-17	24.07	237.8	11.16	0.25	0.27	0.01
Pipe T3-17	28.82	237.8	11.16	0.25	0.28	0.01
Pipe T4-17	17.88	237.8	11.16	0.25	0.27	0.00
Pipe T5-17	19.5	237.8	11.16	0.25	0.27	0.01
Pipe T6-17	14.63	104.6	0.81	0.09	0.12	0.00
Pipe T7-17	1.866	104.6	0.81	0.09	0.16	0.00
Pipe T1-18	13.25	237.8	10.35	0.23	0.22	0.00
Pipe T2-18	27.29	237.8	10.35	0.23	0.24	0.01
Pipe T3-18	25.53	237.8	10.35	0.23	0.24	0.01
Pipe T4-18	6.581	237.8	10.35	0.23	0.23	0.00
Pipe T1-21	18.98	237.8	6.02	0.14	0.09	0.00

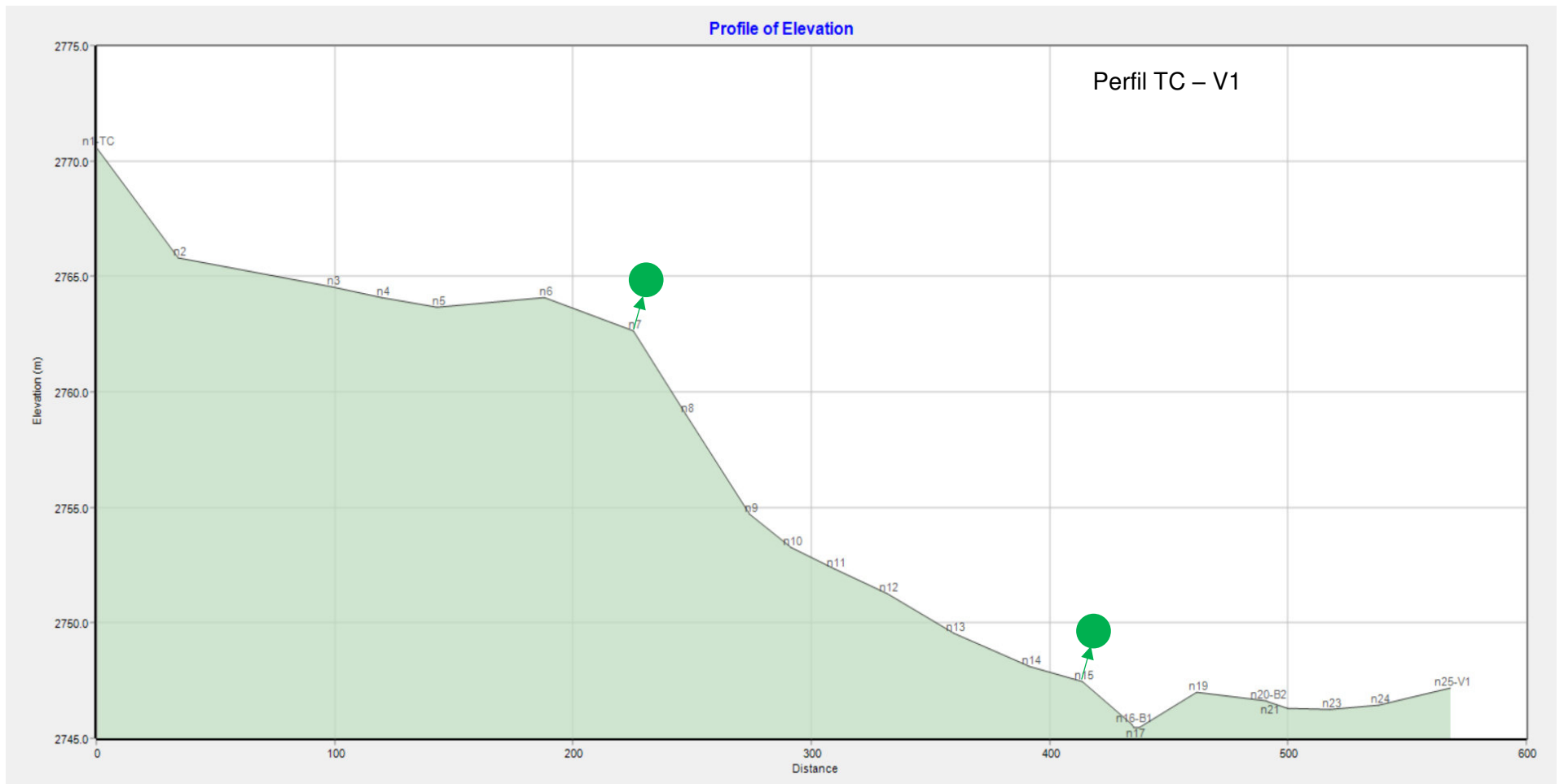
Tubería	Long [m]	Diámetro [mm]	Caudal [L/s]	Velocidad [m/s]	Pérdidas de Carga [m/km]	Pérdidas de Carga [m]
Pipe T2-21	19.52	237.8	6.02	0.14	0.09	0.00
Pipe T3-21	16.92	237.8	6.02	0.14	0.09	0.00
Pipe T4-21	2.72	104.6	0.72	0.08	0.11	0.00
Pipe T1-22	23.67	104.6	5.3	0.62	3.66	0.09
Pipe T2-22	16.46	104.6	5.3	0.62	3.67	0.06
Pipe T3-22	18.51	104.6	5.3	0.62	3.67	0.07
Pipe T1-23	16.12	104.6	2.95	0.34	1.29	0.02
Pipe T2-23	25.76	104.6	2.95	0.34	1.29	0.03
Pipe T3-23	22.18	104.6	2.95	0.34	1.29	0.03
Pipe T1-24	28.69	104.6	1.52	0.18	0.4	0.01
Pipe T2-24	15.5	104.6	1.52	0.18	0.4	0.01
Pipe T3-24	20.98	104.6	1.52	0.18	0.41	0.01
Pipe T4-24	24.45	104.6	1.52	0.18	0.4	0.01
Pipe T5-24	2.512	104.6	1.52	0.18	0.36	0.00
Pipe T1-25	5.767	104.6	1.43	0.17	0.36	0.00
Pipe T2-25	1.254	104.6	1.05	0.12	0.24	0.00
Pipe T1-26	15.15	104.6	0.38	0.04	0.04	0.00
Pipe T2-26	25.24	104.6	0.38	0.04	0.04	0.00
Pipe T3-26	21.16	104.6	0.38	0.04	0.04	0.00
Pipe T4-26	19.6	104.6	0.38	0.04	0.05	0.00
Pipe T1-27	34.45	104.6	2.35	0.27	0.86	0.03
Pipe T2-27	24.9	104.6	2.35	0.27	0.87	0.02
Pipe T3-27	21.23	104.6	2.35	0.27	0.86	0.02
Pipe T4-27	11.18	104.6	2.35	0.27	0.88	0.01
Pipe T5-27	17.83	104.6	2.35	0.27	0.87	0.02
Pipe T6-27	52.06	104.6	2.35	0.27	0.87	0.05
Pipe T7-27	21.83	104.6	2.35	0.27	0.86	0.02
Pipe T8-27	33.22	104.6	2.35	0.27	0.87	0.03
Pipe T9-27	29.59	104.6	2.35	0.27	0.87	0.03
Pipe T10-27	32.37	104.6	2.35	0.27	0.87	0.03
Pipe T11-27	30.18	104.6	2.35	0.27	0.86	0.03
Pipe T12-27	21.37	104.6	2.35	0.27	0.88	0.02
Pipe T13-27	29.79	104.6	2.35	0.27	0.86	0.03
Pipe T14-27	21.8	104.6	2.35	0.27	0.87	0.02
Pipe T15-27	43.77	104.6	2.35	0.27	0.87	0.04
Pipe T1-28	30.91	104.6	0.46	0.05	0.05	0.00
Pipe T1-29	14.97	104.6	1.89	0.22	0.58	0.01
Pipe T2-29	20.07	104.6	1.89	0.22	0.59	0.01
Pipe T3-29	22.93	104.6	1.89	0.22	0.6	0.01
Pipe T4-29	1.724	104.6	1.89	0.22	0.52	0.00
Pipe T1-19	9.362	104.6	4.33	0.5	2.54	0.02
Pipe T2-19	12.56	104.6	4.33	0.5	2.56	0.03
Pipe T3-19	16.92	104.6	4.33	0.5	2.55	0.04
Pipe T4-19	7.616	104.6	4.33	0.5	2.58	0.02

Tubería	Long [m]	Diámetro [mm]	Caudal [L/s]	Velocidad [m/s]	Pérdidas de Carga [m/km]	Pérdidas de Carga [m]
Pipe T5-19	8.224	104.6	4.33	0.5	2.57	0.02
Pipe T6-19	15.41	104.6	4.33	0.5	2.55	0.04
Pipe T7-19	18.18	104.6	4.33	0.5	2.55	0.05
Pipe T8-19	22.96	104.6	4.33	0.5	2.55	0.06
Pipe T9-19	10.37	104.6	4.33	0.5	2.55	0.03
Pipe T10-19	13.56	104.6	1.54	0.18	0.42	0.01
Pipe T1-20	23.57	104.6	2.79	0.32	1.17	0.03
Pipe T2-20	22.92	104.6	2.79	0.32	1.18	0.03
Pipe T3-20	29.67	104.6	2.79	0.32	1.17	0.03
Pipe T4-20	24.72	104.6	2.79	0.32	1.17	0.03
Pipe T5-20	36.84	104.6	2.79	0.32	1.17	0.04
Pipe T1-17	1.354	237.8	11.16	0.25	0.22	0.00
Pipe T1-16	2.616	104.6	2.11	0.25	0.68	0.00
Pipe T1-5	18.73	104.6	8.22	0.96	8.04	0.15
Pipe T1-1	34.33	299.6	30	0.43	0.53	0.02
Valve VRP		237.8	11.16	0.25	35.58	
					TOTAL	5.19

ANEXO VIII. Perfiles de Elevación con válvulas de aire existentes y recomendadas

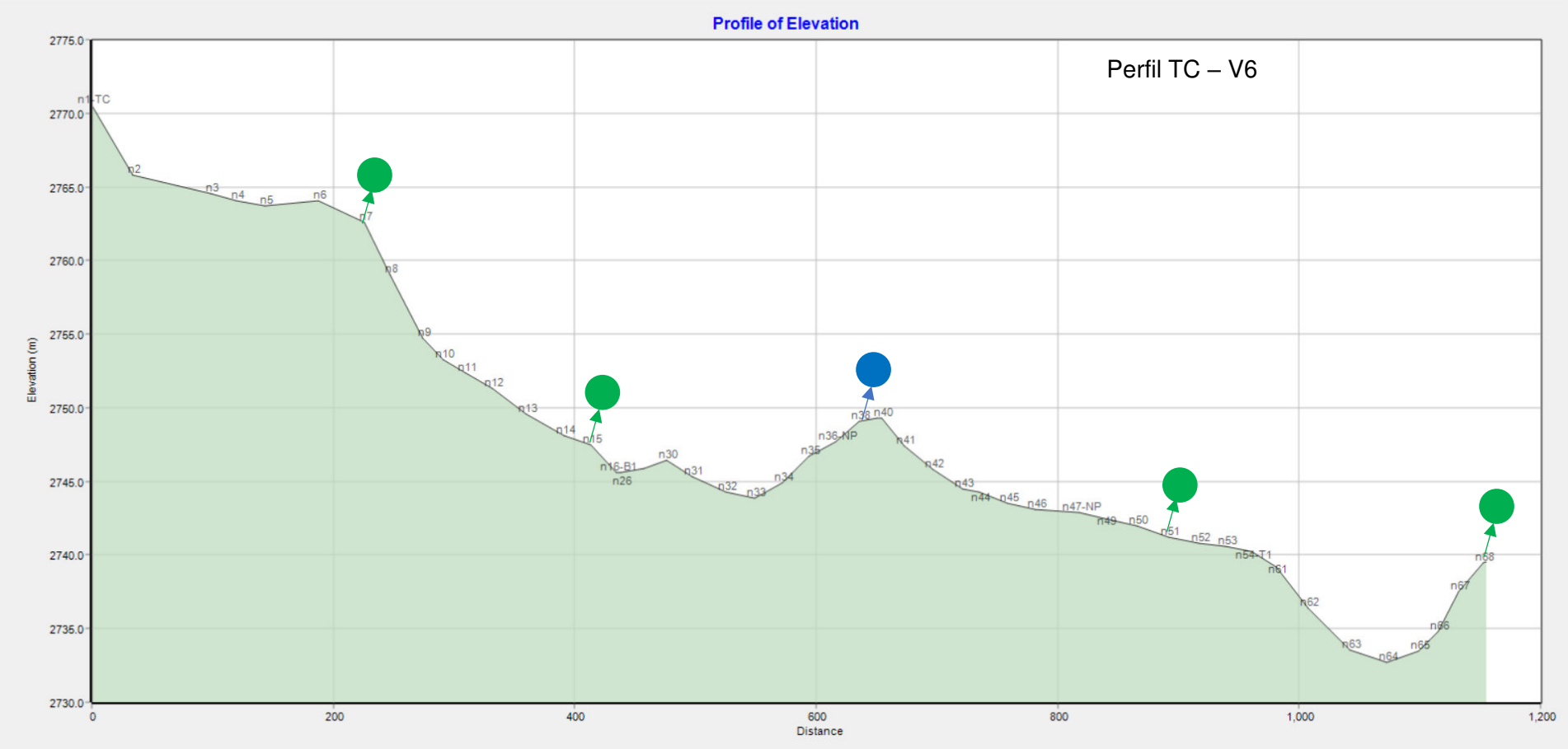
Válvulas Existentes: Azul ●

Válvulas Recomendadas: Verde ●



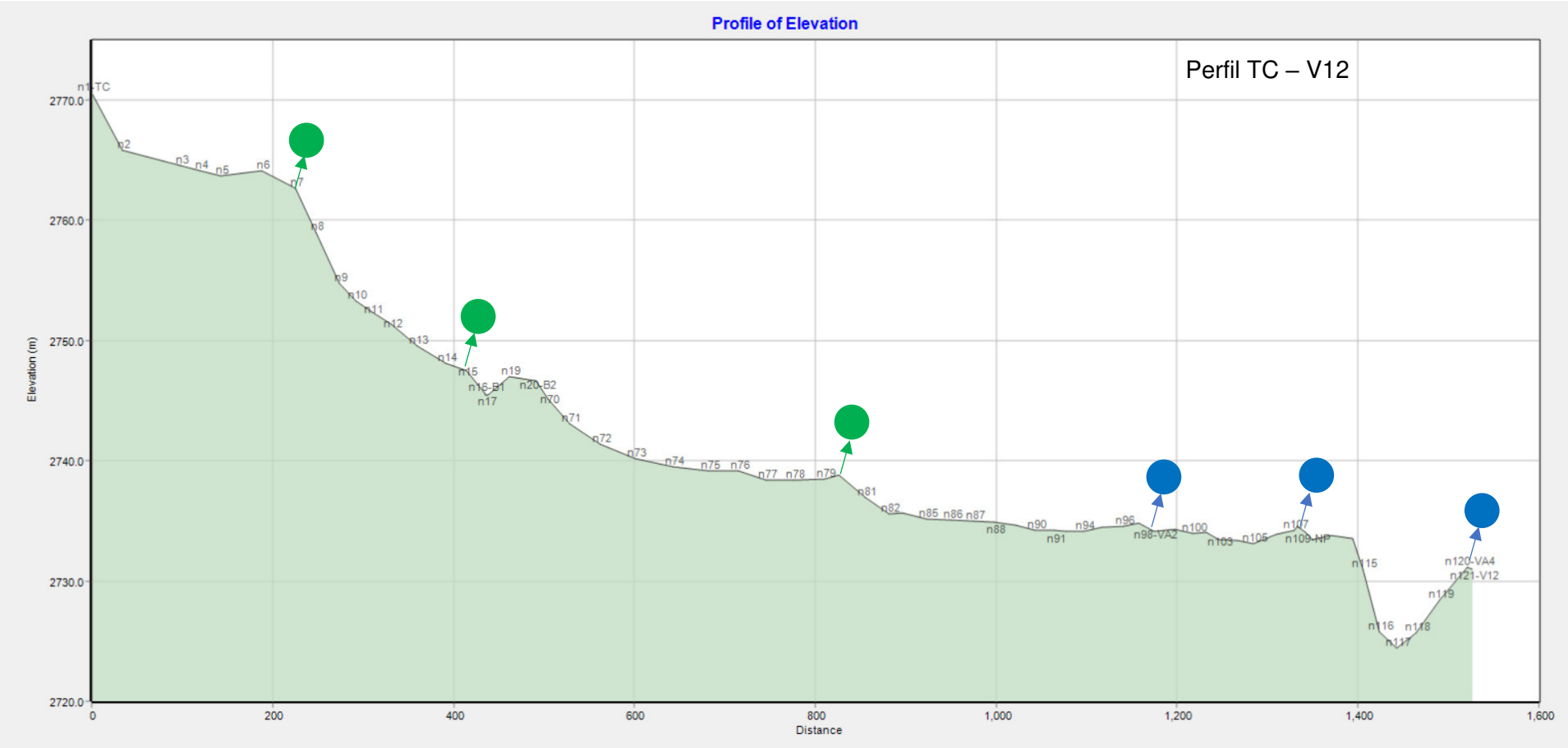
Válvulas Existentes: Azul ●

Válvulas Recomendadas: Verde ●



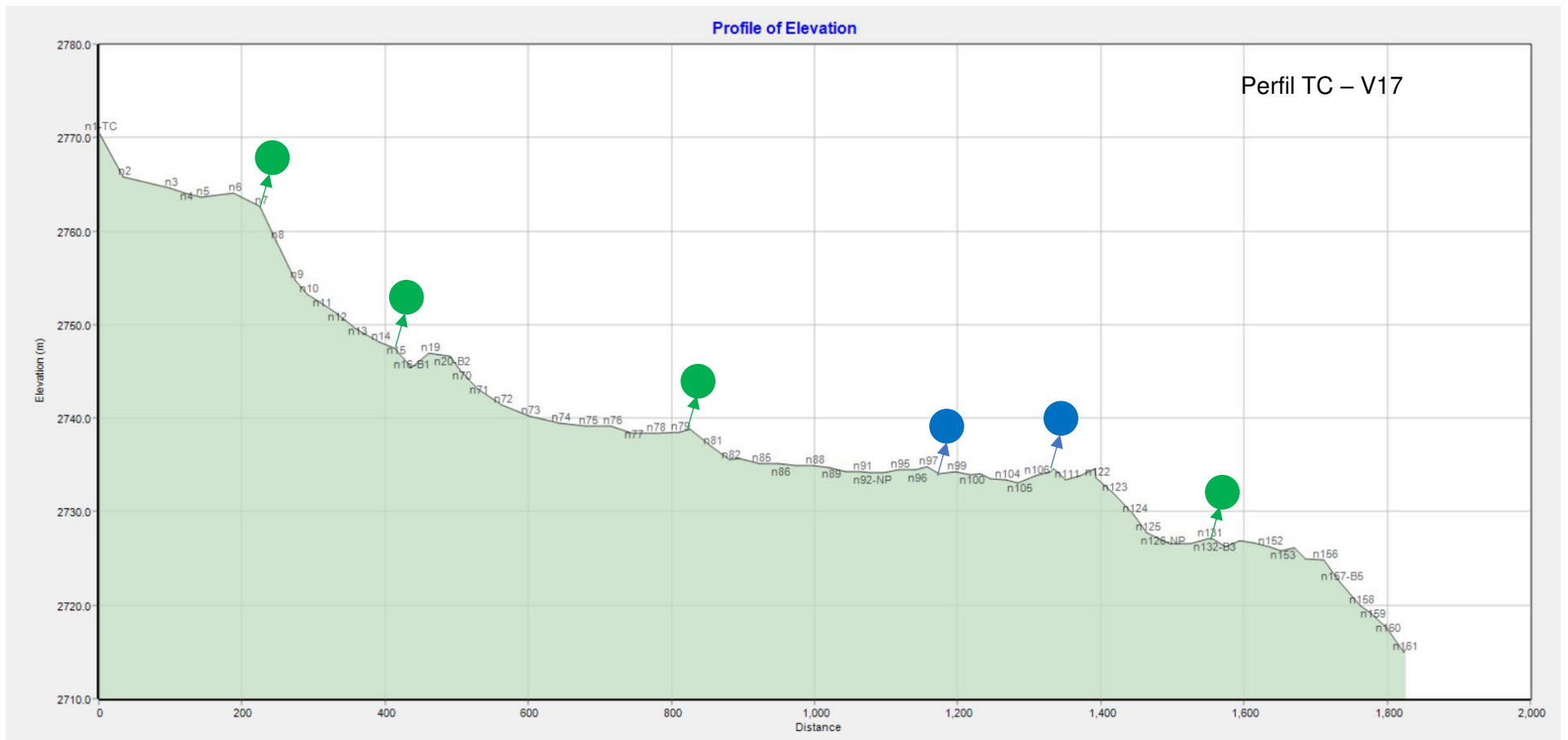
Válvulas Existentes: Azul ●

Válvulas Recomendadas: Verde ●



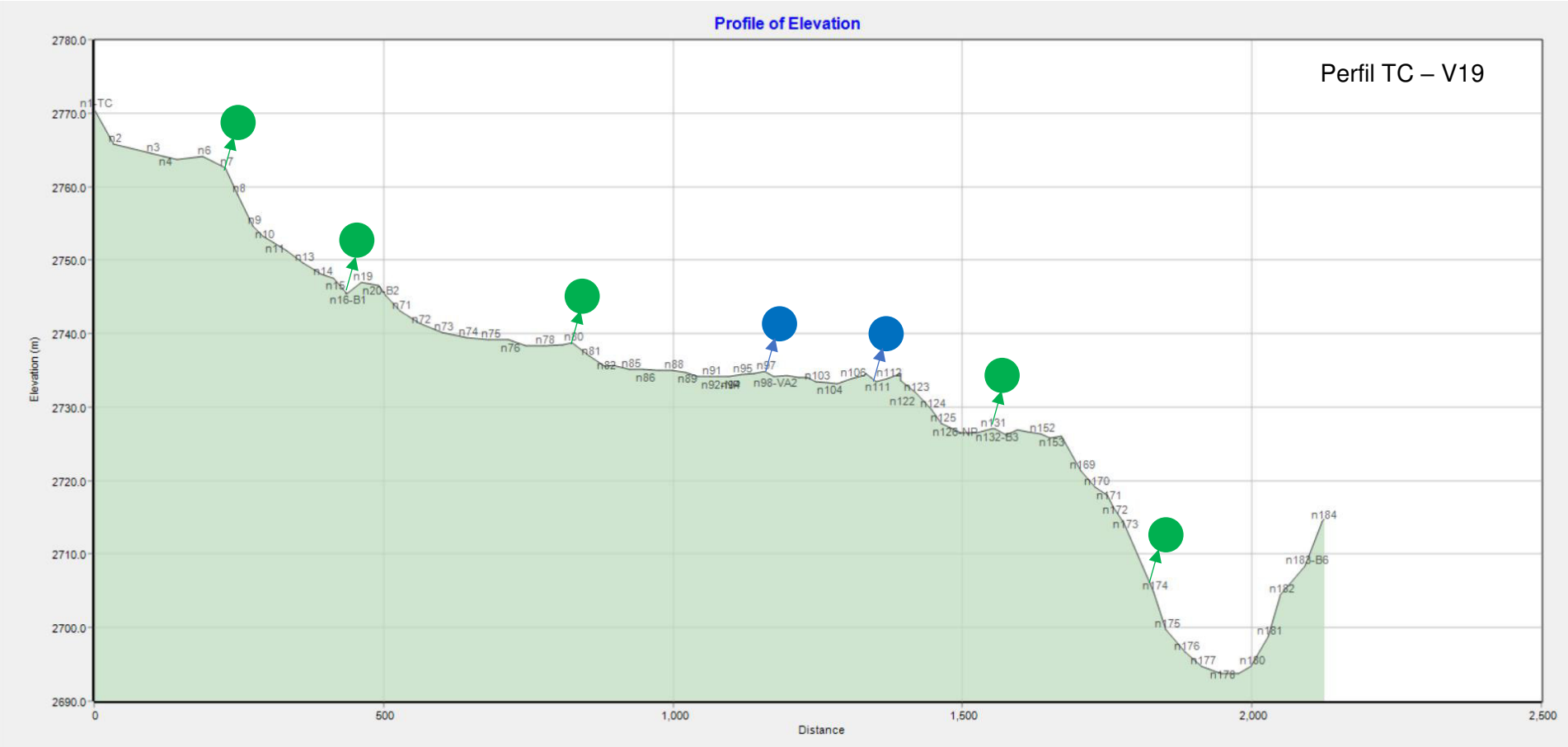
Válvulas Existentes: Azul ●

Válvulas Recomendadas: Verde ●



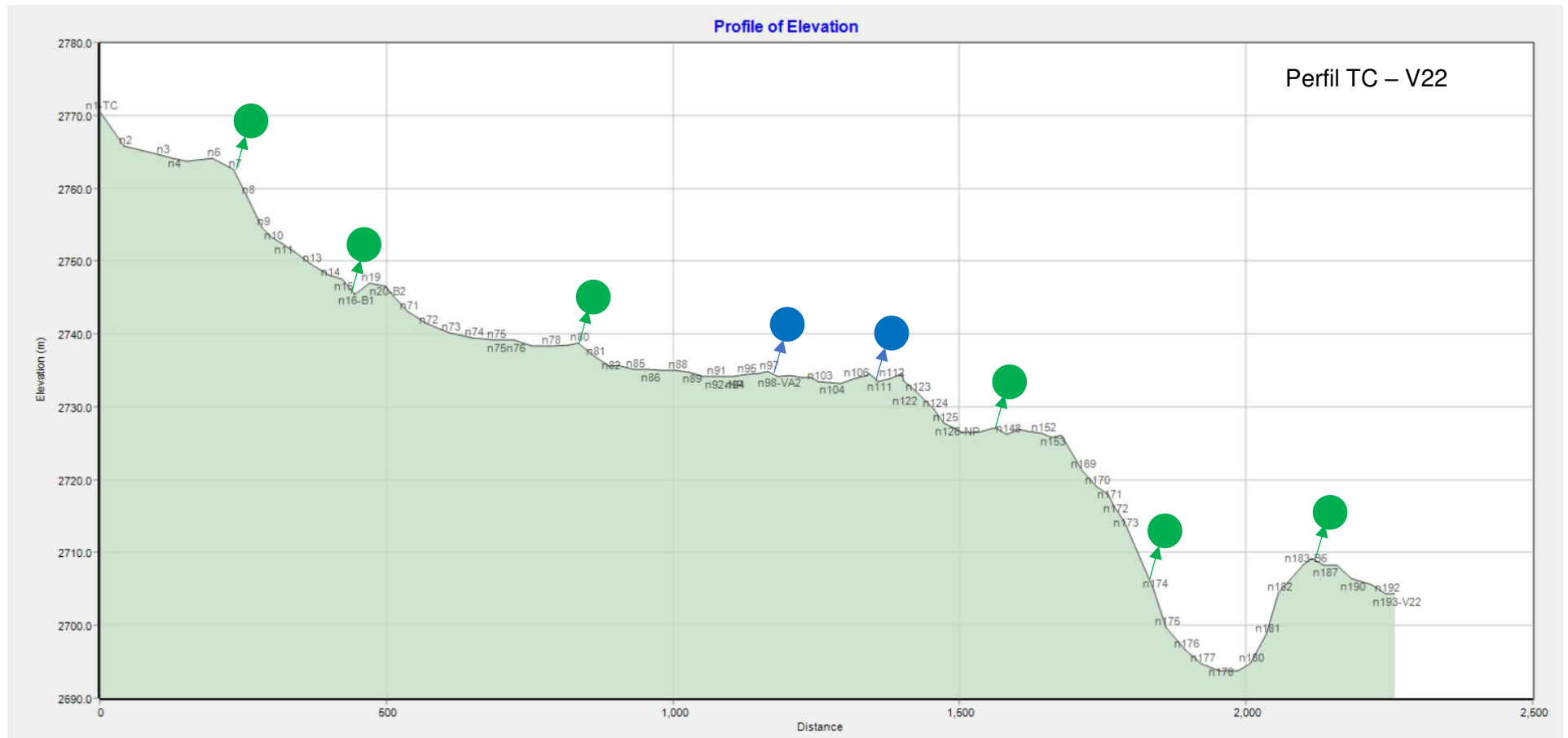
Válvulas Existentes: Azul ●

Válvulas Recomendadas: Verde ●



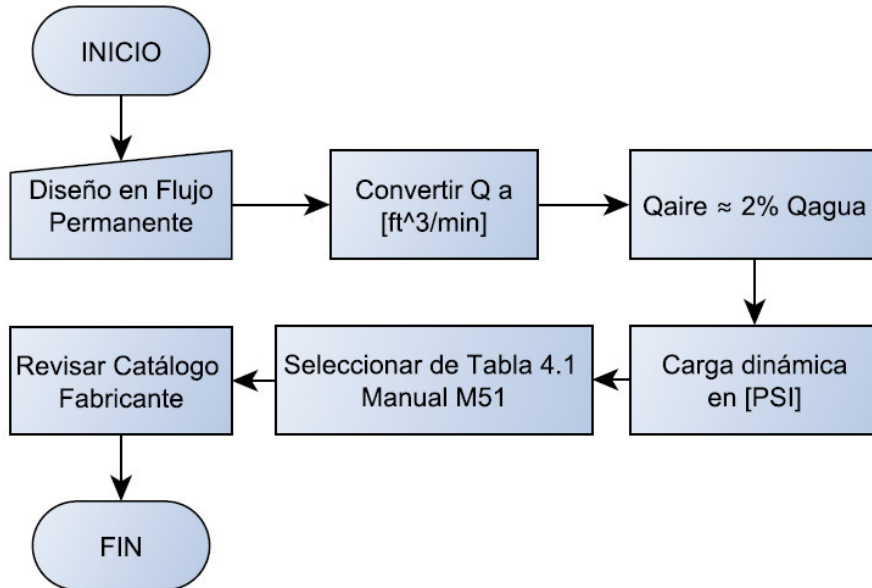
Válvulas Existentes: Azul ●

Válvulas Recomendadas: Verde ●

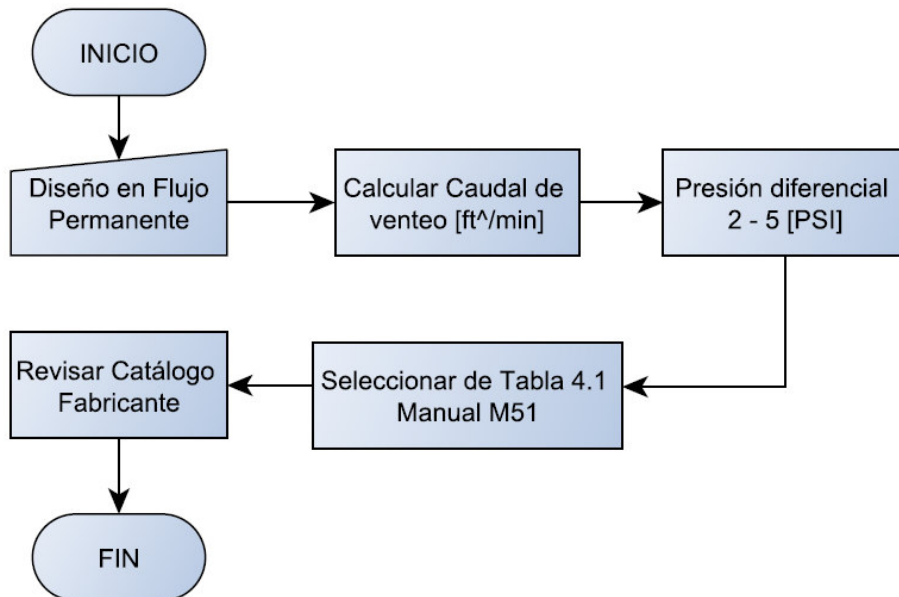


ANEXO IX. Diagramas de flujo para el cálculo de Válvulas de aire

- Válvula Purgadora de aire



- Válvula Cinética para Llenado



ANEXO X. Cálculo de Válvulas Purgadoras y Cinéticas de aire

No. Válvula	1		
Nodo	n7		
Válvula Purgadora de aire			
Carga Dinámica	CD =	7.82	[mca]
Caudal	Q =	30.00	[L/s]
		63.00	[ft ³ /min]
Caudal de aire	Qaire =	1.26	[ft ³ /min]
Carga dinámica	CD =	11.12	[PSI]
Válvula:	1/16"		
Válvula de aire cinética llenado			
Velocidad	v =	0.43	[m/s]
Diámetro	D =	299.60	[mm]
Q venteo	q =	30.31	[L/s]
		480.49	[gpm]
		63.66	[cfm]
Presión Diferencial	$\Delta P =$	2	[PSI]
Caudal	Q =	73.15	[scfm]
Válvula:	1"		

No. Válvula	2		
Nodo	n15		
Válvula Purgadora de aire			
Carga Dinámica	CD =	22.88	[mca]
Caudal	Q =	30.00	[L/s]
		63.00	[ft ³ /min]
Caudal de aire	Qaire =	1.26	[ft ³ /min]
Carga dinámica	CD =	32.54	[PSI]
Válvula:	1/16"		
Válvula de aire cinética llenado			
Velocidad	v =	0.43	[m/s]
Diámetro	D =	299.60	[mm]
Q venteo	q =	30.31	[L/s]
		480.49	[gpm]
		63.66	[cfm]
Presión Diferencial	$\Delta P =$	2	[PSI]
Caudal	Q =	73.15	[scfm]
Válvula:	1"		

No. Válvula	3		
Nodo	n51		
Válvula Purgadora de aire			
Carga Dinámica	CD =	26.51	[mca]
Caudal	Q =	5.31	[L/s]
		11.15	[ft ³ /min]
Caudal de aire	Qaire =	0.22	[ft ³ /min]
Carga dinámica	CD =	37.70	[PSI]
Válvula:	1/16"		
Válvula de aire cinética llenado			
Velocidad	v =	0.62	[m/s]
Diámetro	D =	104.60	[mm]
Q venteo	q =	5.33	[L/s]
		84.45	[gpm]
		11.19	[cfm]
Presión Diferencial	$\Delta P =$	2	[PSI]
Caudal	Q =	12.86	[scfm]
Válvula:	1"		

No. Válvula	4		
Nodo	n68		
Válvula Purgadora de aire			
Carga Dinámica	CD =	27.57	[mca]
Caudal	Q =	1.91	[L/s]
		4.01	[ft ³ /min]
Caudal de aire	Qaire =	0.08	[ft ³ /min]
Carga dinámica	CD =	39.20	[PSI]
Válvula:	1/16"		
Válvula de aire cinética llenado			
Velocidad	v =	0.22	[m/s]
Diámetro	D =	104.60	[mm]
Q venteo	q =	1.89	[L/s]
		29.97	[gpm]
		3.97	[cfm]
Presión Diferencial	$\Delta P =$	2	[PSI]
Caudal	Q =	4.56	[scfm]
Válvula:	1"		

No. Válvula	5		
Nodo	n80		
Válvula Purgadora de aire			
Carga Dinámica	CD =	31.43	[mca]
Caudal	Q =	17.89	[L/s]
		37.57	[ft ³ /min]
Caudal de aire	Qaire =	0.75	[ft ³ /min]
Carga dinámica	CD =	44.69	[PSI]
Válvula:	1/16"		
Válvula de aire cinética llenado			
Velocidad	v =	0.25	[m/s]
Diámetro	D =	299.60	[mm]
Q venteo	q =	17.62	[L/s]
		279.35	[gpm]
		37.01	[cfm]
Presión Diferencial	$\Delta P =$	2	[PSI]
Caudal	Q =	42.53	[scfm]
Válvula:	1"		

No. Válvula	6		
Nodo	n131		
Válvula Purgadora de aire			
Carga Dinámica	CD =	7.45	[mca]
Caudal	Q =	10.35	[L/s]
		21.74	[ft ³ /min]
Caudal de aire	Qaire =	0.43	[ft ³ /min]
Carga dinámica	CD =	10.59	[PSI]
Válvula:	1/16"		
Válvula de aire cinética llenado			
Velocidad	v =	0.23	[m/s]
Diámetro	D =	237.80	[mm]
Q venteo	q =	10.22	[L/s]
		161.91	[gpm]
		21.45	[cfm]
Presión Diferencial	$\Delta P =$	2	[PSI]
Caudal	Q =	24.65	[scfm]
Válvula:	1"		

No. Válvula	7		
Nodo	n174		
Válvula Purgadora de aire			
Carga Dinámica	CD =	29.31	[mca]
Caudal	Q =	2.35	[L/s]
		4.94	[ft ³ /min]
Caudal de aire	Qaire =	0.10	[ft ³ /min]
Carga dinámica	CD =	41.68	[PSI]
Válvula:	1/16"		
Válvula de aire cinética llenado			
Velocidad	v =	0.27	[m/s]
Diámetro	D =	104.60	[mm]
Q venteo	q =	2.32	[L/s]
		36.78	[gpm]
		4.87	[cfm]
Presión Diferencial	$\Delta P =$	2	[PSI]
Caudal	Q =	5.60	[scfm]
Válvula:	1"		

No. Válvula	8		
Nodo	n187		
Válvula Purgadora de aire			
Carga Dinámica	CD =	25.68	[mca]
Caudal	Q =	1.89	[L/s]
		3.97	[ft ³ /min]
Caudal de aire	Qaire =	0.08	[ft ³ /min]
Carga dinámica	CD =	36.52	[PSI]
Válvula:	1/16"		
Válvula de aire cinética llenado			
Velocidad	v =	0.22	[m/s]
Diámetro	D =	104.60	[mm]
Q venteo	q =	1.89	[L/s]
		29.97	[gpm]
		3.97	[cfm]
Presión Diferencial	$\Delta P =$	2	[PSI]
Caudal	Q =	4.56	[scfm]
Válvula:	1"		

ANEXO XI. Combinaciones de válvulas que interactúan juntas

SISTEMA DE RIEGO CHAMBO - GUANO									
PORLÓN - EL SOCORRO									
RESERVORIO 67									
VÁLVULAS QUE INTERACTÚAN JUNTAS									
Combinación	DÍA	Válvula	Diámetro Interno [mm]	Caudal [L/s]	Sumatoria Q [L/s]	Observación	[%] respecto a la sumatoria	Q respecto a 30 [L/s]	Observación
1	LUNES	2	104.6	94.52	113.87		83.01%	24.90	
	LUNES	19	104.6	19.35			16.99%	5.10	
2	LUNES	2	104.6	94.27	116.31	Escenario 4	81.05%	24.32	Escenario 7
	LUNES	18	104.6	22.04			18.95%	5.68	
3	LUNES	1	104.6	57.44	79.48		72.27%	21.68	
	LUNES	18	104.6	22.04			27.73%	8.32	
4	MARTES	3	104.6	35.52	66.19		53.66%	16.10	
	MARTES	17	104.6	30.67			46.34%	13.90	
5	MARTES	3	104.6	35.71	57.75		61.84%	18.55	
	MARTES	18	104.6	22.04			38.16%	11.45	
6	MIÉRCOLES	4	104.6	27.06	57.73		46.87%	14.06	
	MIÉRCOLES	17	104.6	30.67			53.13%	15.94	
7	MIÉRCOLES	4	104.6	27.05	58.28		46.41%	13.92	
	MIÉRCOLES	15	104.6	31.23			53.59%	16.08	
8	MIÉRCOLES	5	104.6	23.18	54.41		42.60%	12.78	
	MIÉRCOLES	15	104.6	31.23			57.40%	17.22	
9	MIÉRCOLES	4	104.6	15.96	58.40		27.33%	8.20	
	MIÉRCOLES	5	104.6	11.21			19.20%	5.76	
	MIÉRCOLES	15	104.6	31.23			53.48%	16.04	
10	JUEVES	6	104.6	20.56	51.79	Escenario 3	39.70%	11.91	Escenario 6
	JUEVES	15	104.6	31.23			60.30%	18.09	

Combinación	DÍA	Válvula	Diámetro Interno [mm]	Caudal [L/s]	Sumatoria Q [L/s]	Observación	[%] respecto a la sumatoria	Q respecto a 30 [L/s]	Observación
11	JUEVES	7	104.6	22.16	53.39		41.51%	12.45	
	JUEVES	15	104.6	31.23		58.49%	17.55		
12	JUEVES	5	104.6	14.78	54.86		26.94%	8.08	
	JUEVES	6	104.6	8.85		16.13%	4.84		
	JUEVES	15	104.6	31.23		56.93%	17.08		
13	VIERNES	7	104.6	22.11	59.00		37.47%	11.24	
	VIERNES	14	104.6	36.89		62.53%	18.76		
14	VIERNES	12	104.6	54.09	90.98		59.45%	17.84	
	VIERNES	14	104.6	36.89		40.55%	12.16		
15	VIERNES	7	104.6	21.43	111.78		19.17%	5.75	
	VIERNES	12	104.6	53.46		47.83%	14.35		
	VIERNES	14	104.6	36.89		33.00%	9.90		
16	SÁBADO	12	104.6	46.48	150.89		30.80%	9.24	
	SÁBADO	13	104.6	68.96		45.70%	13.71		
	SÁBADO	14	104.6	35.45		23.49%	7.05		
17	SÁBADO	12	104.6	50.54	123.01		41.09%	12.33	
	SÁBADO	13	104.6	72.47		58.91%	17.67		
18	SÁBADO	11	104.6	160.98	233.45		68.96%	20.69	
	SÁBADO	13	104.6	72.47		31.04%	9.31		
19	SÁBADO	11	104.6	131.63	242.32	Escenario 2	54.32%	16.30	Escenario 5
	SÁBADO	16	104.6	110.69		45.68%	13.70		
20	DOMINGO	10	104.6	193.46	225.93		85.63%	25.69	
	DOMINGO	20	104.6	32.47		14.37%	4.31		
21	DOMINGO	9	104.6	188.17	220.64		85.28%	25.59	
	DOMINGO	20	104.6	32.47		14.72%	4.41		
22	DOMINGO	8	104.6	195.16	227.63		85.74%	25.72	
	DOMINGO	20	104.6	32.47		14.26%	4.28		
23	DOMINGO	8	104.6	194.86	227.95		85.48%	25.65	
	DOMINGO	21	104.6	33.09		14.52%	4.35		